

МИТРЕ ЈОВАНОВСКИ
ДРАГАН СТОЈАНОВИЌ

ТЕРМОТЕХНИКА

(РЕДОВЕН И ИЗБОРЕН)

ЗА III ГОДИНА, МАШИНСКА СТРУКА
ЗА
МАШИНСКО ЕНЕРГЕТСКИ ТЕХНИЧАР

Скопје, 2013

Автори:

Митре Јовановски, проф. по механика и погонски машини
Драган Стојановиќ, дипл. маш. инж.

Рецензенти:

Д-р Милан Шаревски, проф.
М-р Сузана Масларова, дипл. маш. инж.
Петар Бошковски, дипл. маш. инж.

Илустратор:

Драган Стојановиќ, дипл. маш. инж.

Лектор:

Д-р Трајко Огненовски, проф.
универзитетски професор

Издавач:

Министерство за образование и наука за Република Македонија

Печайџи:

Графички центар дооел, Скопје

Тираж: 285

Со одлука бр.22-1370/1 од 14.06.2012 на Националната комисија за учебници, се одобрува употреба на учебникот

CIP- Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека „Св. Климент Охридски“, Скопје

Термотехника за III година машинска струка : (редовен и изборен) : машинско-енергетски техничар / Митре Јовановски, Драган Стојановиќ

Министерство за образование и наука на Република Македонија, 2012

Физички опис 202 стр. : илустр. ; 29 см

ISBN 978-608-226-335-9

ПРЕДГОВОР

Учебникот е наменет за учениците од III година на стручното образование од машинска струка за занимањето машинско-енергетски техничар.

Содржините на учебникот се поделени во пет тематски целини предвидени со наставната програма. Некои содржини се проширени за да послужат за обработка на содржините предвидени во изборниот предмет. Посебно внимание е посветено на решавањето на задачите како и задачите за вежбање сè со цел да им се помогне на учениците при совладувањето на практичните примери со користење на таблици, дијаграми, формули и др.

Сите големини на состојбата се изразени во мерни единици според SI – стандардот. На крајот од учебникот како прилог се дадени парните таблици за водена пареа и Молиеров $i - s$ дијаграм за водена пареа.

Благодарност до уредникот и лекторот, како и благодарност до рецензентите за укажаните забелешки и сугестии кои допринесоа да се постигне квалитетот на учебникот за доброто на учениците.

Со оглед на обемноста на материјалот, можни се определени пропусти и недостатоци, па токму затоа добронамерните забелешки и сугестии од сите корисници на учебникот за негово подобрување се добродојдени.

Авторите

Применети ознаки во учебникот

Ознака	Значење на ознаката	Мерна единица во SI - системот
A	површина	m ²
V	волумен	m ³
v	специфичен волумен	m ³ /kg
ρ	густина	kg/m ³
γ	специфична тежина	N/m ³
p	притисок	N/m ²
t	температура	°C
T	апсолутна температура	K
m	маса	Kg
G	тежина	N
t	температура во степени Фаренхајтови	°F
t	температура во степени Реомирови	°R
c	специфична топлина	kJ/kgK
c _v	специфична топлина при V=const.	kJ/kgK
c _p	специфична топлина при p=const.	kJ/kgK
Q	топлина (топлотен капацитет)	kJ
Q _v	доведена топлина при V=const.	kJ
Q _p	доведена топлина при p=const.	kJ
q	доведена топлина на 1 kg работно тело	kJ/kg
q _v	доведена топлина на 1 kg тело при V=const.	kJ/kg
q _p	доведена топлина на 1 kg тело при p=const.	kJ/kg
U	вкупна внатрешна енергија	kJ
u	специфична внатрешна енергија	kJ/kg
ΔU	промена на вкупната внатрешна енергија	kJ
Δu	промена на специфичната внатрешна енергија	kJ/kg
W	механичка работа	kJ
w	механичка работа што ја врши 1 kg работно тело	kJ/kg
w _t	техничка работа	kJ/kg
I	вкупна енталпија	kJ
i	специфична енталпија	kJ/kg
ΔI	промена на вкупната енталпија	kJ
Δi	промена на специфичната енталпија	kJ/kg
κ	Поасонова константа – коефициент на адијабата	-----
R	индивидуална гасна константа	kJ/kgK
n	коефициент на политропа	/
V=const.	изохора- промена при константен волумен	/
p=const.	изобара – промена при константен притисок	/
t= const.	изотерма – промена при константна температура	/
Q=0	адијабата – промена без довод и одвод на топлина	/
Q≠ 0	политропа – стварна промена на состојбата	/
η	коефициент на корисно дејство	/
η _t	термодинамички коефициент на корисно дејство	/
ε	степен на компресија	/
S	вкупна ентропија	kJ/K

s	специфична ентропија	kJ/kgK
ΔS	промена на вкупната ентропија	kJ/K
Δs	промена на специфичната ентропија	kJ/kgK
Δs_p	промена на специфичната ентропија при $p = \text{const.}$	kJ/kgK
Δs_v	промена на специфичната ентропија при $V = \text{const.}$	kJ/kgK
qt	топлина на течноста	kJ/kg
r	топлина на испарување	kJ/kg
qp	топлина за прегревање	kJ/kg
tz	температура на заситување, испарување	°C, K
pz	притисок на заситување или испарување	N/m ² , Pa
v'	специфичен волумен на врела вода	m ³ /kg
v''	специфичен волумен на сувозаситена пареа	m ³ /kg
Vx	специфичен волумен на влажна пареа	m ³ /kg
Vp	специфичен волумен на прегреана пареа	m ³ /kg
i'	енталпија на врела вода	kJ/kg
i''	енталпија на сувозаситена пареа	kJ/kg
ix	енталпија на влажна пареа	kJ/kg
ip	енталпија на прегреана пареа	kJ/kg
s'	ентропија на врела вода	kJ/kgK
s''	ентропија на сувозаситена пареа	kJ/kgK
Sx	ентропија на влажна пареа	kJ/kgK
Sp	ентропија на прегреана пареа	kJ/kgK
u'	внатрешна енергија на врела вода	kJ/kg
u''	внатрешна енергија на сувозаситена пареа	kJ/kg
Ux	внатрешна енергија на влажна пареа	kJ/kg
Up	внатрешна енергија на прегреана пареа	kJ/kg
W	механичка работа што ја врши 1 kg пареа	kJ/kg
W	механичка работа што ја врши m [kg] пареа	kJ
Ф	топлотен проток	kW
λ	коефициент на топлинска спроводливост	kW/mK
A	коефициент на пренос на топлина	kWm ² K
K	коефициент на премин на топлина	kWm ² K
A	коефициент на апсорпција	/
R	коефициент на рефлексија	/
D	коефициент на пропустливост	/
Φ ₀	топлотен проток за апсолутно црно тело	kW
Φ	топлотен проток за сиво тело	kW
E	степен на црнотија или емисионен коефициент	?
Δt _m	средна логаритамска температурна разлика	°C
H _g	горна топлинска моќ на горивото	kJ/kg
H _d	долна топлинска моќ на горивото	kJ/kg
V _{L,min}	минимално или теоретско количество на воздух	m ³ /kg
V _L	вистинско количество на воздух за согорување	m ³ /kg
L	коефициент на вишок на воздух	%
C	јаглерод	%
H	водород	%
N	азот	%
O	кислород	%
S	сулфур	%
a	пепел	%

w	влага	%
Δp	јачина (интензитет на проветот)	Pa
H	висина на оџакот	m
ρ_v	густина на надворешниот воздух	kg/m ³
ρ_g	густина на гасовите	kg/m ³
g	земјино забрзување	m/s ²
w _g	брзина на гасовите низ оџакот	m/s
t _g	температура на гасовите на влезот во оџакот	°C
A	површина на напречниот пресек на оџакот	m ²
V _{RWt}	теоретско количество на согорени гасови	m ³ /kg
V _{RW}	вистинско количество на согорени гасови	m ³ /kg
η_g	коефициент на гасификација на горивото	/
η_F	коефициент на искористување на ложиштето	/
η_z	коефициент на изолираност на котелот	/
η_k	коефициент на искористување на парниот котел	/
i _p	енталпија на произведената пареа	kJ/kg
i _w	енталпија на водата на влезот во котелот	kJ/kg
B _g	потрошувачка на гасифицирано гориво	kg/s
B ₁	вкупна потрошувачка на гориво	kg/s
Q _p	топлина за прегревање во прегревачот на пареа	kW
Q _w	топлина за загревање на водата во загревачот	kW
Q _L	топлина за загревање на воздухот во загревачот	kW
K	коефициент на премин на топлина	kW/m ² K
A _p	грејна површина на прегревачот на пареа	m ²
A _w	грејна површина на загревачот на вода	m ²
A _L	грејна површина на загревачот на воздух	m ²
Δt_m	средна логаритамска температурна разлика	°C
i _L	енталпија на загреаниот воздух во загревачот	kJ/m ³
i _l	енталпија на надворешниот воздух	kJ/m ³
Q _p	потребна топлина за греење	kW
Q ₀	загуби на топлина без додатоци	kW
Z	фактор на додатоци	/
Z _p	додаток за прекин на ложењето	%
Z _A	додаток за изедначување со ладните површини	%
Z _s	додаток за страната на светот	%
Q _e	загуби на топлина низ една преграда од просторијата	kW
t _v	внатрешна температура во просторијата	°C
t _n	надворешна температура или температура на соседната просторија	°C
D	додаток кој се пресметува	W/m ² K
A _{vk}	вкупна површина на просторијата	kW
Q _R	топлина што ја предава радијаторот	kW
A _R	грејна површина на радијаторот	m ²
t _F	средна температура на топлоносителот	°C
t _o	температура во просторијата	°C
n	број на елементи на радијаторот	/
p _H	напор, гравитационен или напор на пумпата	Pa
H	висинска разлика меѓу котелот и радијаторот	M
ρ_p	густина на повратната вода од радијаторот	kg/m ³
ρ_r	густина на разводната вода од котелот	kg/m ³

γ_p	специфична тежина на повратната вода	N/m^3
γ_r	специфична тежина на разводната вода	N/m^3
g	земјино забрзување	m/s^2
m	масен проток на пареа низ турбината	kg/s
h_0	топлински пад	kJ/kg
c_{1t}	теоретска брзина на истекување	m/s
c_1	стварна брзина на истекување	m/s
φ	коефициент на брзината	/
w	релативна брзина на пареата во роторот	m/s
u	обемна брзина на роторот	m/s
F_u	обемна сила на пареата врз роторот	N
M_u	вртежен момент	Nm
ω	аголна брзина на роторот	s^{-1}
P_e	ефективна моќ на турбината	kW
P_E	моќ на електричниот генератор	kW
η_{ek}	економски коефициент на искористување	/
m_s	специфична потрошувачка на пареа	kg/skW
q_E	специфична потрошувачка на топлина	$kJ/s kW$
b	специфична потрошувачка на гориво	$kg/kg kW$

СОДРЖИНА

	Предговор	3
	Применети ознаки во учебникот	5
1.	Пареа	13
1.1.	Процес на испарување	15
1.1.1.	$p - V$ дијаграм за водена пареа	16
1.1.2.	$T - s$ дијаграм за водена пареа	18
1.1.2.1.	Топење, сублимација и тројна точка	18
1.1.3.	Молиеров $I - s$ дијаграм за водена пареа	19
1.2.	Размена на топлината при испарување	20
1.3.	Големини на состојбата на влажна пареа	25
1.4.	Промени на состојбата на пареа во заситено подрачје	29
1.5.	Основни промени на пареата во $p - V$, $T - s$ и $I - s$ дијаграм	31
2.	Пренесување на топлината	37
2.1.	Распростирање на топлината	39
2.1.1.	Спроведување на топлината или кондукција	40
2.1.1.1.	Спроведување на топлината низ еднослоен рамен сид	40
2.1.1.2.	Спроведување на топлината низ повеќеслоен рамен сид	42
2.1.1.3.	Спроведување на топлината низ еднослоен цилиндричен сид	43
2.1.1.4.	Спроведување на топлината низ цилиндричен повеќеслоен сид	44
2.1.2.	Топлопренесување или конвекција	45
2.1.3.	Пренос на топлината	46
2.1.3.1.	Пренос на топлината низ еднослоен цилиндричен сид	48
2.1.3.2.	Пренос на топлината низ повеќеслоен цилиндричен сид	50
2.1.4.	Топлопренесување со зрачење (Радијација)	50
2.2.	Изменувачи на топлина	53
2.2.1.	Рекуперативни изменувачи на топлина	54
2.2.2.	Регенеративни изменувачи на топлина	56
2.2.3.	Изменувачи со мешање на флуидите	56
2.2.4.	Топлинска пресметка на изменувачите	57
3.	Парни котли	65
3.1.	Котелска постројка	67
3.2.	Парен котел	68
3.2.1.	Поделба на парните котли	68
3.2.2.	Горива за парните котли	69
3.2.2.1.	Поделба на горивата	69
3.2.2.2.	Основни карактеристики на горивата	69
3.2.2.3.	Согорување на горивата	71
3.2.3.	Провев кај парните котли	75
3.2.3.1.	Природен провев	75
3.2.3.2.	Принуден провев	77
3.2.4.	Вода за парните котли	78
3.2.4.1.	Подготовка на напојната вода	78
3.2.4.2.	Загуби кај парните котли	80
3.2.5.	Конструкции на парни котли	82
3.2.5.1.	Парни котли со голема содржина на вода	82
3.2.5.2.	Парни котли со мала содржина на вода	85
3.2.5.3.	Специјални парни котли	87
3.2.6.	Котелски ложишта	88

3.2.6.1.	Ложење со цврсто гориво	88
3.2.6.2.	Ложење со јагленов прав	91
3.2.6.3.	Ложење со течено гориво	92
3.2.6.4.	Ложење со гасно гориво	93
3.2.7.	Составни делови и арматура на парниот котел	94
3.2.7.1.	Пегревачи на пареа	94
3.2.7.2.	Загревачи на вода	96
3.2.7.3.	Загревачи на воздух	98
3.2.7.4.	Арматура на парниот котел	101
3.2.8.	Водење на погонот на парниот котел	103
3.2.8.1.	Пуштање на котелот и постигнување на работните параметри	103
3.2.8.2.	Водење и одржување на енергетскиот процес	104
3.2.8.3.	Запирање на погонот на парниот котел	104
3.2.8.4.	Конзрвирање на котелот	105
3.2.9.	Екологија на парниот котел	105
4.	Греење	109
4.1.	Основни теоретски поими од централното греење	111
4.1.1.	Основи на пресметката	111
4.1.2.	Загуби на топлина поради премин низ преградните ѕидови	112
4.1.3.	Додатоци на топлина	113
4.2.	Грејни тела	119
4.2.1.	Поставување на радијаторите	120
4.2.2.	Маскирање на радијаторите	121
4.2.3.	Пресметка на радијаторите	121
4.3.	Системи на греење	123
4.3.1.	Водно греење	123
4.3.1.1.	Водно гравитационо греење	125
4.3.2.	Пумпно греење	127
4.3.3.	Комбинирано топловодно со соларно греење	128
4.3.4.	Парно греење	129
4.3.4.1.	Парно греење со низок притисок	129
4.3.5.	Воздушно греење	130
5.	Парни турбини	133
5.1.	Општ поим за парните турбини	135
5.1.1.	Главни делови на парните турбини	136
5.1.2.	Поделба на парните турбини	136
5.2.	Основни равенки на струењето	140
5.2.1.	Равенка на континуитетот	141
5.2.2.	Енергија на струењето	142
5.2.3.	Брзина на истекување на пареата	143
5.2.3.1.	Прикажување на експанзијата на пареата во $l - s$ дијаграм	143
5.2.3.2.	Дејство на пареата врз работните лопатки	145
5.2.4.	Акционо дејство на пареата	147
5.2.5.	Реакционо дејство на пареата	148
5.3.	Видови на парни турбини	149
5.3.1.	Делавалова парна турбина	149
5.3.2.	Кертисова парна турбина	149
5.3.3.	Парна турбина со степенување на притисокот	150
5.4.	Конструктивни изведби на парните турбини	151
5.4.1.	Млазници	151

5.4.2.	Спроводни лопатки кај акционите турбини	152
5.4.3.	Работни лопатки кај акционите турбини	152
5.4.4.	Спроводни и работни лопатки кај реакционите турбини	153
5.4.5.	Преградни сидови (дијафрагми)	153
5.4.6.	Турбински ротори	154
5.5.	Коефициенти на корисно дејство и специфична потрошувачка	154
5.6.	Регулација кај турбините	156
5.6.1.	Количинска регулација	157
5.6.2.	Регулација со пригушување	157
5.7.	Кондензација и кондензатори	158
5.7.1.	Поделба на кондензаторите	159
5.7.1.1.	Кондензатори со мешање на пареата и разладната вода	159
5.7.1.2.	Површински кондензатори	160
5.8.	Погон на парните турбини	160
5.8.1.	Поставување на парните турбини	160
5.8.2.	Загревање на турбината	161
5.8.3.	Задвижување на турбината	161
5.8.4.	Запирање на турбината	161
5.8.5.	Контрола на погонот	162
	Прилог А	163
	Литература	201

1.

ПАРЕА

ЦЕЛИ

Ученикот треба да:

- препознава процес на испарување и кондензација;
- го сфати процесот на размена на топлина при испарувањето;
- сознае дијаграми за водена пареа и нивно користење;
- разликува влажна, сувозаситена и прегреана пареа;
- применува парни таблици при решавањето на задачите;
- врши споредба на промените на пареата во заситеното подрачје;
- проценува ефикасност на кружните процеси со пареа;
- објасни како се прикажуваат промените на состојбата на пареата во p - v , T - s и i - s дијаграм и
- ја согледува разликата меѓу идеалните и реалните гасови.

1. ПАРЕА

Работниот медиум може да биде во три агрегатни состојби: цврста, течна и гасовита. Со анализа на промените на состојбата на идеалните гасови се дошло до сознание дека многу поими, изрази и заклучоци кои важат за идеалните гасови, важат и за реалните гасови.

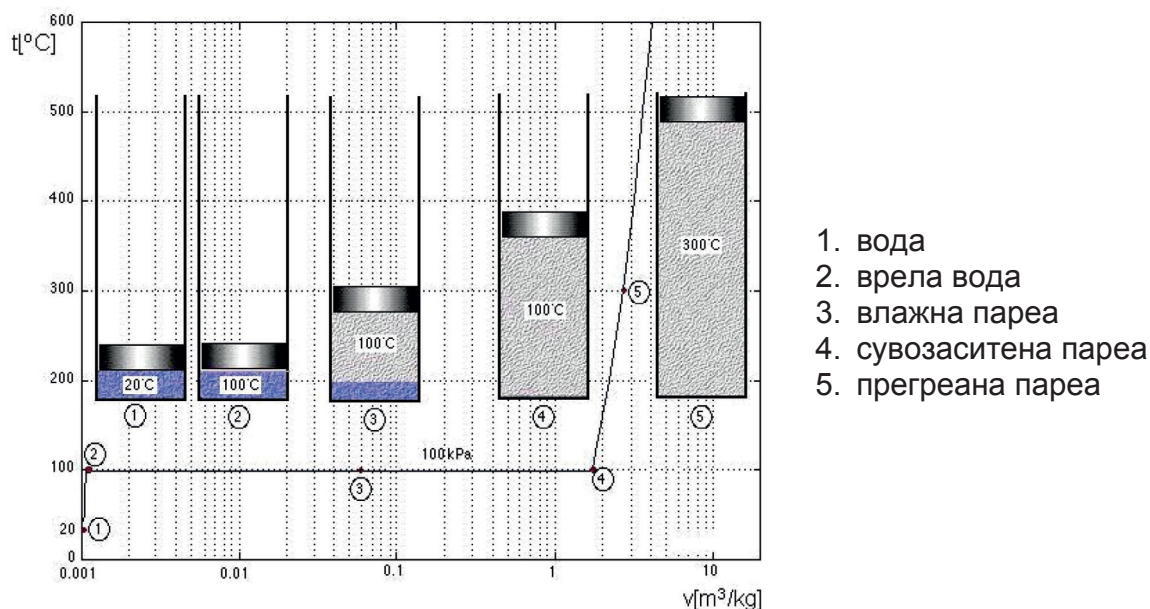
1.1 ПРОЦЕС НА ИСПАРУВАЊЕ

Преминот од течна во гасна агрегатна состојба се вика испарување, а обратно преминот од гасна во течна агрегатна состојба се нарекува кондензација. Важно е при тоа да се истакне дека додека трае процесот на испарување и кондензација притисокот и температурата не се менуваат.

Набљудуваме пример на загревање на 1 kg вода која се наоѓа во цилиндер со подвижен клип на кој дејствува константна сила (сл.1.1). Клипот со постојано оптоварување обезбедува константен притисок. На посебна скала во секој момент може да се прочита волуменот што го зазема затворената вода. Со вградување на термометар можеме да ја следиме промената на температурата на водата. Со загревање на водата нејзината температура расте и водата се шири, а клипот се движи нагоре. На определена температура, која зависи од притисокот, водата почнува да врие односно да испарува, при што на ѕидовите од садот се создаваат меурчиња.

Температурата при која водата врие се вика температура на вриење или температура на испарување или температура на заситување (t_z), а притисокот се нарекува притисок на испарување или заситување (p_z).

Произведената водена парea има иста температура како и водата. На атмосферски притисок од 101325 Pa или 1,01325 bar или 760 mmHg, водата врие на точно 100 °C. Ако притисокот се зголеми ќе се зголеми и температурата на испарување. Притоа треба да се истакне дека волуменот на добиената водена парea е поголем од волуменот на водата од која е добиена таа парea. Парeата се собира над неиспарената вода.



Сл.1.1 $t - v$ дијаграм на процесот на испарување

Ако внимателно се набљудува процесот на испарување може да се заклучи дека за време на испарувањето при константен притисок, температурата на течноста и пареата останале исти.

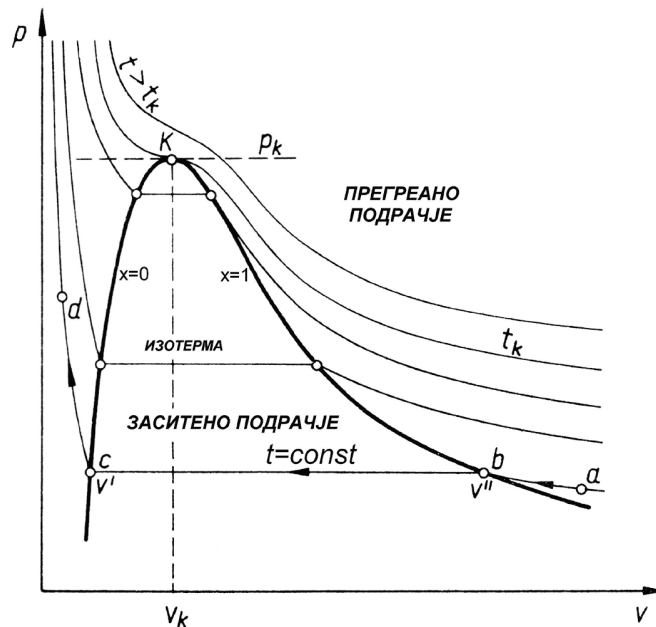
Ако се зголеми загревањето ќе забележиме поинтензивно испарување, но температурата притоа нема да се промени. Кога ќе испари и последната капка од вода, дури тогаш температурата ќе почне да расте.

Пареата која во себе содржи определена количина на вода (влага) се вика влажна пареа, а пареата која во себе не содржи влага, а ја има температурата на заситување се вика сувозаситена пареа.

Ако сувозаситената пареа и натаму се загрева, таа ќе се прегрее и ќе се добие **прегреана пареа со температура (t_p)** која е повисока од температурата на заситување (t_z).

1.1.1 p-v ДИЈАГРАМ ЗА ВОДЕНА ПАРЕА

Ако графички се нанесат вредностите за волуменот на врелата вода (v') и волуменот на сувозаситената пареа (v'') за определен притисок ќе се добие p-v дијаграм за водена пареа. **Линиите $x=0$ и $x=1$ се викаат гранични криви.**



Сл.1.2 p-v дијаграм за водена пареа

Линијата $x=0$ се вика лева или долна гранична крива или линија на течноста. Таа го дели подрачјето на вода од подрачјето на влажна пареа, а на самата линија се наоѓа врела вода.

Големините на состојбата на врелата вода се обележуваат со:

$v' \left[\frac{m^3}{kg} \right]$ – специфичен волумен на врела вода,

$u' \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – внатрешна енергија на врела вода,

$i' \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на врела вода,

$$s' \left[\frac{kJ}{kgK} \right] - \text{ентропија на врела вода}$$

а на влажната пареа со:

$$v_x \left[\frac{m^3}{kg} \right] - \text{специфичен волумен на влажна пареа,}$$

$$u_x \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{внатрешна енергија на влажна пареа,}$$

$$i_x \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{енталпија на влажна пареа,}$$

$$s_x \left[\frac{kJ}{kgK} \right] - \text{ентропија на влажна пареа.}$$

Линијата $x=1$ се вика десна или горна гранична крива или линија на сувозаситена пареа. Таа го дели подрачјето на влажна пареа од подрачјето на прегреана пареа. На самата линија се наоѓа сувозаситена пареа.

Големините на состојбата на сувозаситената пареа се обележуваат со:

$$v'' \left[\frac{m^3}{kg} \right] - \text{специфичен волумен на сувозаситена пареа,}$$

$$u'' \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{внатрешна енергија на сувозаситена пареа,}$$

$$i'' \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{енталпија на сувозаситена пареа,}$$

$$s'' \left[\frac{kJ}{kgK} \right] - \text{ентропија на сувозаситена пареа.}$$

а на прегреаната пареа со:

$$v_p \left[\frac{m^3}{kg} \right] - \text{специфичен волумен на прегреаната пареа,}$$

$$u_p \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{внатрешна енергија на прегреаната пареа,}$$

$$i_p \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{енталпија на прегреаната пареа и}$$

$$s_p \left[\frac{kJ}{kgK} \right] - \text{ентропија на прегреаната пареа.}$$

При многу висок притисок долната и горната гранична крива се сврзуваат во една точка која се обележува со (K), а се нарекува **критична точка**. Големините (p , v и t) во таа точка се нарекуваат **критични големини**.

За водата критичните големини на термодинамичката состојба изнесуваат:

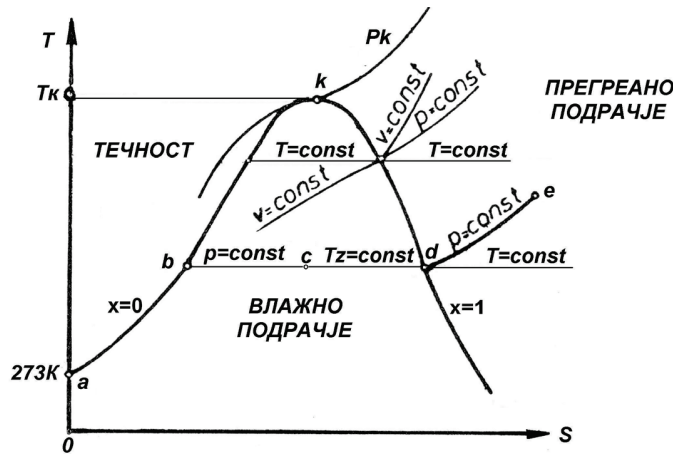
$$- p_k = 22,129 \text{ MPa}$$

$$- t_k = 374,15^0 \text{ C}$$

$$- v_k = 0,0033 \frac{m^3}{kg}$$

1.1.2 T-s ДИЈАГРАМ ЗА ВОДЕНА ПАРЧА

Процесот на испарување, прегревање на парчата и кондензација на парчата е прикажан во T-s дијаграмот за водена парча (сл.1.3).

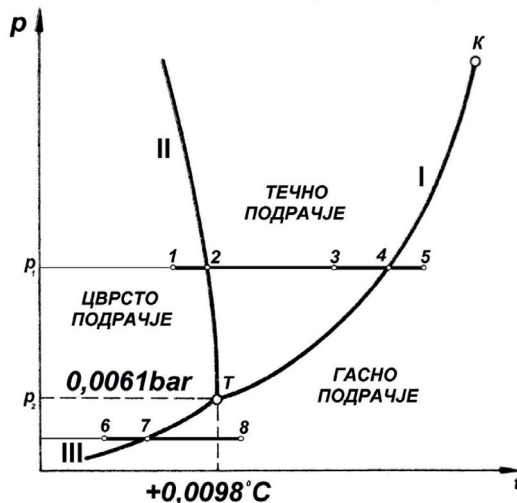


Сл.1.3 T-s дијаграм за водена парча

Граничните криви линии $x=0$ и $x=1$ ја прикажуваат состојбата на врелата вода односно сувозаситената парча исто како и во p-v дијаграмот. Линиите на константна температура (изотермите) се паралелни со апцисата (s). Линиите на константен притисок (изобарите) надвор од граничните линии имаат успон, додека во подрачјето на влажна парча се хоризонтални и се поклопуваат со изотермите односно температурите на заситување. Често пати во овој дијаграм се внесуваат и линиите на константен специфичен волумен ($v=const.$), како и линиите на константна енталпија ($i=const.$). Со помош на ваквиот дијаграм можат да се определат сите големини на состојбата на влажната парча.

1.1.2.1 ИСПАРУВАЊЕ, ТОПЕЊЕ, СУБЛИМАЦИЈА И ТРОЈНА ТОЧКА

Сврзницата на сите температури при кои водата преминува во парча за определен притисок се нарекува **крива или линија на испарување (I)**. Таа го одделува подрачјето на течност од подрачјето на парча. На самата линија водата се наоѓа и како течност и како парча (над водата се наоѓа парчата).



1. мраз
2. вода и мраз
3. вода
4. влажна парча
5. парча
6. мраз
7. мраз и парча
8. парча

Сл.1.4 p-t дијаграм за трофазно подрачје на вода

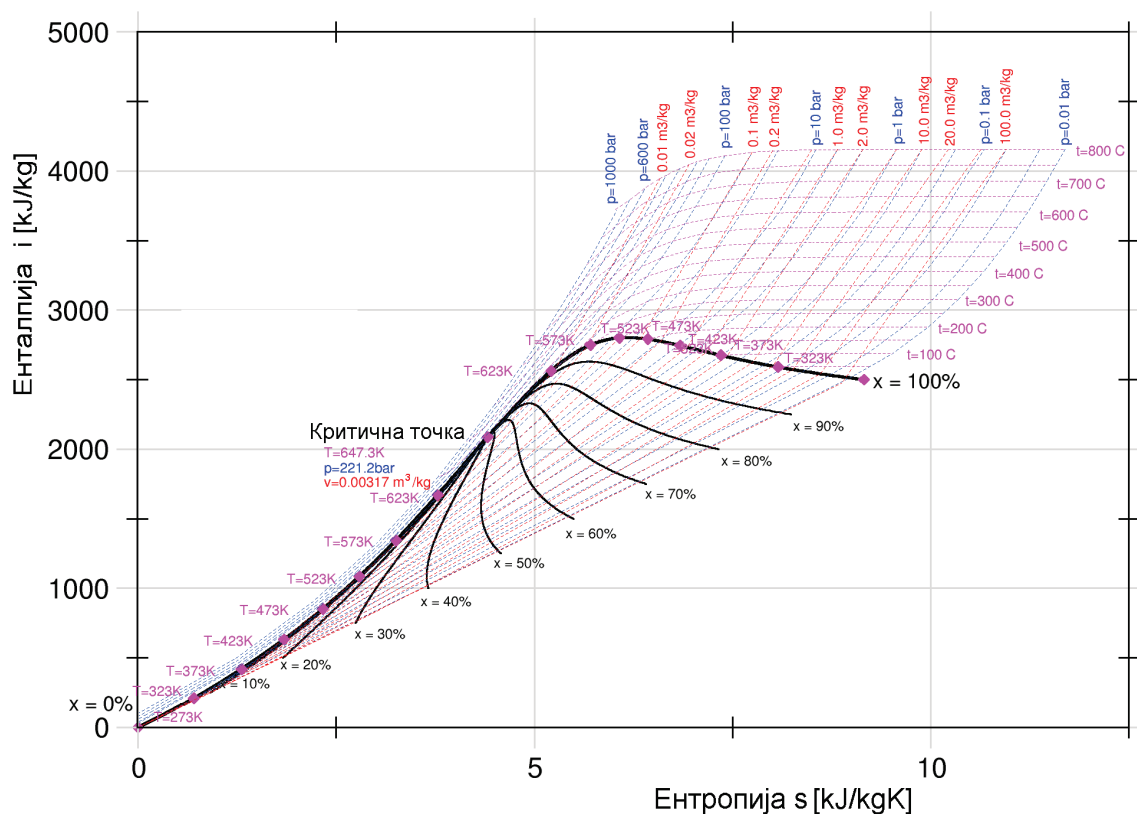
Сврзницата на сите температури при кои водата преминува во мраз за одреден притисок се вика **крива или линија на топење (II)**. Таа го одделува подрачјето на течност од подрачјето на мраз. На самата линија водата се наоѓа како течност и како мраз (мразот плива во водата).

Сврзницата на сите температури при кои мразот преминува во пареа се вика **крива на сублимација (III)**. Таа го одделува подрачјето на мраз од подрачјето на пареа (над мразот е пареата).

Кривите на испарување, топење и сублимација се сврзуваат во една точка која се обележува со „Т“, а се нарекува **тројна точка**, бидејќи водата во неа истовремено постои како течност, како мраз и како пареа.

1.1.3 МОЛИЕРОВ $i-s$ ДИЈАГРАМ ЗА ВОДЕНА ПАРЕА

Овој дијаграм (сл.1.5) наоѓа широка примена при решавањето на практичните задачи во термотехниката. Името го добил според неговиот автор. На апсцисата од овој дијаграм нанесена е ентропија, а на ординатата енталпија на пареата.



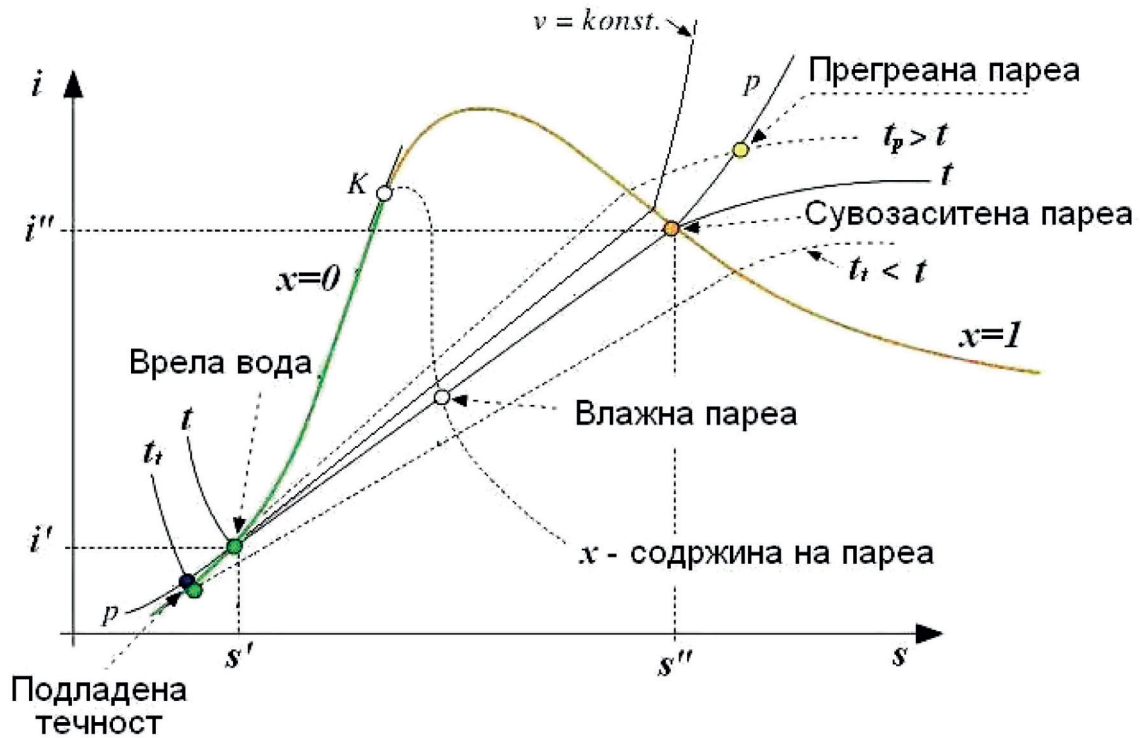
Сл.1.5 Mollier – ов $i-s$ дијаграм за водена пареа

На $i-s$ дијаграмот на сл.1.6 се представени големините на состојбата на водената пареа.

Линијата $x=0$ е долна гранична крива. Лево од неа е подрачјето на вода, а на самата линија се наоѓа вода што врие (заситена вода).

Линијата $x=1$ е горна гранична крива. Над неа се наоѓа подрачјето на прегерана пареа, а на самата линија сувозаситена пареа. Подрачјето помеѓу

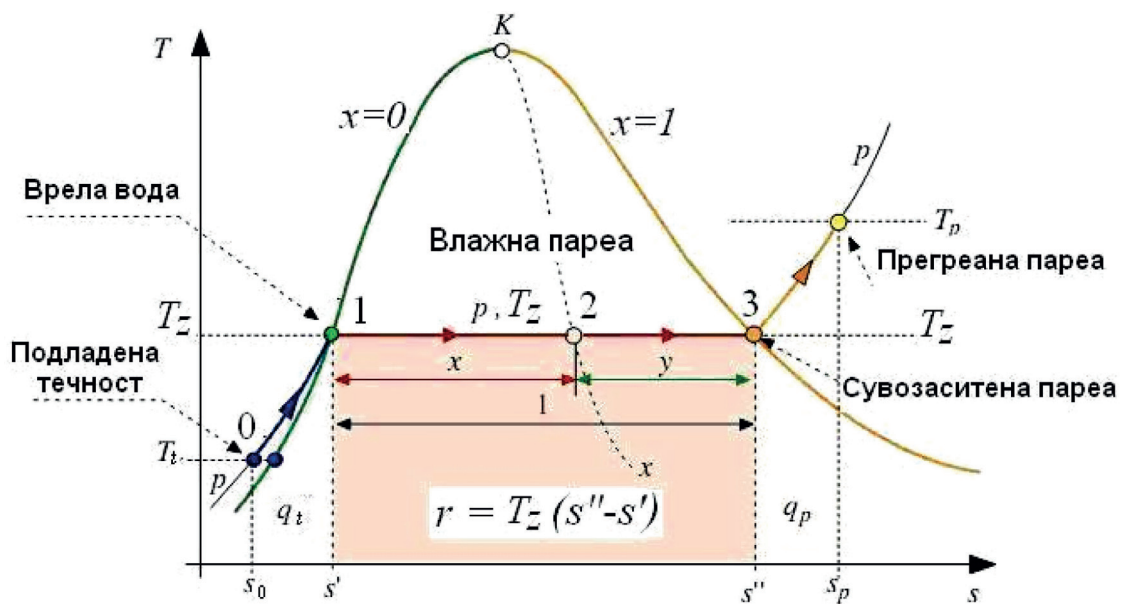
двете гранични криви се нарекува **заситено подрачје** или **подрачје на влажна парча**. Во тоа подрачје изобарите и изотермите се совпаѓаат.



Сл.1.6 Големини на состојбата во $i - s$ дијаграм за водена парча

1.2 РАЗМЕНА НА ТОПЛИНА ПРИ ИСПАРУВАЊЕ

Набљудуваме загревање и претворање на 1 kg вода со почетна температура $t_0 = 0^\circ\text{C}$ во прегреана парча. Процесот се одвива при $p = const.$ и е прикажан во $T-s$ дијаграм.



Сл.1.7 Размена на топлина при испарување

Количеството на топлина потребно за загревање на 1kg вода со почетна температура $t_0 = 0^\circ\text{C}$, на температура на заситување или испарување се нарекува **топлина на течноста (q_t)**.

Бидејќи промената од 0 – 1 е промена при $p=\text{const.}$ оваа топлина може да се изрази преку енталпијата.

$$q_t = i_1 - i_0 = i' - i_0 = i'$$

Бидејќи при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ и енталпијата $i_0 = 0$, произлегува да е:

$$q_t = i' \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Вредностите за (i') за даден притисок или дадена температура се читаат од табели кои се дадени на крајот од учебников.

Количеството на топлина што треба да и се доведе на 1kg врела вода (**1**) за да се претвори во сувозаситена пареа (**3**) се нарекува **топлина на испарување (r)**. Дел од топлината на испарување се троши за вршење на надворешна работа, а дел за испарување.

Топлината што се троши за извршување на надворешна работа е наречена „**надворешна топлина за испарување**“ (**Ψ**), а се пресметува според равенката:

$$\psi = p(v'' - v') \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Топлината што се троши за промена на агрегатната состојба (испарување) се вика **внатрешна или латентна топлина за испарување (ρ)** и е еднаква на:

$$\rho = u'' - u' \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Според тоа е:

$$r = \psi + \rho = p(v'' - v') + (u'' - u') = pv'' - pv' + u'' - u' = (u'' + pv'') - (u' + pv') = i'' - i'$$

$$r = i'' - i' \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Вредностите за i' и i'' за даден притисок или дадена температура се читаат од табели за водена пареа.

Од друга страна, топлината на испарување може да се изрази како површина во дијаграмот:

$$r = T_z (s'' - s') \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Количеството на топлина што треба да се доведе за претворање на 1kg сувозаситена пареа во прегреана, се нарекува „**топлина за прегревање**“ (**q_p**). Може да се пресмета на два начина и тоа:

- преку **средната специфична топлина на прегераната пареа t_p** :

$$q_p = c_p \int_{t_z}^{t_p} (t_p - t_z) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

каде е:

$$c_p \int_{t_z}^{t_p} - \text{средна специфична топлина на прегерана парча која зависи од}$$

притисокот и температурата на пареата, а нејзините вредности се читаат од табели,

- преку енталпиите на пареата:

$$q_p = i_p - i'' \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

каде е:

$$i_p \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{енталпија на прегреана парча чии вредности се читаат од табели}$$

за даден (p) или дадена (t)

$$i'' \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{енталпија на сувозаситена парча чии вредности исто така се}$$

читаат од табели или од i – s дијаграм.

Вкупната топлина за добивање 1kg прегреана парча од вода претставува збир од топлината на течноста, топлината на испарување и топлината за прегревање.

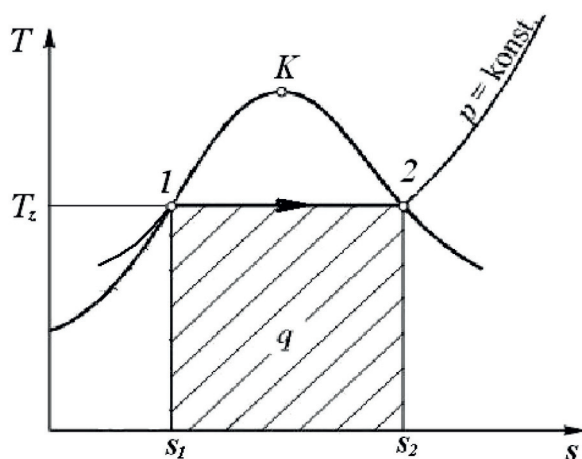
$$q = q_t + r + q_p = i' - i_0 + i'' - i' + i_p - i'' = i_p - i_0 = i_2 - i_1$$

$$q = i_2 - i_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$i_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{енталпија во почетна состојба}$$

$$i_2 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - \text{енталипија во крајна состојба}$$

Пример 1.1: 1kg врела вода со $p = 4,41 \text{ bar}$ се претвора во сувозаситена парча. Колку топлина треба да се доведе и за колку ќе се промени ентропијата? Задачата да се прикаже во T-s дијаграм, а да се реши со помош на табела II/2-3 стр. 176 Прилог I.



$$\begin{aligned}i' &= 620 \\i'' &= 2743 \\s' &= 1,8133 \\s'' &= 6,8638 \\q &=? \\ \Delta s &=?\end{aligned}$$

$$q = i_2 - i_1 = i'' - i' = 2743 - 620 = 2123 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 = s'' - s' = 6,8638 - 1,8133 = 5,0505 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Пример 1.2: 1kg прегреана парча со притисок $p = 19,62\text{bar}$ и температура $t_p = 380^\circ\text{C}$ се лади и притоа преминува во сувозаситена парча. Колкава е одведената топлина и за колку ќе се промени ентропијата. Задачата да се прикаже во T-s дијаграм за водена парча и да се реши со користење на парни таблици.

(Табела II/3-11 стр. 189 и табела II/2-3 стр. 176 за сувозаситена парча, Прилог I)

$$p = 19,62\text{bar}$$

$$t_p = 380^\circ\text{C}$$

$$i_p = 3203 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

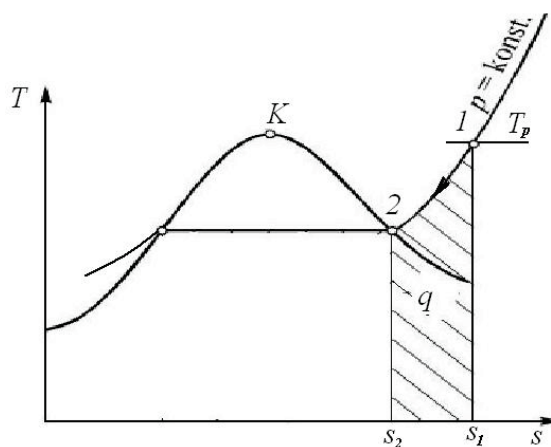
$$i'' = 2799 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_p = 7,0648 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s'' = 6,3476 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$q = ?$$

$$\Delta s = ?$$



$$q = i_p - i'' = 3203 - 2799 = 404 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta s = s_p - s'' = s_1 - s_2 = 7,0648 - 6,3476 = 0,7172 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Пример 1.3: Со користење на Молиеровиот $i - s$ дијаграм да се пресмета количеството на топлина што треба да се доведе за претворање на 1kg сувозаситена парча со $p = 98,1\text{bar}$, во прегреана парча со температура до 400°C и за колку ќе се промени ентропијата?

Од $i-s$ дијаграм читаме:

$$i_p = i_2 = 3110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

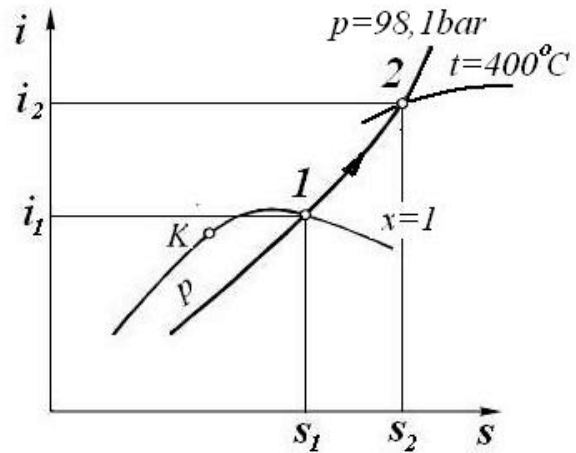
$$i'' = i_1 = 2730 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_p = s_2 = 6,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s'' = s_1 = 5,62 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$q = ?$$

$$\Delta s = ?$$



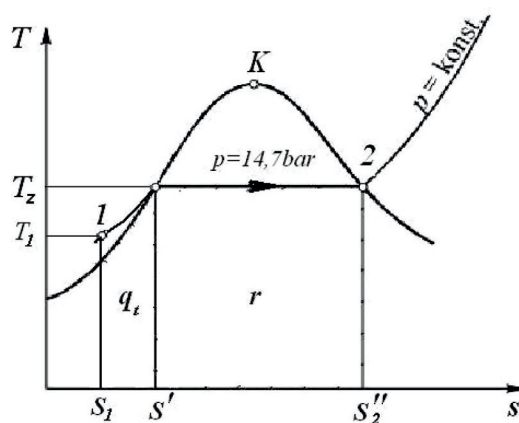
$$q = i_p - i'' = i_2 - i_1 = 3110 - 2730 = 380 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta s = s_p - s'' = s_2 - s_1 = 6,25 - 5,62 = 0,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Пример 1.4: Во парен котел се произведува $1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ сувозаситена парча со $p = 14,7 \text{ bar}$. Температурата на напојната вода е 50°C . Треба да се определи:

- температурата и волуменот на произведената парча,
- количеството на топлина за загревање на температура на заситување,
- топлината потребна за испарување на водата,
- вкупната топлина за производство на пареата,
- процесот да се прикаже во $T-s$ дијаграм.

Од табела II/2-3 стр. 176 за дадениот притисок читаме:



$$v'' = 0,1342 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$i' = 840,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$t_z = 197,3^\circ\text{C}$$

$$i'' = 2791 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Бидејќи произведената парча е сувозаситена, нејзината температура е еднаква на температурата на испарување:

$$t_2 = t_z = 197,3^\circ\text{C}$$

Исто така специфичниот волумен на пареата ќе биде:

$$v_2 = v'' = 0,1342 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Производството на парea изнесува:

$$m = 1000 \frac{kg}{h} = \frac{1000}{3600} = 0,278 \frac{kg}{s}$$

Вкупниот волумен на парeата ќе биде:

$$V = m \cdot v'' = 0,278 \cdot 0,1342 = 0,0373 \frac{m^3}{s} = 134,3 \frac{m^3}{h}$$

Количеството на топлина за загревање на водата од почетна температура 50°C, на температура на заситување, изнесува:

$$q_t = i' - i_1 = 840,3 - 209,3 = 631 \frac{kJ}{kg}$$

Енталпијата на напојната вода се пределува преку нејзината специфична топлина (c_v) и нејзината температура ($t_v = 50^\circ C$):

$$i_v = i_1 = c_v \cdot t_v = 4,187 \cdot 50 = 209,3 \frac{kJ}{kg}$$

Топлината на испарување изнесува.

$$r = i'' - i' = 2791 - 840,3 = 1950,7 \frac{kJ}{kg}$$

Вкупната топлина за добивање 1 kg сувозаситена парea од вода, изнесува:

$$q = q_t + r = 631 + 1950,7 = 2581,7 \frac{kJ}{kg}$$

Задачи за вежби:

1. Колку топлина треба да се одведе за претворање на 1kg сувозаситена парea со $p = 33,3bar$ во врела вода и за колку ќе се промени ентропијата? (задачата да се реши со користење на парни таблици за водена парea)

2. Со помош на i -s дијаграм да се определи енталпијата, ентропијата и специфичниот волумен на прегреана парea со $p = 30bar$ $t_p = 400^\circ C$.

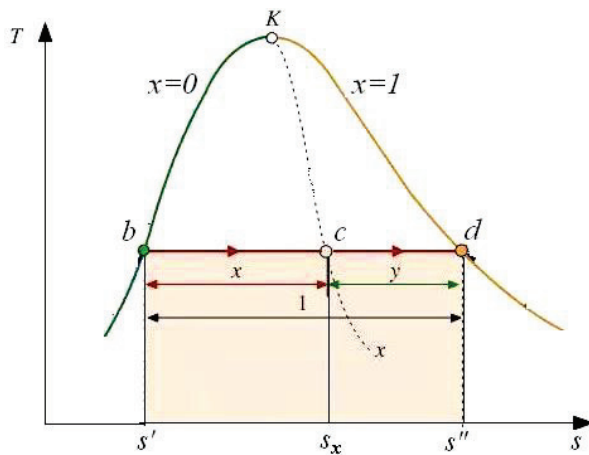
1.3 ГОЛЕМИНИ НА СОСТОЈБА НА ВЛАЖНА ПАРEA

1. Содржина на парeата

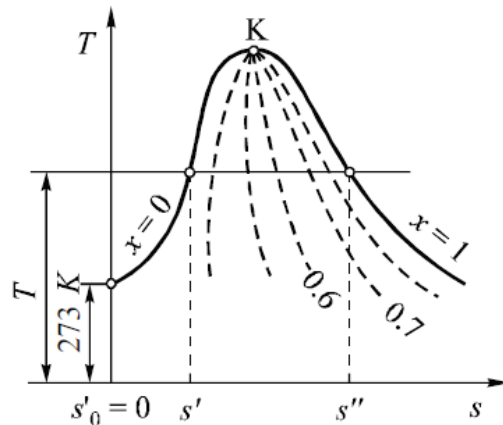
Количеството на сува парea во 1kg влажна парea се нарекува **содржина на парea** и се обележува со (**x**).

Количеството на неиспарена течност што се содржи во 1 kg влажна парea се нарекува **содржина на влага** и се обележува со (**y**) односно (**1-x**).

Дефинираните големини (**x**) и (**y**) се прикажани на сл.1.8. Од сликата може да видиме дека точката **b** се наоѓа на долната гранична крива **x=0**, што значи за жешката течност **x = 0**. Точката **d** се наоѓа на горната гранична крива **x=1**, што значи за сувозаситената парea **x = 1**. За сите останати состојби на влажна парea меѓу точките **b** и **d** вредноста на x изнесува: $0 < x < 1$ (сл.1.9).



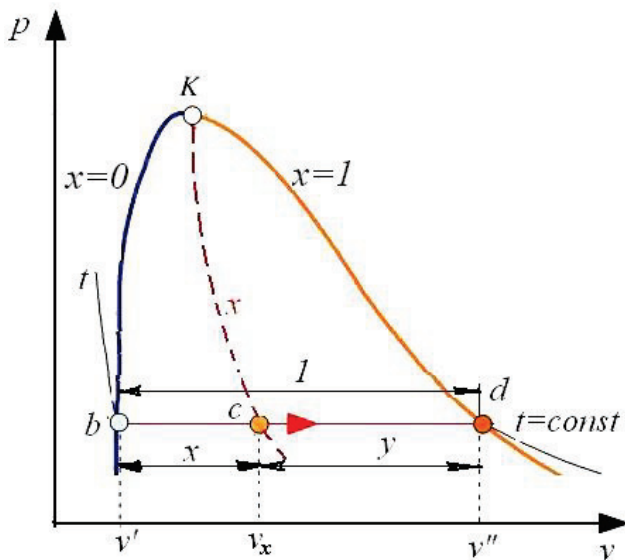
Сл.1.8 Содржина на пареа и содржина на влага



Сл.1.9 Степен на содржина на пареа

2. Специфичен волумен на влажна пареа

Специфичниот волумен на влажната пареа v_x (состојба c) зависи од притисокот p_z или температурата T_z и содржината на пареа x . На влажна пареа со маса од 1kg специфичниот волумен се определува како збир на волуменот на пареата xv'' и волуменот на влагата $(1-x)v'$.



Сл.1.10 Специфичен волумен на влажната пареа

$$v_x = xv'' + (1-x)v' = xv'' + v' - xv'$$

$$v_x = v' + x(v'' - v') \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Ако е познат специфичниот волумен на пареата, од оваа равенка може да се пресмета содржината на пареа во влажната пареа:

$$x = \frac{v_x - v'}{v'' - v'}$$

3. Енталпија на влажна пареа

Енталпија на влажната пареа i_x се определува како за смеса од течност и пареа.

$$i_x = xi'' + (1-x)i' = xi'' + i' - xi'$$

$$i_x = i' + x(i'' - i') \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$i_x = i' + xr \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Ако е позната енталпијата на влажната пареа, содржината на пареата ќе биде:

$$x = \frac{i_x - i'}{i'' - i'}$$

4. Внатрешна енергија на влажна пареа

Аналогно на специфичниот волумен и енталпија и внатрешната енергија на влажната пареа u_x се определува како внатрешната енергија на смеса од течност и пареа:

$$u_x = xu'' + (1-x)u' = xu'' + u' - xu'$$

$$u_x = u' + x(u'' - u') \text{ или,}$$

$$u_x = u' + x\rho \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Внатрешната енергија може да се пресмета и според равенката:

$$u_x = i_x - pv_x \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$\text{каде } p[kPa], \text{ а } v_x \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

5. Ентропија на влажна пареа

Ентропијата на влажната пареа s_x се определува според равенката:

$$s_x = s' + x(s'' - s') \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$$

Ако е позната ентропијата може да се пресмета содржината на пареата:

$$x = \frac{s_x - s'}{s'' - s'}$$

Пример 1.5: Да се определи специфичниот волумен, енталпијата, ентропијата и внатрешната енергија на влажна пареа со $p = 23,5bar$ и содржина на пареа $x = 0,8$?

Од Табела II/2-3 стр. 176 Прилог I, за притисок $p = 23,5bar$ читаме:

$$v' = 0,0011914 \frac{m^3}{kg}$$

$$i' = 947,1 \frac{kJ}{kg}$$

$$s' = 2,5251 \frac{kJ}{kgK}$$

$$v'' = 0,08486 \frac{m^3}{kg}$$

$$i'' = 2802 \frac{kJ}{kg}$$

$$s'' = 6,2794 \frac{kJ}{kgK}$$

$$v_x = v' + x(v'' - v') = 0,0011914 + 0,8(0,08486 - 0,0011914) = 0,0681262 \frac{m^3}{kg}$$

$$i_x = i' + x(i'' - i') = 947,1 + 0,8(2802 - 947,1) = 2431,02 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_x = s' + x(s'' - s') = 2,5251 + 0,8(6,2794 - 2,5251) = 5,5285 \frac{kJ}{kgK}$$

$$u_x = i_x - pv_x = 2431,02 - 23,5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0681262 = 2270,9 \frac{kJ}{kg}$$

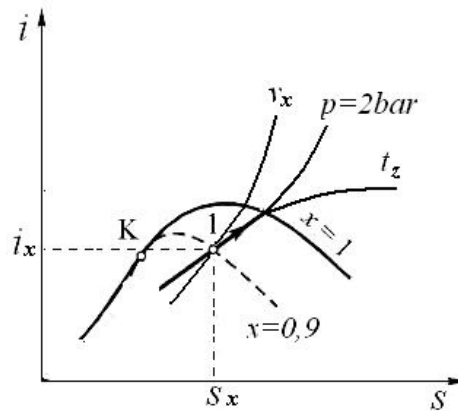
Пример 1.6: Со помош на i - s дијаграм да се определат големините на состојбата на влажна парча со $p = 2bar$ и $x = 0,9$.

Од дијаграмот ги отчитуваме следните големи на состојбата на влажната парча.

$$i_x = 2610 \frac{kJ}{kg}$$

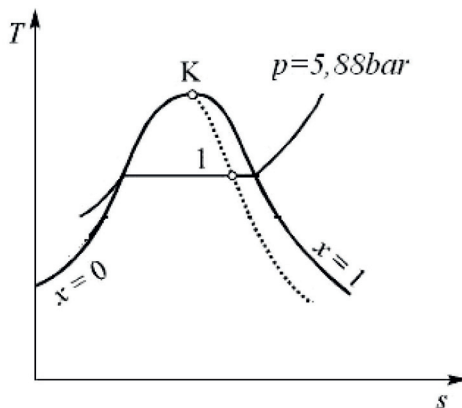
$$s_x = 5,96 \frac{kJ}{kgK}$$

$$v_x = 0,1 \frac{m^3}{kg}$$



Пример 1.7: Да се определи содржината на парча на 1 kg влажна парча со $p = 5,88bar$, ако нејзината енталпија е $2200 \frac{kJ}{kg}$.

Од табела Т.И/2-3 стр. 176 Ги отчитуваме следните вредности:



$$i' = 667 \frac{kJ}{kg}$$

$$i'' = 2756 \frac{kJ}{kg}$$

$$x = \frac{i_x - i'}{i'' - i'} = \frac{2200 - 667}{2756 - 667} = \frac{1533}{2089} = 0,73$$

односно 73% парча, а 27% влага

Пример 1.8: Да се определи содржината на влага во 1kg влажна пареа со притисок $p = 16,7\text{bar}$, ако нејзината ентропија изнесува $5,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ (да се реши со помош на парни табели).

Од парните табели Т.II/2-3 стр.176 отчитуваме:

$$s' = 2,3622 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s'' = 6,4060 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$1 - x = ?$$

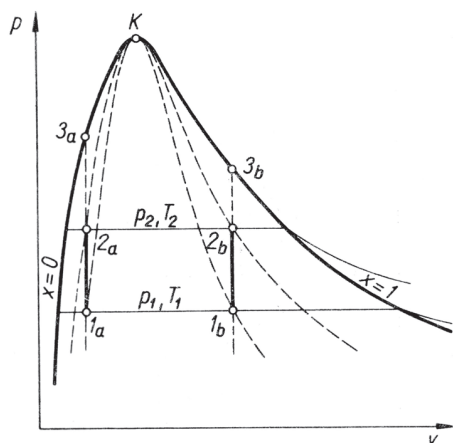
$$x = \frac{s_x - s'}{s'' - s'} = \frac{5,25 - 2,3622}{6,4060 - 2,3622} = 0,71$$

$$y = 1 - x = 1 - 0,71 = 0,29, \quad \text{односно } 29\% \text{ влага}$$

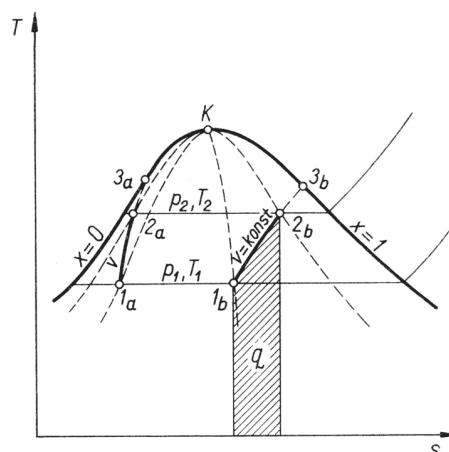
1.4 ПРОМЕНИ НА СОСТОЈБАТА НА ПАРЕАТА ВО ЗАСИТЕНО ПОДРАЧЈЕ

1. Изохора $v = \text{const.}$

Ваква промена на состојбата се јавува при загревање на водата во затворен простор.



Сл.1.11 p-v дијаграм



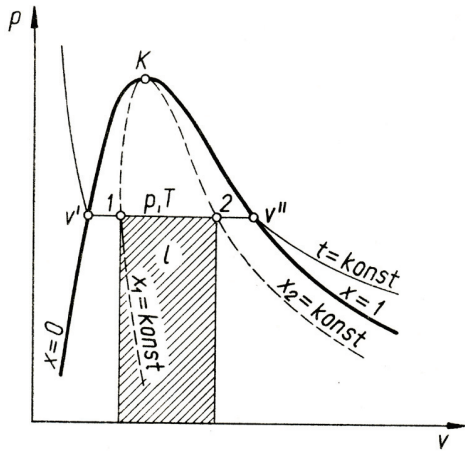
Сл.1.12 T-s дијаграм

Да земеме почетна состојба (1a) со мала содржина на пареа (сл.1.11). Со загревање доаѓаме во (2a) каде содржината на пареата е уште помала. Со понатамошно загревање се доаѓа во (3a) каде ќе ја снеса пареата и ќе добиеме врела вода.

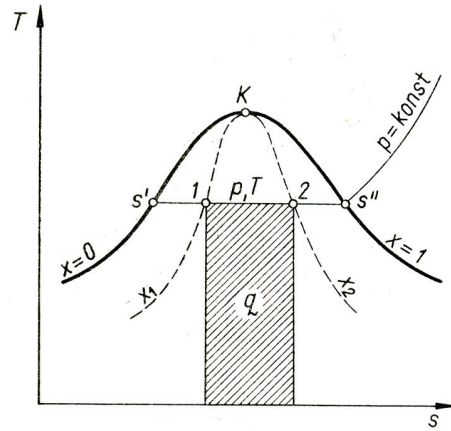
Ако просторот на пареа на почетокот бил поголем, точка (1b) со загревање ќе дојдеме во (2b) каде содржината на пареата е поголема. Со натамошно загревање ќе испари и преостанатао то количество на вода и ќе добиеме сувозаситена пареа точка (3b). Истата состојба може да се преслика и во T-s дијаграм (сл.1.12). При оваа состојба не се врши работа поради тоа што нема промена на волуменот.

2. Изобара $p = \text{const.}$

Со довод на топлина на влажната пареа (1) при $p = \text{const.}$ испарува водата и доаѓаме во состојба (2) каде содржината на пареа е поголема. Во овој случај изобарата истовремено е и изотерма $t = \text{const.}$



Сл.1.13 p-v дијаграм



Сл.1.14 T-s дијаграм

Надворешната работа изнесува:

$$w = p(v_2 - v_1)$$

Со замена за волуменот на влажаната парча во крајна и почетна положба се добива:

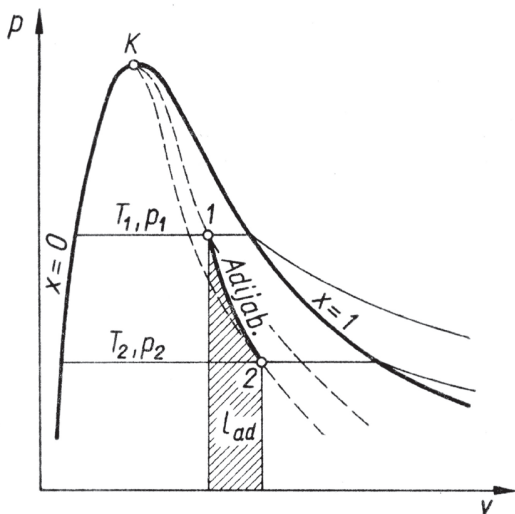
$$w = p(v'' - v')(x_2 - x_1) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Доведената топлина изнесува:

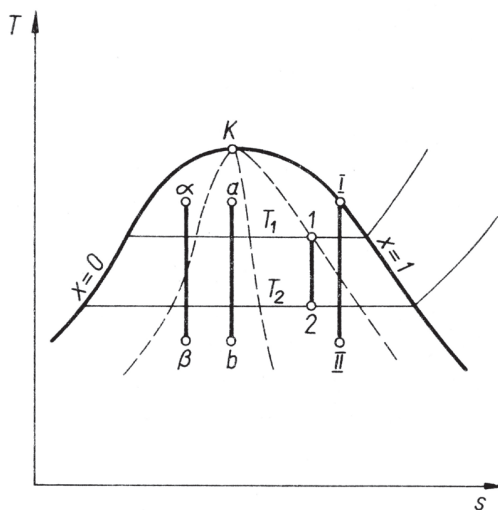
$$q = T(s_2 - s_1) = r(x_2 - x_1) = (i'' - i')(x_2 - x_1) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

3. Адијабата q=0

Ако адијабатски експандира влажна парча при s=const. ќе стане повлажна или посува во зависност од тоа дали пареата е поблиску до левата или десната гранична крива. Ако е поблиску до левата гранична крива ќе се добие посува, а ако е поблиску до десната ќе се добие повлажна парча.



Сл.1.15 p-v дијаграм



Сл.1.16 T-s дијаграм

При оваа промена на состојбата се добива работа за сметка на смалувањето на внатрешната енергија на пареата.

$$w = u_1 - u_2 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Во заситеното подрачје со приближна точност може да се постави равенката на адијабатата:

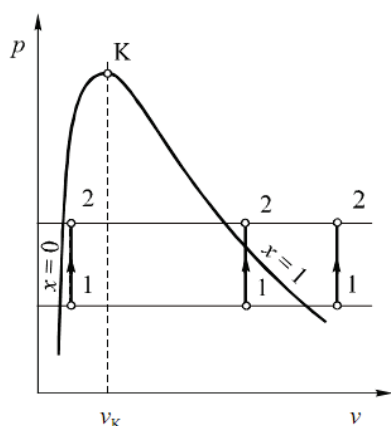
$$pv^k = const$$

каде е (к) експонент или коефициент на адијабата кој изнесува:

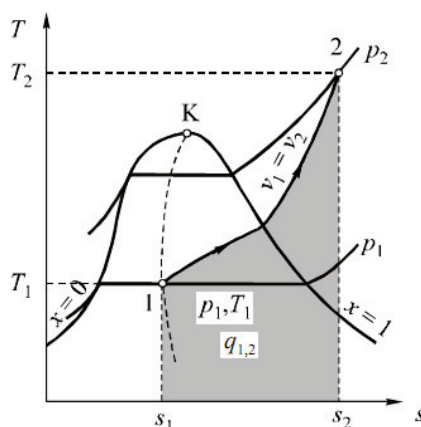
- за заситено подрачје $k=1,135$
- за прегреано подрачје $k=1,3 \div 1,31$

1.5 ОСНОВНИ ПРОМЕНИ НА ПАРЕАТА ВО p-v, T-s и i-s ДИЈАГРАМ

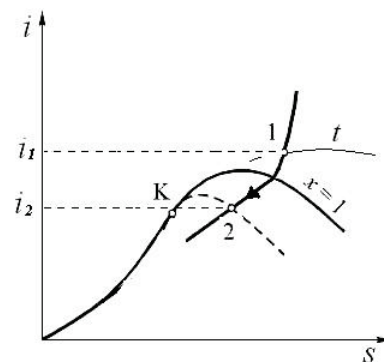
1. Изохора $v=const.$



Сл.1.17 p-v дијаграм



Сл.1.18 T-s дијаграм



Сл.1.19 i-s дијаграм

$$w = 0; \quad q = u_1 - u_2; \quad \begin{aligned} u_1 &= i_1 - p_1 v \\ u_2 &= i_2 - p_2 v \end{aligned}$$

Пример 1.9: 1 kg прегреана пареа со $p_1 = 15,7bar$ и температура $400^\circ C$ се лади при $v=const.$ така да се добива сувозаситена пареа со $p_2 = 1,57bar$. Колкава е одведената топлина?

Од табела II/3-10 стр.188 за прегреана пареа читаме:

$$\text{За } p_1 = 15,7bar \quad i_p = 3254 \frac{kJ}{kg} \quad v_p = 0,1937 \frac{m^3}{kg} = v''$$

Од табела II/2-2 стр.175 за заситена пареа читаме:

$$\text{За } p_2 = 1,57bar. \quad i'' = 2695 \frac{kJ}{kg}$$

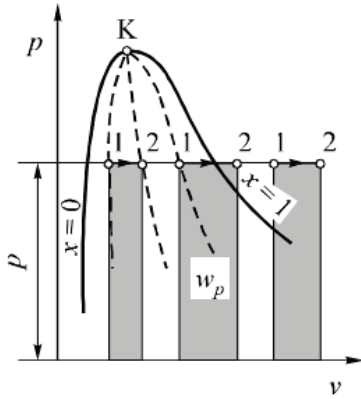
Одведената топлина изнесува:

$$q = u_1 - u_2 = u_p - u'' = 2950 - 2665 = 285 \frac{kJ}{kg}$$

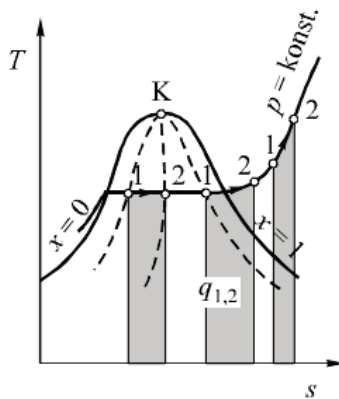
$$u_p = i_p - p_1 v_p = 3254 - 15,7 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1937 = 3254 - 304 = 2950 \frac{kJ}{kg}$$

$$u'' = i'' - p_2 v'' = 2695 - 1,57 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1937 = 2695 - 30 = 2665 \frac{kJ}{kg}$$

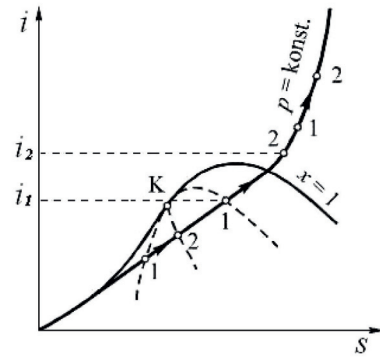
2. Изобара p=const



Сл.1.20 p-v дијаграм



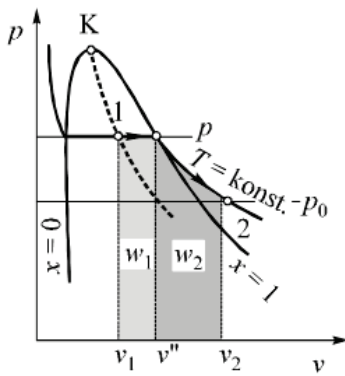
Сл.1.21 T-s дијаграм



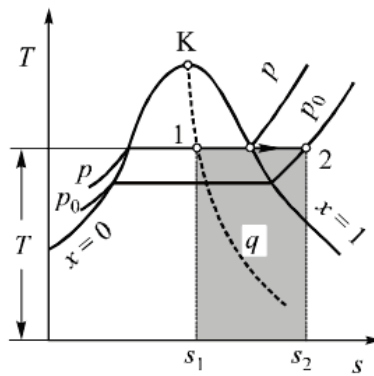
Сл.1.22 i-s дијаграм

$$w = p(v_2 - v_1) \quad q = i_2 - i_1$$

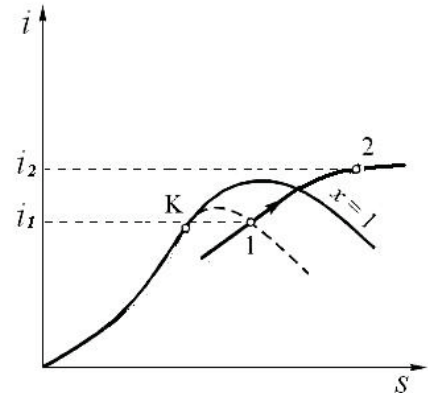
3. Изотерма t = const



Сл.1.23 p-v дијаграм



Сл.1.24 T-s дијаграм



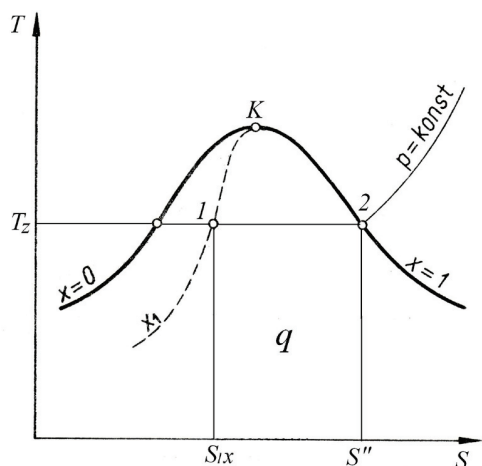
Сл.1.25 i-s дијаграм

$$w = q \quad q = T(s_2 - s_1)$$

Пример 1.10: 1kg влажна парча со температура 147°C и содржина на влага 80% изотермски експандира, така да после експанзијата постанува сувозаситена. Да се определат:

- колку топлина треба да се доведе;
- задачата да се прикаже во T-s дијаграм.

Од табела II/1-3 стр.172 за дадената температура читаме:



$$s' = 1,8112 \frac{kJ}{kgK}$$

$$s'' = 6,8655 \frac{kJ}{kgK}$$

$$p = 4,389bar$$

$$T_z = t + 273 = 147 + 273 = 420K$$

Содржината на пареа во почетната состојба е:

$$x = 1 - 0,8 = 0,2 \text{ или } 20 \%$$

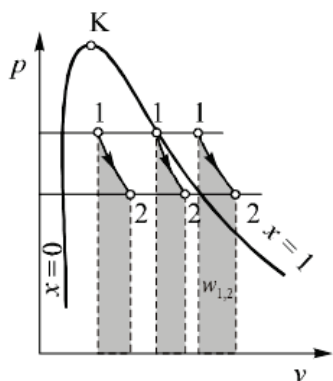
Големините на состојбата во почетната состојба изнесуваат:

$$s_{1,x} = s_1' + x(s_1'' - s_1') = 1,8112 + 0,2 \cdot (6,8655 - 1,8112) = 2,8226 \frac{kJ}{kgK}$$

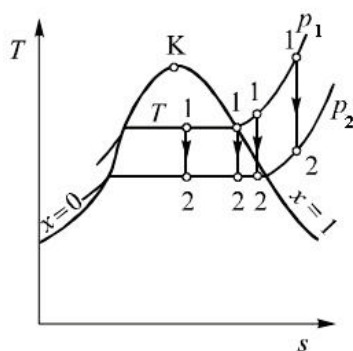
Доведената топлина изнесува;

$$q = T_z(s'' - s_x) = 420 \cdot (6,8655 - 2,822) = 1698 \frac{kJ}{kg}$$

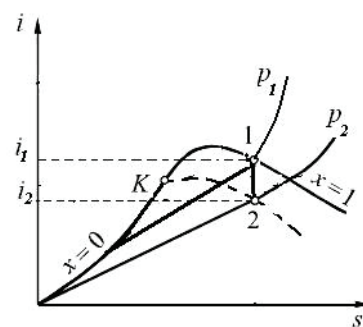
4. Адијабата $q = 0$



Сл.1.26 p-v дијаграм



Сл.1.27 T-s дијаграм



Сл.1.28 i-s дијаграм

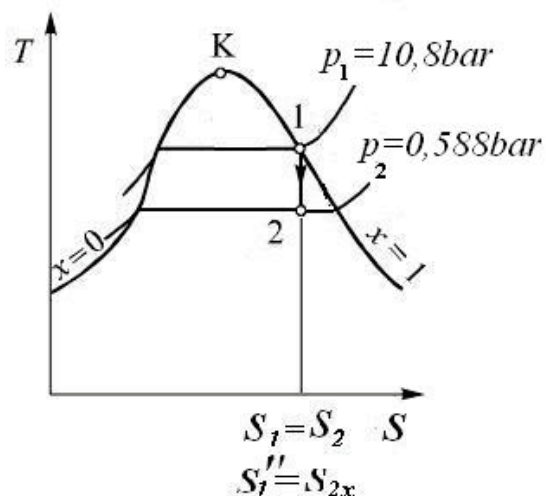
$$w = u_1 - u_2 \quad q = 0; \quad s_1 = s_2 \quad \begin{aligned} u_1 &= i_1 - p_1 v_1 \\ u_2 &= i_2 - p_2 v_2 \end{aligned}$$

Пример 1.11: 1kg сувозаситена пареа со притисок $p_1 = 10,8bar$ експандира адијабатски до притисок $p_2 = 0,58bar$. Да се определат:

- параметрите на состојбата во почетна и крајна состојба,
- апсолутната работа од промената на состојбата,
- техничката работа што ја врши пареата и
- задачата да се прикаже во T-s дијаграм.

Од табела II/2-3 стр.176. за $p_1 = 10,8\text{bar}$
читаме:

$$\begin{aligned} i_1' &= 777,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & i_1'' &= 2780 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ s_1' &= 2,1704 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} & s_1'' &= 6,5607 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \\ v_1' &= 0,0011319 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} & v_1'' &= 0,1808 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{aligned}$$



Од табела II/2-2 стр.175 за $p_2 = 0,588\text{bar}$
читаме:

$$\begin{aligned} i_2' &= 357,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & i_2'' &= 2655 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ s_2' &= 1,1396 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} & s_2'' &= 7,5379 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \\ v_2' &= 0,0010327 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} & v_2'' &= 2,782 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Апсолутната работа при адијабатата изнесува:

$$w = u_1 - u_2 = u_1'' - u_{2x} = 2584,7 - 2278 = 306,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_1'' = i_1'' - p_1 v_1'' = 2780 - 10,8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1808 = 2584,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_{2x} = i_{2x} - p_2 v_{2x} = 2287 - 0,588 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,152 = 2278 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_{2x} = v_2' + x_2(v_2'' - v_2') = 0,0011319 + 0,84(0,1808 - 0,0011319) = 0,152 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Содржината на парча во крајната состојба (2) се добива од условот:

$$s_1'' = s_{2x}$$

$$s_1'' = s_2' + x_2(s_2'' - s_2') \quad \text{од каде е:}$$

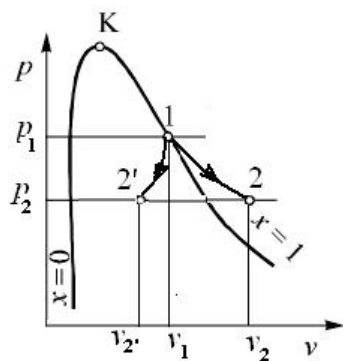
$$x_2 = \frac{s_1'' - s_2'}{s_2'' - s_2'} = \frac{6,5607 - 1,1396}{7,5379 - 1,1396} = \frac{5,4211}{6,3983} = 0,84$$

Техничката работа е дефинирана како работа меѓу два константни притисоци, а изнесува:

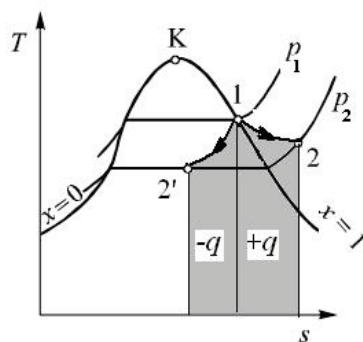
$$w_t = i_1 - i_2 = i_1'' - i_{2x} = 2780 - 2287 = 493 \frac{kJ}{kg}$$

$$i_{2x} = i_2' + x_2(i_2'' - i_2') = 357,8 + 0,84(2655 - 357,8) = 2287 \frac{kJ}{kg}$$

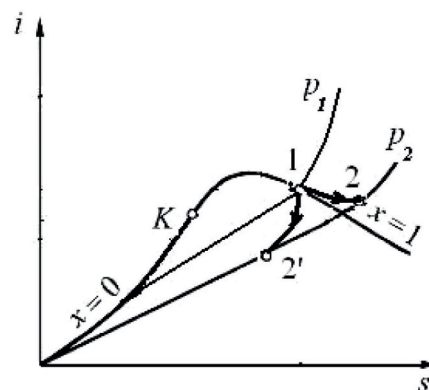
5. Политропа $q \neq 0$



Сл.1.29 p-v дијаграм



Сл.1.30 T-s дијаграм



Сл.1.31 i-s дијаграм

Задачи за вежби:

1. Кој притисок ќе се постигне ако сувозаситена пара со $p = 1 \text{ bar}$ се прегрее при константен волумен на 400°C ? Задачата да се реши со помош на $i - s$ дијаграм.
2. 1 kg влажна пара со $p = 9,81 \text{ bar}$ со $x = 0,4$ се загрева при константен притисок и при тоа се доведува $1000 \frac{kJ}{kg}$ топлина. Каква ќе биде состојбата на пареата по загревањето и колкави ќе бидат параметрите на пареата во крајната состојба? Задачата да се реши со помош на парни таблици.
3. 1kg прегреана пара со $p = 12 \text{ bar}$ и температура 400°C адијабатски експандира до притисок 4 bar . Каква е крајната состојба на пареата, колкава е апсолутната работа и колкава е техничката работа?

Прашања за повторување:

1. Од што зависи температурата на испарување?
2. Што се случува со температурата на водата додека таа испарува?
3. Која крива е наречена крива на сублимација?
4. Што се случува со агрегатната состојба на водата при процесот на кондензацијата?
5. Зошто пареата не врши работа при изохората?
6. Што предизвикува доведената топлина на парета по изобара?
7. Каде изобарата и изотермата се соопвааат?
8. При адијабатата не се доведува топлина, а сепак пареата врши работа. Како се објаснува тоа?
9. Политреопата е реална промена на состојбата која наоѓа примена во техничката практика. Каква може да биде политропската експанзија?
10. Што можеме да прочитаеме од Молиеровиот $i - s$ дијаграм?

2.

ПРЕНЕСУВАЊЕ НА ТОПЛИНАТА

ЦЕЛИ

Ученикот треба да:

- ја познава насоката на преминување на топлината;
- го сфати спроведувањето на топлината низ рамен и цилиндричен сид;
- сознае што се случува со топлината кај флуидите кои се мешаат;
- разликува зрачење на топлината кај телата;
- применува коефициенти на топлинска спроводливост и пренос на топлина:
- врши класификација на изменувачите на топлина;
- проценува предности на изменувачите кои се приемнуваат во практиката;
- објасни како се пресметува средната температурна разлика меѓу флуидите и
- ја согледува зависноста на површината на изменувачот од средната логаритамска температурна разлика меѓу флуидите.

2. ПРЕНЕСУВАЊЕ НА ТОПЛИНАТА

Промената на топлината помеѓу две тела која настанува заради нивната разлика во температурата се вика **пренос на топлина**. Доколку нема други причини состојбата на телата ќе се менува сè додека не се воспостави топлинска рамнотежа т. е. да се изедначат температурите на двете тела. Тогаш престанува преносот на топлината.

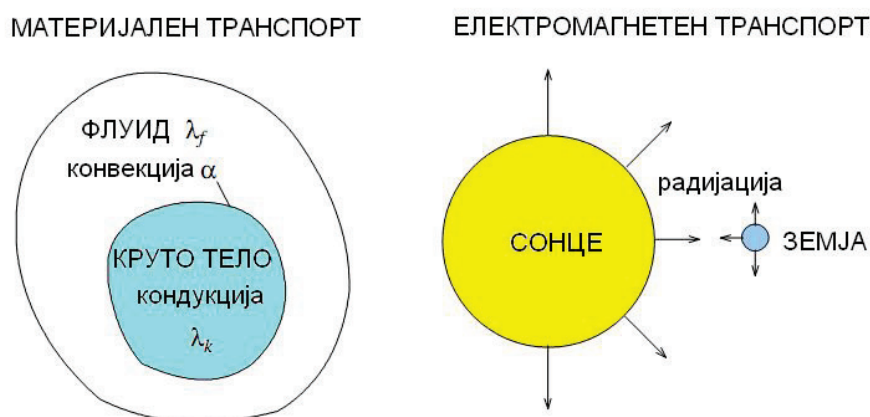
Во текот на промената на топлина помеѓу две тела (во тврда, течна или гасовита состојба), нивните материјални честички се наоѓаат на различна температура, па можеме да кажеме дека во нивната внатрешност настанува **температурно поле**. Заради тоа, покрај надворешната топлинска нерамнотежа помеѓу двете тела, постои и внатрешна топлинска нерамнотежа во внатрешноста на секое од нив.

При размената на енергија телата можат, а и не мора да бидат во непосреден допир, пришто механизмите на премин на топлина битно се разликуваат.

Преносот на топлина во внатрешноста или помеѓу две тела се одвива на следните два начини:

- **со посредување на материја**, кога телата се во непосреден допир, притоа во зависност од агрегатната состојба на телата, топлината се пренесува низ крути тела со топлиноспроведување (кондукција), или за флуиди со топлинопреминување (конвекција), кон допирната површина на телото со флуидот или од допирната површина на телото со флуидот.

- **со електромагнетни бранови**, кога телата не се допираат. Овој ефект се нарекува **топлинско зрачење** или **радијација**.



Сл. 2.1 Начини на пренос на топлина

2.1 РАСПРОСТИРАЊЕ НА ТОПЛИНАТА

Како што спомнавме распространувањето на топлината меѓу две тела со различни температури, кои се во допир, се врши на еден од следните начини:

- со топлиноспроведување или кондукција за тврди тела,
- пренесување на топлината со топлинопрминување или конвекција за флуиди.

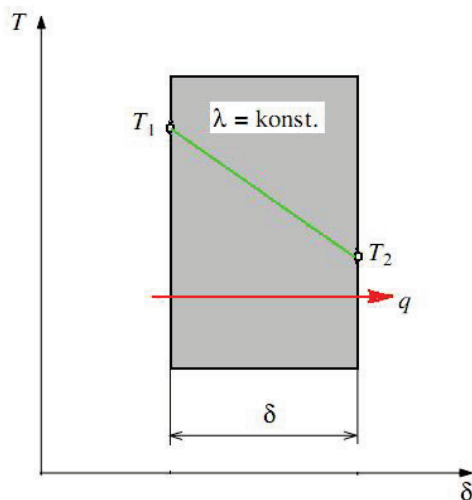
2.1.1 ТОПЛИНОСПРОВЕДУВАЊЕ ИЛИ КОНДУКЦИЈА

Овој начин се изведува кај тврди, хомогени и непровидни тела, а се врши со предавање на топлината од едни честички на други.

Кај крутите тела заради големата молекуларна сила, молекулите се наоѓаат во непосредна близина, па нивното задвижување е проследено со чести судири (молекуларен транспорт). Кај телата во крута агрегатна состојба ова е единствен начин на пренос на топлината, кој се нарекува **топлиноспроведување** или **кондукција**. Кај чистите метали постоењето на слободни електрони го зголемува молекуларниот транспорт.

2.1.1.1 СПРОВЕДУВАЊЕ НИЗ ЕДНОСЛОЕН РАМЕН СИД

Топлината сама по себе е пренесува од место со повисока кон место со пониска температура. Количеството на топлина што преминува низ определен сид со определена дебелина и површина во единица време се нарекува **топлински проток (Φ)**.



Сл. 2.2 Спроведување на топлина низ хомоген рамен сид

Според Фурие топлинскиот проток се пресметува со равенката:

$$\Phi = \lambda \frac{A}{\delta} (T_1 - T_2) [W]$$

Каде е:

$\lambda \left[\frac{W}{mK} \right]$ – коефициент на топлинска

спроводливост на материјалот од кој е изработен сидот и неговите вредности се читаат од табели,

$A [m^2]$ – површина на сидот низ кој се спроведува топлината,

$\delta [m]$ – дебелина на сидот,

$T_1 - T_2 = t_1 - t_2$ – температурна разлика на површините од сидот,

Односот: $\frac{\delta}{\lambda A} = R \left[\frac{K}{W} \right]$ – се вика топлински отпор

Според тоа топлинскиот проток изнесува:

$$\Phi = \frac{t_1 - t_2}{R} [W]$$

Топлинскиот проток што се спроведува низ 1 m^2 површина изнесува:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$\frac{\delta}{\lambda} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$ – специфичен топлински отпор

Табела 2.1 Големини на коефициентот на топлинска спроводливост (λ) при 20°C

Материја	$\lambda \left[\frac{W}{mK} \right]$
Сребро	417
Бакар (во трговијата)	372
Алуминиум	229
Цинк	113
Калај	65
Месинг	112
Бронза	42
Железо, ковано	58
Железо, лиено	56
Челик (0,2 C)	45
Олово	35
Бетон $\left(1500 \frac{kg}{m^3} \right)$	0,58
Сува тула	0,38 ÷ 0,52
Шуплива тула	0,23 ± 0,35
Шамотна тула, од внатре	0,70
Шамотна тула, од надвор	0,87
Котелски камен	□ 1,18
Стакло	0,81 ÷ 0,93
Дрво, со нормални влакненца на спроведувањето	0,13 ÷ 0,21
Дрво, со паралелни влакненца на спроведувањето	0,26 ÷ 0,37
Хартија	0,14
Азбест, влакна	0,15
Азбест, волна	0,06 ÷ 0,20
Стаклена волна	□ 0,038
Минерална волна	0,035
Плута, плоча	□ 0,052
Дрвена пилевина	0,064
Масло, мазиво	0,13
Вода	0,58
Воздух, кој мирува	0,023

Пример 2.1: Да се пресмета топлинскиот проток (Φ) што се спроведува низ бетонски ѕид со дебелина 0,5 m, висина 3,5 m и должина 20 m. Температурата од внатрешната страна на ѕидот е 20°C , а од надворешната -10°C .

Од табела бр.2.1 стр.41 избираме за бетон $\lambda = 0,58 \frac{W}{mK}$.

$$\Phi = \lambda \frac{A}{\delta} (t_1 - t_2) = 0,58 \frac{70}{0,5} [10 - (-10)] = 1624W$$

$$A = ab = 3,5 \cdot 20 = 70m^2$$

Задача за вежба:

Да се определи кофициентот на топлинска спроводливост на материјалот од кој е изработен ѕидот со површина $2,5 \text{ m}^2$ и дебелина 10 mm , ако топлотниот проток изнесува $7,5 \text{ kW}$. Температурната разлика на површините од ѕидот е 20°C .

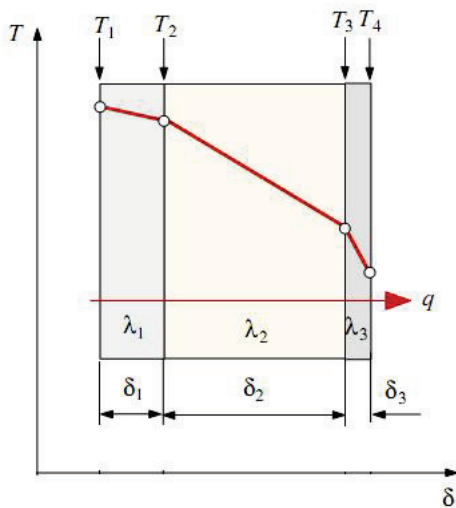
2.1.1.2 СПРОВЕДУВАЊЕ НА ТОПЛИНА НИЗ ПОВЕЌЕСЛОЕН РАМЕН СИД

Ако ѕидот е составен од повеќе слоеви од различен материјал и со различна дебелина, тогаш топлинските отпори ќе бидат:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1 A} \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2 A} \quad R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3 A}$$

Вкупниот топлински отпор ќе биде:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{\delta_1}{\lambda_1 A} + \frac{\delta_2}{\lambda_2 A} + \frac{\delta_3}{\lambda_3 A} = \frac{1}{A} \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$



Сл. 2.3 Спроведување на топлина низ повеќеслоен рамен ѕид

Топлинскиот проток ќе биде:

$$\Phi = \frac{t_1 - t_4}{R} = \frac{A(t_1 - t_4)}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} [\text{W}]$$

За повеќеслоен рамен ѕид, со произволен број на слоеви $i = 1, 2, \dots, n$ и крајни температури t_1 и t_{n+1} , важи равенката:

$$\Phi = \frac{A(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} [\text{W}]$$

Пример 2.2: Вертикален ѕид со дебелина 41 cm составен е од еден слој на тули со дебелина 38 cm и еден слој од малтер со дебелина 3 cm . Коефициентот на топлинска спроводливост на тулата е $\lambda_1 = 0,47 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$, а на малтерот $\lambda_2 = 0,87 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$. Температурата од внатрешната страна на ѕидот е 22°C , а од надворешната 0°C . Ако површината на ѕидот е 25 m^2 , да се определи топлинскиот проток низ ѕидот.

$$\Phi = \frac{t_1 - t_3}{R} = \frac{A(t_1 - t_3)}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} [\text{W}]$$

$$\Phi = \frac{22 - 0}{R} = \frac{25(22 - 0)}{0,38 + \frac{0,03}{0,47} + \frac{0,03}{0,87}} = \frac{500}{0,8 + 0,034} = \frac{550}{0,834} = 659,47W = 0,66kW$$

Задачи за вежби:

1. Собирниот резервоар на една топлинска станица има железен ѕид со дебелина 20 mm, а од внатрешната страна има слој од котелски бигор со дебелина 2 mm. Температурата од внатрешната страна на резервоарот е 250 °С, а од надворешната 200°С.

Да се пресмета специфичниот топлински проток по 1 m² површина. (q=?)!

2. Да се определи топлински проток по 1 m² површина за бетонски ѕид со дебелина 12 cm, и $\lambda_1 = 0,186 \frac{W}{mK}$ кој од едната страна има слој од изолација со дебелина 5 cm и $\lambda_2 = 0,093 \frac{W}{mK}$. Температурата од едната страна на ѕидот е 20°С, а од другата -15 °С.

2.1.1.3 СПРОВЕДУВАЊЕ НА ТОПЛИНА НИЗ ЕДНОСЛОЕН ЦИЛИНДРИЧЕН СИД

При ова спроведување на топлината изотермските површини не се еднакви, бидејќи се менува дијаметарот. Тоа доведува до друг топлински отпор и нелинеарни промени на температурата. Со помош на математика се добива изразот за топлинскиот проток низ цилиндричен ѕид:

$$\Phi = 2\pi\lambda \cdot l \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{d_2}{d_1}} [W]$$

$$\ln \frac{d_2}{d_1} = 2,303 \log \frac{d_2}{d_1}$$

$d_1 [m]$ – внатрешен дијаметар

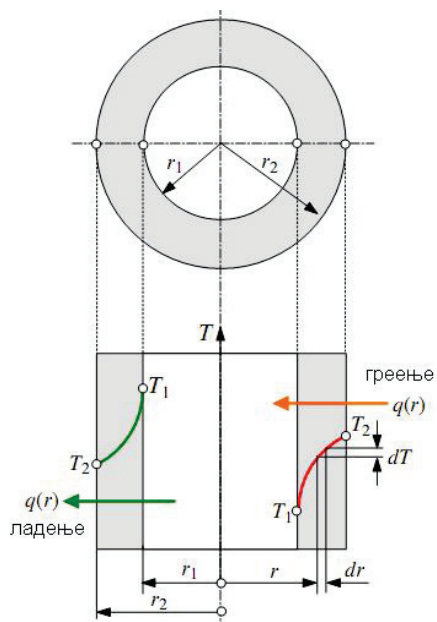
$d_2 [m]$ – надворешен дијаметар

$l [m]$ – должина на цевката

$(T_1 - T_2) [K]$ – температурна разлика

Топлинскиот отпор е:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda \cdot l} \ln \frac{d_2}{d_1} \left[\frac{K}{W} \right]$$



Сл. 2.4 Спроведување на топлина низ еднослоен цилиндричен ѕид

Пример 2.3: Колкав е топлинскиот проток низ челична цевка со внатрешен дијаметар 40 mm, дебелина на ѕидот 3 mm и должина 10 m, ако температурата од внатрешната страна е 100°C, а од надворешната 90°C. Коефициентот на топлинска спроводливост за челичната цевка од табела бр.2.1 стр.41 изнесува $45 \frac{W}{mK}$.

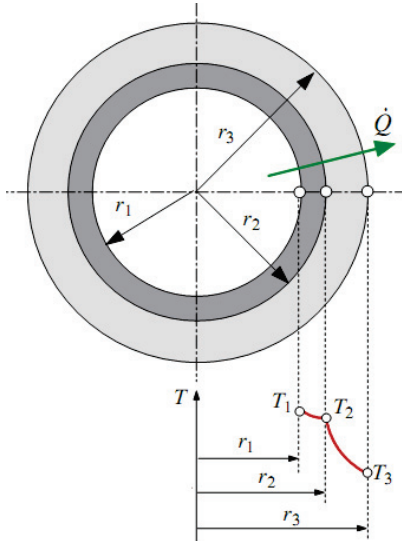
$$\Phi = 2\pi\lambda \cdot l \frac{t_1 - t_2}{2,303 \log \frac{d_2}{d_1}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 45 \cdot 10 \frac{100 - 90}{2,303 \log \frac{46}{40}} = 28260 \cdot \log 1,15 = 28260 \cdot 0,06069 = 1715 \text{ W}$$

Задача за вежба:

Да се пресмета топлинскиот проток што се спроведува низ челична цевка долга 4m, внатрешен дијаметар 50 mm, дебелина на ѕидот 3mm, ако температурната разлика е 50°C.

2.1.1.4 СПРОВЕДУВАЊЕ НА ТОПЛИНАТА НИЗ ЦИЛИНДРИЧЕН ПОВЕЌЕСЛОЕН СИД

Во овој случај цилиндричниот ѕид да е составен од два слоја, се јавуваат два отпори и тоа:



Сл. 2.5 Спроведување на топлина низ двослоен цилиндричен ѕид

$$R_1 = \frac{1}{2\pi\lambda_1 l} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

$$R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_2 l} \ln \frac{d_3}{d_2}$$

Вкупниот топлински отпор ќе биде:

$$R = R_1 + R_2$$

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda l} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)$$

Според тоа, топлинскиот проток изнесува:

$$\Phi = \frac{t_1 - t_3}{R} = \frac{2\pi \cdot l (t_1 - t_3)}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}}$$

За повеќеслоен цилиндричен ѕид, со произволен број на слоеви $i = 1, 2, \dots, n$ и крајни температури t_1 и t_{n+1} , важи равенката:

$$\Phi = \frac{2\pi \cdot l (t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} [W]$$

Пример 2.4: Да се пресмета топлинскиот проток низ челична цевка со должина 120m, и $\lambda_1 = 45 \frac{W}{mK}$, со дијаметри 94/102 mm, изолирана со стаклена волна со дебелина 40mm и со $\lambda_2 = 0,038 \frac{W}{mK}$, температурата на пареата во цевката е 125°C, а на водата 20 °C.(сл.2.5)

$$\Phi = \frac{2\pi \cdot l(t_a - t_b)}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot 2,303 \cdot \log \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot 2,303 \cdot \log \frac{d_3}{d_2}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 120(125 - 20)}{\frac{1}{45} \cdot 2,303 \cdot \log \frac{102}{94} + \frac{1}{0,038} \cdot 2,303 \cdot \log \frac{182}{102}} = 30634W$$

Задача за вежби:

Парен цевковод со дијаметри 100/170 mm е покриен со два слоја изолација. Дебелината на првиот слој е 30 mm, а на вториот 50 mm. Коэффициентите на топлинска спроводливост се: $\lambda_1 = 58 \frac{W}{mK}$, $\lambda_2 = 0,75 \frac{W}{mK}$, $\lambda_3 = 0,093 \frac{W}{mK}$. Внатрешната температура во цевката е 300°C, а надворешната 50°C. Да се пресмета специфичниот топлински проток, како и температурата на допирните површини помеѓу одделните слоеви.

2.1.2 ТОПЛИНОПРЕМИНУВАЊЕ ИЛИ КОНВЕКЦИЈА

Овој начин на распространување на топлината се јавува кај течностите и гасовите, односно во флуидите чии честички ја менуваат својата положба. Честичките на флуидот кои се движат ја носат со себе топлината и затоа топлината се пренесува од едно на друго место. Освен тоа, ако во еден момент две честички се најдат една до друга топлината ќе преминува од потоплата на поладната честичка.

Најчест случај на вакво пренесување на топлината е кога некој флуид струи покрај ѕид, при што доаѓа до преминување на топлината од ѕидот на флуидот или обратно, зависно од тоа чија температура е повисока на ѕидот или флуидот.

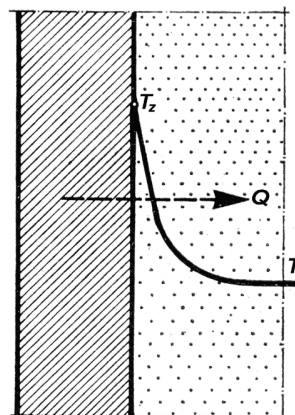
Топлинскиот проток што преминува од ѕидот на воздухот изнесува:

$$\Phi = \alpha A(T_z - T_f)[W]$$

Специфичниот топлински проток ќе биде:

$$q = \alpha(T_z - T_f) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

во равенките е:



Сл. 2.6 Пренесување на топлина од ѕидот на флуид

- $\alpha \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ - коефициент на конвекција,
 $A [m^2]$ – допирна површина меѓу сидот и флуидот,
 $T_z [K]$ – температура на сидот и
 $T_f [K]$ - температура на флуидот.

Коефициентот на конвекција зависи од многу фактори. Тие се:

- брзината на струење на флуидот и тоа со зголемување на брзината на струење се зголемува и коефициентот на конвекција;
- карактерот на струењето на флуидот и тоа за турбулентно струење на флуидот коефициентот има поголема вредност отколку за ламинарно струење;
- физичките особини на флуидот;
- промената на агрегатната состојба (испарување, кондензација и сл.);
- геометрискиот облик на површината,
- степенот на рапавост на површината и други.

Табела 2.2 Ориентациони вредности на коефициентот на конвекција

Материја	$\alpha \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$
Воздух со природна циркулација	2 ÷ 20
Воздух и гасови со присилна циркулација	100 ÷ 120
Пареа со присилна циркулација	300 ÷ 2000
Течност со присилна циркулација	4000 ÷ 6000
Вода која испарува и пареа која кондензира	5000 ÷ 25000

Пример 2.5: Температурата на воздухот во просторијата е 20 °C, а на сидот 8 °C. Колку топлина се предава од воздухот на сидот со димензии 4 x 5,5 m, ако коефициентот на конвекција на воздухот е $75 \frac{W}{m^2 K}$?.

$$\Phi = \alpha A (t_f - t_z) = 75 \cdot 22 \cdot (20 - 8) = 19800 W$$

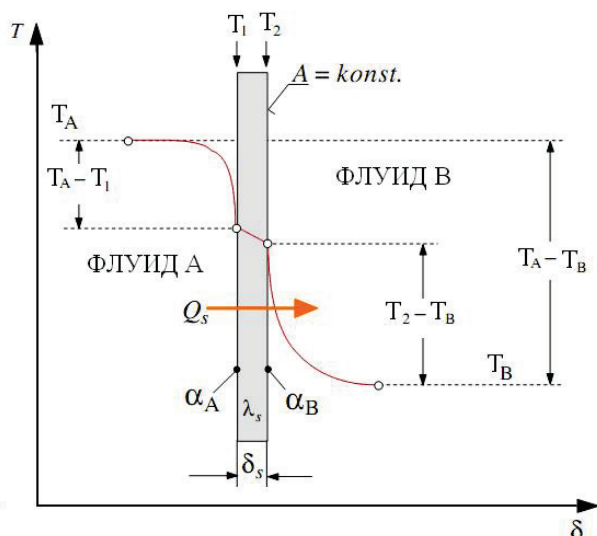
$$A = a \cdot b = 4 \cdot 5,5 = 22 m^2$$

Задача за вежби: Температурата на сидот во просторијата е 16°C, а површината 1m². Колкава е температурата на воздухот во просторијата ако во единица време се предава топлина од $25 \frac{W}{m^2}$, а коефициентот на конвекција од сидот на воздухот е $7,5 \frac{W}{m^2 K}$?.

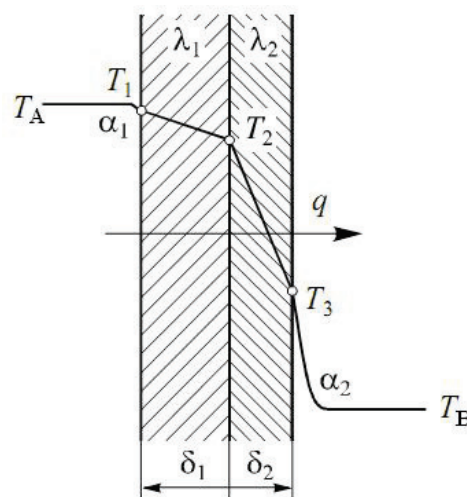
2.1.3 ПРЕНОС НА ТОПЛИНАТА

Распростирањето на топлината само со спроведување или само со преминување во техничката практика многу ретко се сретнува. На пример ако два

флуида со различни температури меѓусебно се одделени со ѕид, топлината ќе преминува од потоплиот флуид на ѕидот со конвекција, низ ѕидот со спроведување и од ѕидот на поладниот флуид повторно со конвекција. Овој начин на распространување на топлината се нарекува **пренос на топлината**.



Сл. 2.7 Пренос на топлината низ еднослоен хомоген ѕид



Сл. 2.8 Пренос на топлината низ двослоен хомоген ѕид

Топлинскиот проток што преминува од потоплиот флуид на ѕидот се пресметува според равенката:

$$\Phi = \alpha_1 A (T_A - T_1) [W]$$

Истото количество на топлина се спроведува низ ѕидот според равенката:

$$\Phi = \frac{\lambda}{\delta} A (T_1 - T_2) [W]$$

И конечно истото количество преминува со струење или конвекција од ѕидот на поладниот флуид:

$$\Phi = \alpha_2 A (T_2 - T_B) [W]$$

Со решавање на овие равенки по температурните разлики и со собирање на левите и десните страни се добива:

$$T_A - T_B = \frac{\Phi}{A} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

Изразот во заградата претставува **вкупен топлински отпор (R)**.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Реципрочната вредност на вкупниот топлински отпор го дава **коэффициентот на пренос на топлина (K)**.

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Топлинскиот проток што ќе премине низ еднослоен рамен ѕид изнесува:

$$\Phi = KA(T_a - T_b) [W]$$

Каде е:

$K \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ - коефициент на пренос на топлина чии вредности се читаат од табела, а ако не се познати, тогаш се пресметуваат,
 $A [m^2]$ – површина на ѕидот низ која преминува топлината,
 $T_A [K]$ – температура на потоплиот флуид,
 $T_B [K]$ - температура на поладниот флуид.

2.1.3.1 ПРЕНОС НА ТОПЛИНА НИЗ ЕДНОСЛОЕН ЦИЛИНДРИЧЕН СИД

Низ ѕидот на цевка со должина l , дефинирана со радиусите r_1 и r_2 , при стационарно струење топлинскиот проток е константен. Бидејќи површината низ која преминува топлината зависи од радиусот на цевката, тогаш и топлинскиот проток зависи од радиусот.

За секое од трите подрачја одговара соодветна равенка за топлинскиот проток:

- Топлинскиот проток од флуидот А на цевката изнесува:

$$\Phi = \alpha_A (T_A - T_1) \cdot 2r_1 \pi \cdot l$$

- Топлинскиот проток низ ѕидот на цевката изнесува:

$$\Phi = \frac{2\pi \cdot l (T_1 - T_2)}{\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

- Топлинскиот проток од цевката на флуидот В изнесува:

$$\Phi = \alpha_B (T_2 - T_B) \cdot 2r_2 \pi \cdot l$$

Со решавање на равенките така што на нивната десна страна остане разликата на температурите и со нивно собирање се добива изразот:

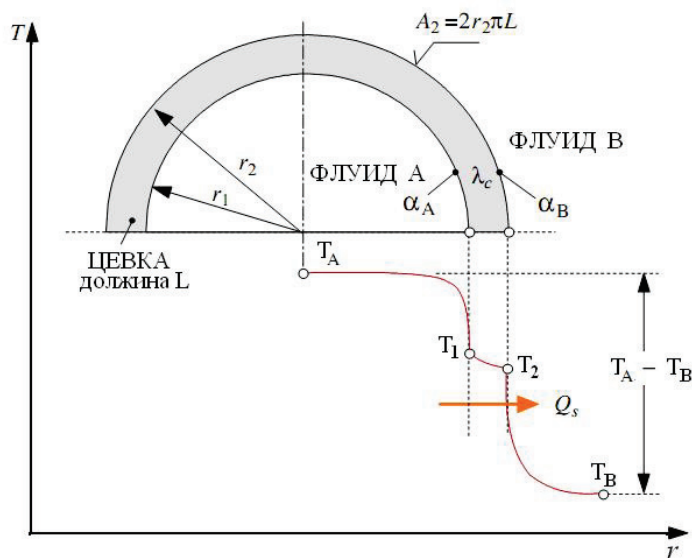
$$\frac{\Phi}{2\pi \cdot l} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_A r_1} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_B r_2} \right) = T_A - T_B$$

Според тоа топлотниот проток за еднослоен цилиндричен ѕид се пресметува според равенката:

$$\Phi = \frac{2\pi \cdot l (T_A - T_B)}{\frac{1}{\alpha_A r_1} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_B r_2}} [W]$$

За спроведување на топлината низ 1m должина од цевката, протокот изнесува:

$$q = \frac{\Phi}{l} \left[\frac{W}{m} \right]$$



Сл. 2.9 Пренос на топлината низ еднослоен цилиндричен ѕид

Пример 2.6: Низ не изолирана челична цевка со дијаметар 92/100 mm и должина 15 m, струи пара со температура 100°C. Да се определи топлинскиот проток низ цевката, ако коефициентот на премин на топлина од внатрешната страна е $\alpha_1 = 8100 \frac{W}{m^2 K}$, а од надворешната страна е $\alpha_2 = 23,2 \frac{W}{m^2 K}$. Температурата на околината е 20 °C.

За челик: $\lambda = 45 \frac{W}{mK}$

$$\Phi = \frac{t_a - t_b}{\frac{1}{d_1 \pi \alpha_a} + \frac{1}{2\pi \lambda \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} + \frac{1}{d_2 \pi \alpha_b}} \cdot l$$

$$\Phi = \frac{100 - 20}{\frac{1}{0,092 \cdot 3,14 \cdot 23,2} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 45 \cdot \ln \frac{100}{92}} + \frac{1}{0,1 \cdot 3,14 \cdot 8100}} \cdot 15 = 8053,6W$$

Задача за вежбање:

Низ челична цевка со должина 3 m и дијаметри 50/55 mm струи вода со температура 80 °C, а околу цевката е воздух со температура 20 °C. Коефициентот на премин на топлина изнесува $1800 \frac{W}{m^2 K}$, а за воздух $5,6 \frac{W}{m^2 K}$. Да се пресмета топлинскиот проток низ цевката.

2.1.3.2 ПРЕНОС НА ТОПЛИНАТА НИЗ ПОВЕЌЕСЛОЕН ЦИЛИНДРИЧЕН СИД

За пресметка на топлинскиот проток низ повеќеслоен цилиндричен сид се користи формулата:

$$\Phi = \frac{t_a - t_b}{\frac{1}{d_1 \pi \alpha_a} + \frac{1}{2\pi \lambda_1 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} + \frac{1}{2\pi \lambda_2 \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}} + \dots + \frac{1}{d_n \pi \alpha_b}} \cdot l \quad [W]$$

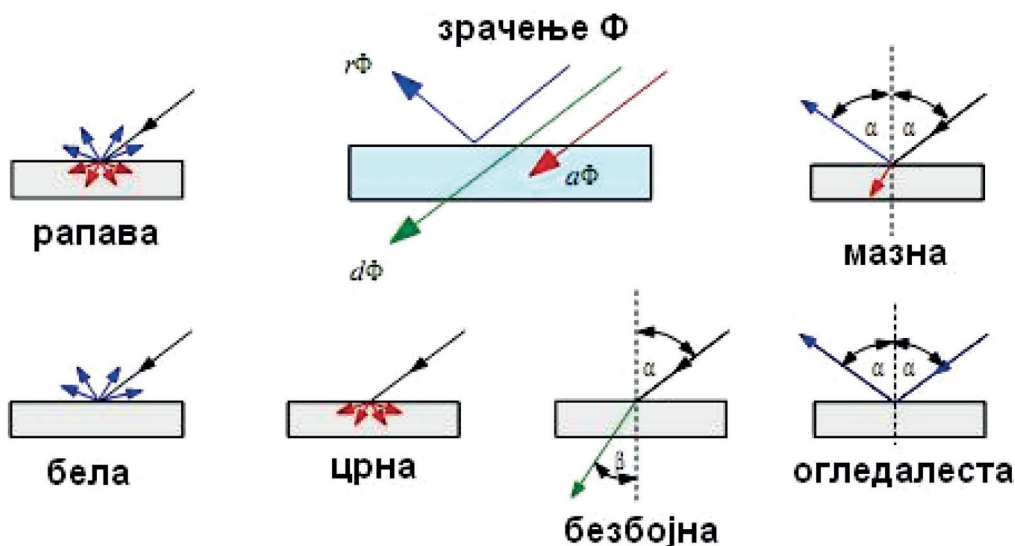
Пример 2.7: Да се определи топлинскиот проток што преминува низ цевка со должина 120 m и дијаметри 94/102 mm изработен од материјал со $\lambda_1 = 51 \frac{W}{mK}$, изолирана со изолационен материјал со $\lambda_2 = 0,812 \frac{W}{mK}$ и дебелина 0,04 m. Температурата на пареата во цевката изнесува 125°C, а на водата околу цевката 20°C. Коefициентите на премин на топлина се $\alpha_a = 11600 \frac{W}{m^2 K}$ и $\alpha_b = 11,6 \frac{W}{m^2 K}$.

$$\begin{aligned} \Phi &= l \frac{t_a - t_b}{\frac{1}{d_1 \pi \alpha_a} + \frac{1}{2\pi \lambda_1 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} + \frac{1}{2\pi \lambda_2 \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}} + \frac{1}{d_2 \pi \alpha_b}} \\ \Phi &= 120 \frac{125 - 20}{\frac{1}{0,094 \cdot 3,14 \cdot 11600} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 51} \cdot 2,303 \cdot \log \frac{102}{94} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,812} \cdot 2,303 \cdot \log \frac{110}{102} + \frac{1}{0,11 \cdot 3,14 \cdot 11,6}} = \\ &= 120 \frac{105}{\frac{1}{3423,8} + \frac{1}{320,2} \log 1,085 + \frac{1}{5,1} \log 1,078 + \frac{1}{4}} = \frac{12600}{0,00029 + 0,00011 + 0,0063 + 0,25} = \frac{12600}{0,2567} = 49084W \end{aligned}$$

Задача за вежбање: Да се определи топлинскиот проток ако цевката од претходната задача е изолирана со изолационен материјал со $\lambda = 0,058 \frac{W}{mK}$ со дебелина од 20mm.

2.1.4 ТОПЛИНОПРЕНЕСУВАЊЕ СО ЗРАЧЕЊЕ (РАДИЈАЦИЈА)

Зрачењето или **радијацијата на топлината** претставува пренос на топлинската енергија во вид на електромагнетни бранови со бранова должина од 0,8 до 400 μm . Секое тело зрачи топлина, но и ја апсорбира, рефлектира или одбива и ја пропушта топлината која ја зрачат другите тела.



Сл. 2.10 Варијанти на однесување на телата при зрачење

Од вкупно дозрачениот топлински проток (Φ), еден дел се апсорбира во телото (Φ_a), друг дел се рефлектира (Φ_r) и трет дел се пропушта низ телото (Φ_d). Тоа значи дека важи равенката:

$$\Phi = \Phi_a + \Phi_r + \Phi_d \quad [W]$$

Ако левата и десната страна на равенката се поделат со (Φ) ќе се добие:

$$\frac{\Phi}{\Phi} = \frac{\Phi_a}{\Phi} + \frac{\Phi_r}{\Phi} + \frac{\Phi_d}{\Phi}$$

$$\frac{\Phi_a}{\Phi} = a - \text{коэффициент на апсорпција}$$

$$\frac{\Phi_r}{\Phi} = r - \text{коэффициент на рефлексија}$$

$$\frac{\Phi_d}{\Phi} = d - \text{коэффициент на пропустливост или дијатермичност}$$

Односно:

$$a + r + d = 1$$

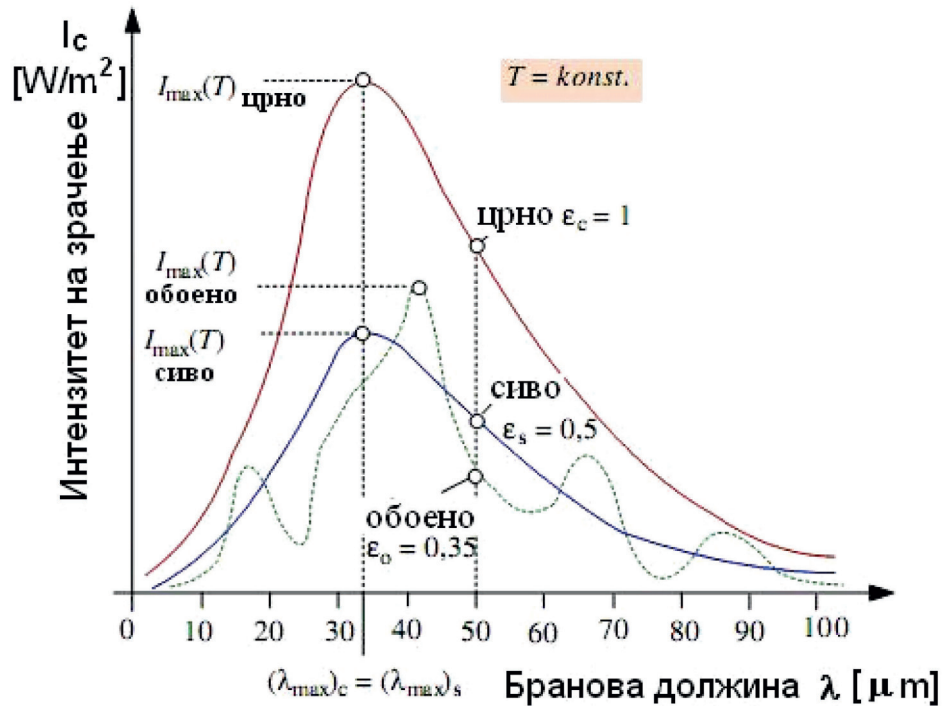
Од горната равенка можат да настанат три случаи:

1. кога е $a = 1$ $r = 0$ $d = 0$ - станува збор за **апсолутно црно тело**
2. кога е $r = 1$ $a = 0$ $d = 0$ - станува збор за **апсолутно бело тело** и
3. кога е $d = 1$ $a = 0$ $r = 0$ - станува збор за **апсолутно прозрачно тело**.

Во природата не постои апсолутно црно тело, ниту апсолутно бело, ниту апсолутно прозрачно тело. Најчесто се среќаваме со т.н. „сиво тело“ кај кое е:

$$a + r = 1, a \quad d = 0$$

што значи дека сивото тело делумно ја апсорбира и делумно одбива озрачената топлина, но не ја пропушта.



Сл. 2.11 Топлинско зрачење на црно, сиво и обоено тело при $T = konst$

Количеството на топлина што некое тело го зрачи во единица време се пресметува според Стефан-Болцмановиот закон:

- за апсолутно црно тело изнесува:

$$\Phi_0 = C_0 A \left(\frac{T}{100} \right)^4 [W]$$

- за сиво тело изнесува:

$$\Phi = CA \left(\frac{T}{100} \right)^4 [W]$$

каде е:

$C_0 = 5,69 \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$ – константа на зрачење на апсолутно црно тело

C – константа на зрачење на сиво тело,

$T [K]$ – апсолутна температура на телото кое зрачи,

$A [m^2]$ – површина на телото кое зрачи.

Односот помеѓу количеството на топлина што го зрачи во единица време сиво тело и количеството на топлина што го зрачи апсолутно црно тело, се нарекува коефициент на емисија или степен на црнотија (ϵ).

$$\epsilon = \frac{\Phi}{\Phi_0}$$

Задачи за вежбање:

1. Да се пресмета коефициентот на премин на топлина низ рамен ѕид, кој се состои од три слоја:

- надворешен малтер со дебелина 2cm и $\lambda_1 = 0,83 \frac{W}{mK}$

- тула со дебелина 25cm и $\lambda_2 = 1,25 \frac{W}{mK}$

- внатрешен малтер со дебелина 1cm и $\lambda_3 = 0,83 \frac{W}{mK}$

- коефициентот на пренос на топлина од надворешната страна на ѕидот е

$$\alpha_1 = 22 \frac{W}{m^2 K}, \text{ а од внатрешната } \alpha_2 = 8 \frac{W}{m^2 K}.$$

2. Челичен радијатор се состои од чланци со дебелина 3mm и $\lambda = 46 \frac{W}{mK}$.

Коефициентот на премин на топлина од внатрешната страна е

$\alpha_1 = 555 \frac{W}{m^2 K}$, а од надворешната $\lambda_2 = 11 \frac{W}{m^2 K}$. Да се определи вкупниот

топлински отпор (R) и коефициентот на пренос на топлина (K).

2.2 ИЗМЕНУВАЧИ НА ТОПЛИНА

Изменувачите на топлина претставуваат технички уреди во кои се врши пренос на топлината од еден флуид на друг, а со цел да се загрее или да се излади некој флуид (гас или течност). Наоѓаат голема примена во сите области на термотехниката, претежно во:

- централното греење и климатизацијата,
- ладилната техника,
- хемиската индустрија и др.

Така на пример, бојлерите, радијаторите, калориферите, топоводните и парните котли, загревачи, испарувачи, прегревачи, кондензатори и др. се различни варијанти на технички изменувачи на топлина.

Во техничката практика во изменувачите на топлина флуидите кои учествуваат во размена на топлината се одделени со некоја површина. Таа површина се нарекува:

- **загревна** - ако станува збор за греење на некој флуид или
- **ладилна** – ако станува збор за ладење на некој флуид.

Според начинот на работата изменувачите на топлина се делат на:

1. Рекуператори – кај кои предавањето на топлината од потоплиот на поладниот флуид се врши преку разделен ѕид меѓу нив. Во овие изменувачи спаѓаат:

- парните котли,

- прегревачите на пареа,
- загревачите на напојна вода,
- загревачите на воздух,
- површинските кондензатори,
- радијаторите и др.

2. Регенеративни – кај кои предавањето на топлината од потоплиот на поладниот флуид се врши периодично. Тоа се врши на тој начин што во почетокот низ изменувачот се пушта потоплиот флуид кој ја загрева површината на изменувачот, а потоа се прекинува доводот на потполниот флуид и се пушта поладниот флуид кој прима топлина од површината на изменувачот и се загрева. Ваков изменувач претставува Љунгстремовиот загревач на воздух во Термоелектраната - Битола.

3. Изменувачи со непосредно мешање на флуидите

Кај овие изменувачи флуидот што се загрева прима топлина од потоплиот флуид преку непосреден допир на двата флуида.

2.2.1 РЕКУПЕРАТИВНИ ИЗМЕНУВАЧИ НА ТОПЛИНА

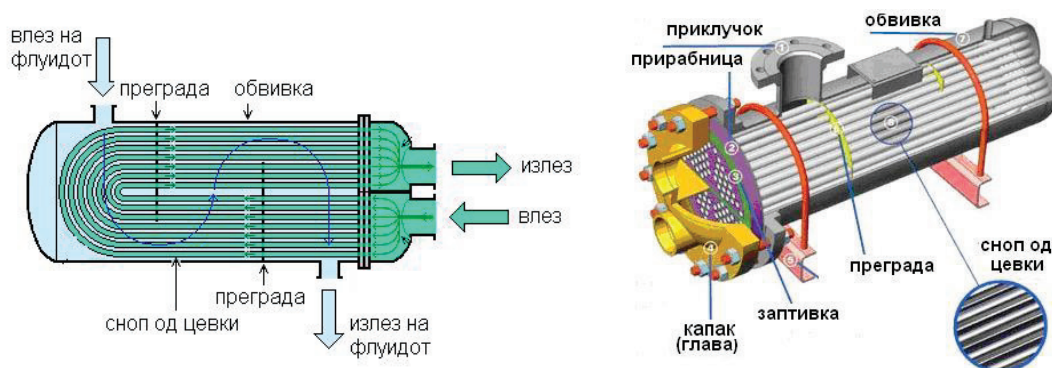
Од сите видови на изменувачи на топлина, рекуперативните изменувачи наоѓаат најголема примена .

Според насоката на струење на едниот флуид во однос на насоката на струење на другиот флуид, рекуперативните изменувачи на топлина можат да бидат:

- **истонасочни** – кај кои двата флуида струјат во иста насока,
- **противнасочни** – кај кои едниот флуид струи во една, а другиот флуид во друга насока и
- **комбинирани (вкрстени)** – кај кои едниот флуид струи во една насока, а другиот до некаде струи во спротивна насока, а потоа продолжува во иста насока.

Рекуперативните изменувачи најчесто се изработуваат од цевки кои можат да бидат прави или свиткани.

Изменувачите на топлина со свиткани цевки се изведуваат во форма на цилиндричен сад во кој е сместен сноп од свиткани цевки (сл.2.12). Обично се користат челични цевки, а може да се користат и бакарни, месингени и алуминиумски цевки, кои се поповолни заради поголемиот коефициент на топлинската проводливост. Цевките се поврзуваат со подебела метална плоча со заварување.

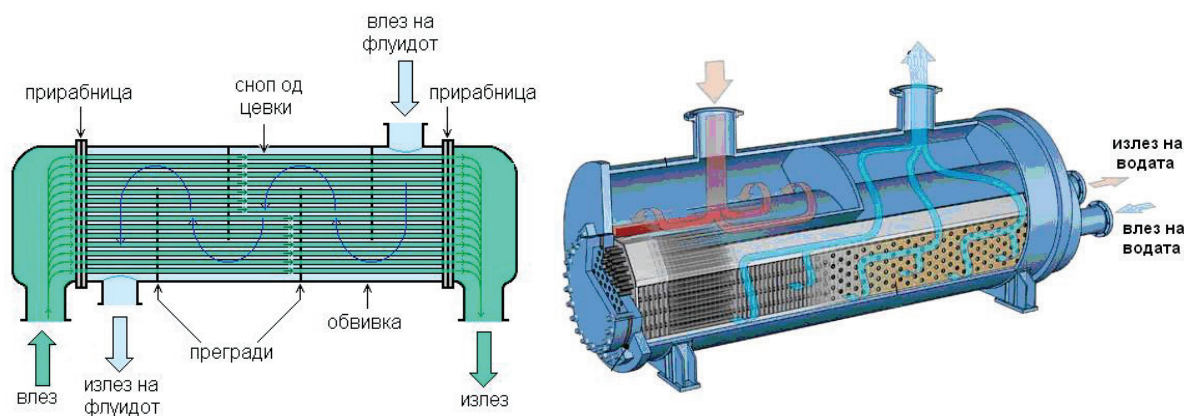


Сл.2.12 Изменувач на топлина со свиткани цевки

Низ цевките обично струи грејниот флуид (водена пареа или загреана течност), а околу цевките протекува греаниот флуид (најчесто вода или некоја друга течност) и така се загрева. Свитканите цевки овозможуваат непречена топлотна дилатација. Цевките кои со текот на работата ќе станат порозни или шупливи, можат да се исклучат, при што им се затвораат краевите и се онемозвожува струење на греаниот флуид.

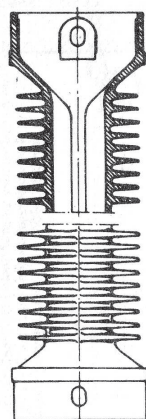
Изменувачите на топлина со прави цевки составени се од сноп на прави цевки кои се заварени помеѓу два метални зида (сл.2.13). Цевките кај овие изменувачи се полесни за чистење и замена, што е предност во однос на изменувачите со свиткани цевки.

Изменувачите се изведуваат така што цевките може да бидат хоризонтално, вертикално или косо поставени. За намалување на губитоците на топлина во околината, изменувачите од надворешната страна се изолираат. Со вградување на вентил за обезвоздушвање се избегнува појавата на таканаречени „**воздушни перничња**“, кои го намалуваат ефектот на размена на топлина и циркулацијата на флуидот.

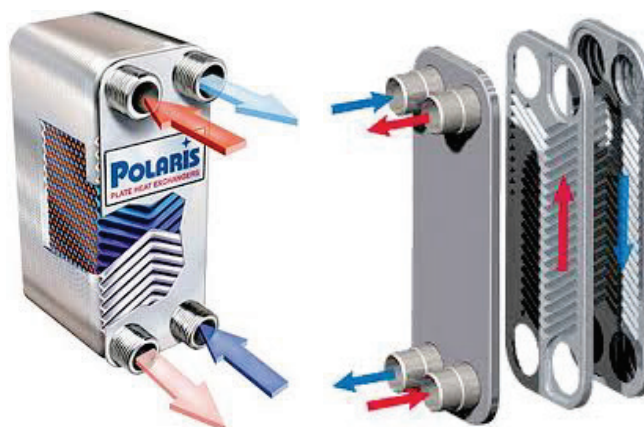


Сл.2.13 Изменувач на топлина со прави цевки

Цевките кои се користат во изменувачите на топлина може да бидат мазни или оребрени. Со оребрување се зголемува загревната површина на цевките (сл.2.14).



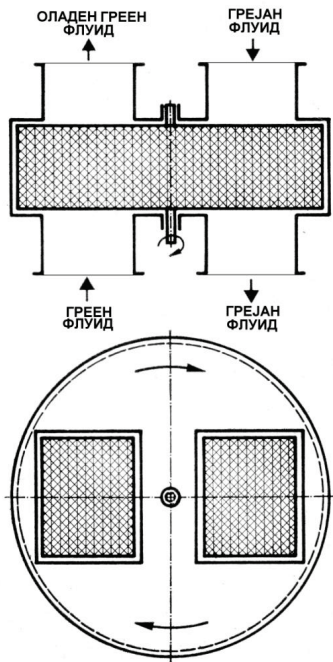
Сл.2.14 Изглед на оребрена цевка



Сл.2.15 Плочест изменувач

2.2.2 РЕГЕНЕРАТИВНИ ИЗМЕНУВАЧИ

Кај **регенеративните изменувачи** грејната површина наизменично е изложена на дејство на топлиот и на ладниот флуид. Материјалот од кој се изработени овие изменувачи на топлина имаат улога на акумулатор на топлината. При струење на потоплиот флуид акумулаторската маса се загрева, ја акумулира топлината, потоа ја предава истата при струење на поладниот флуид.



Сл.2.16 Регенеративен изменувач на топлина со ротирачка акумулациона маса

Можат да бидат:

- со неподвижна акумулаторска маса и постојана промена на местото на струење на грејниот и греаниот флуид и
- со неподвижно место на струење на грејниот и греаниот флуид и акумулаторска маса која ротира меѓу нив.

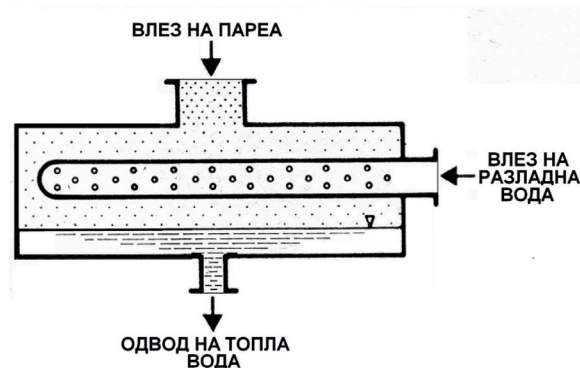
Регенеративните изменувачи со неподвижна акумулаторска маса и постојана промена на местото на струење на грејниот и греаниот флуид заради сложената конструкција ретко се користат.

Регенеративните изменувачи со неподвижно место на струење на грејниот и греаниот флуид и акумулаторска маса која ротира меѓу нив (сл.2.16), најчесто се применуваат како загревачи на воздух за парните котли, од кои најпознат е **Љунгстремовиот загревач на воздух**.

2.2.3 ИЗМЕНУВАЧИ СО МЕШАЊЕ НА ФЛУИДИТЕ

Изменувачите со мешање на флуидите се такви изменувачи кај кои доаѓа до меѓусебен допир на флуидите. Такви изменувачи во практиката се:

- кондензатори на пареа со мешање,
- ладилници на пареа,
- разладувачи на вода и слично.



Сл.2.17 Изменувач на топлина со мешање на флуидите

2.2.4 ТОПЛИНСКА ПРЕСМЕТКА НА ИЗМЕНУВАЧИТЕ

Топлинскиот проток што го предава потоплиот флуид изнесува:

$$\Phi = m_1 c_{p1} \int_{t_1'}^{t_1''} (t_1' - t_1'') dt_1$$

Ова количество го прима поладниот флуид:

$$\Phi = m_2 c_{p2} \int_{t_2'}^{t_2''} (t_2'' - t_2') dt_2$$

Под услов да нема топлински загуби во оклината, топлините се еднакви и со изедначување на равенките се добива:

$$m_1 c_{p1} \int_{t_1'}^{t_1''} (t_1' - t_1'') dt_1 = m_2 c_{p2} \int_{t_2'}^{t_2''} (t_2'' - t_2') dt_2$$

$$m_1 (i_1' - i_1'') = m_2 (i_2'' - i_2')$$

каде се:

$m_1, m_2 \left[\frac{kg}{s} \right]$ – масен проток на флуидите,

$t_1', t_1'' [^{\circ}C]$ – температура на потоплиот флуид на влезот и излезот од изменувачот,

$t_2', t_2'' [^{\circ}C]$ – температура на поладниот флуид на влезот и излезот од изменувачот,

$i_1', i_1'' \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на потоплиот флуид на влезот и излезот од изменувачот,

$i_2', i_2'' \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на поладниот флуид на влезот и излезот од изменувачот,

$c_{p1} \int_{t_1'}^{t_1''}, c_{p2} \int_{t_2'}^{t_2''} \left[\frac{J}{kgK} \right]$ – средна специфична топлина во температурен интервал на потоплиот и поладниот флуид.

Бидејќи во изменувачот доаѓа до пренос на топлината од потоплиот на поладниот флуид, може да се примени равенката за пренос на топлина:

$$\Phi = KA\Delta t_m [W]$$

$K \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ – коефициент на пренос на топлина од потоплиот на поладниот флуид,

$A [m^2]$ – површина на сидот на изменувачот меѓу флуидите,

$\Delta t_m [^{\circ}C]$ – средна температурна разлика меѓу флуидите, која може да се пресмета на два начина:

1. Кога односот меѓу $\frac{t_1'}{t_1''} < 2$ и $\frac{t_2''}{t_2'} < 2$, средната температурна разлика се пресметува како аритметичка средина:

$$\Delta t_m = \frac{(t_1' + t_1'') - (t_2' + t_2'')}{2} \text{ и}$$

2. Кога односот меѓу $\frac{t_1'}{t_1''} > 2$ и $\frac{t_2''}{t_2'} > 2$, средната температурна разлика се пресметува како средна логаритамска температурна разлика:

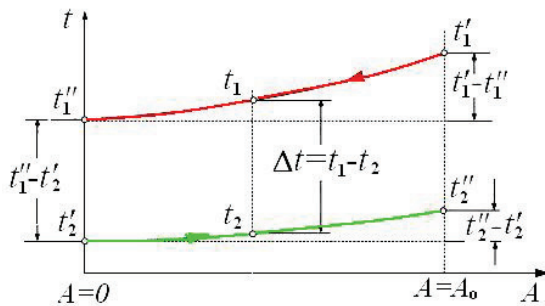
$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_v - \Delta t_i}{\ln \frac{\Delta t_v}{\Delta t_i}} [^{\circ}C]$$

$\Delta t_v [^{\circ}C]$ – разлика во температурите на флуидите на влезот во изменувачот,

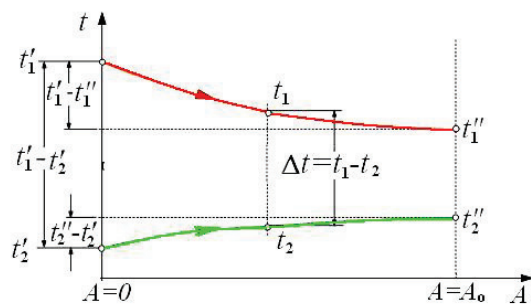
$\Delta t_i [^{\circ}C]$ – разлика во температурите на флуидите на излезот од изменувачот.

Според карактерот на промената на флуидите по должината на изменувачот можат да се јават три случаи:

- кога температурите на двата флуида истовремено и непрекинато се менуваат

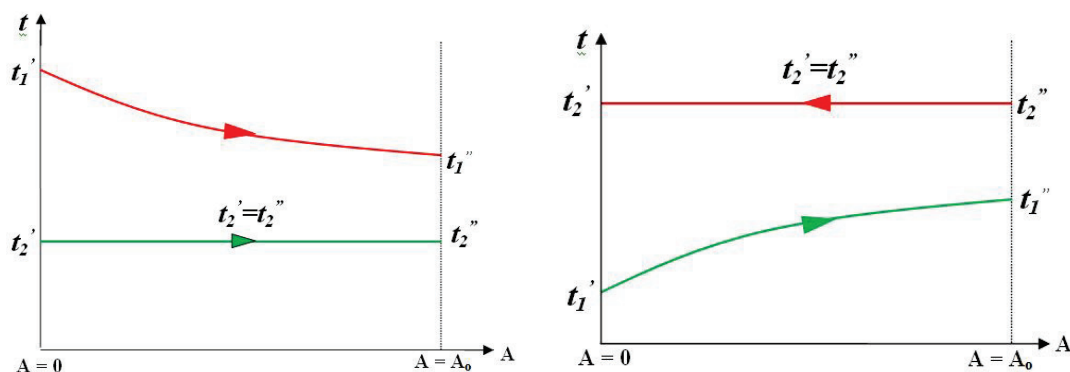


Сл. 2.18 Противнасочен загревач на вода



Сл.2.19 Истонасочен загревач

- кога температурата на едниот флуид постојано се менува, а на другиот постојано е константна:

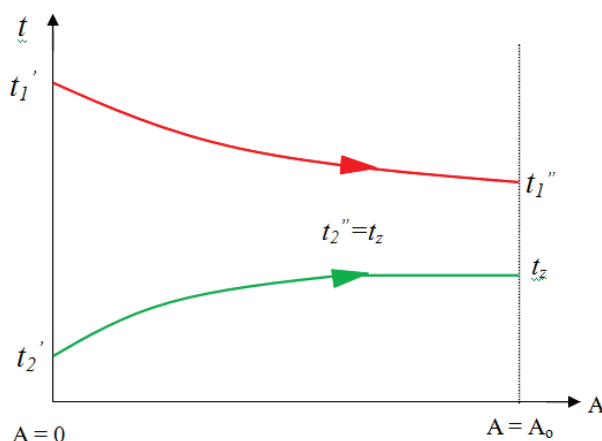


Истонасочен испарувач

Противнасочен кондензатор

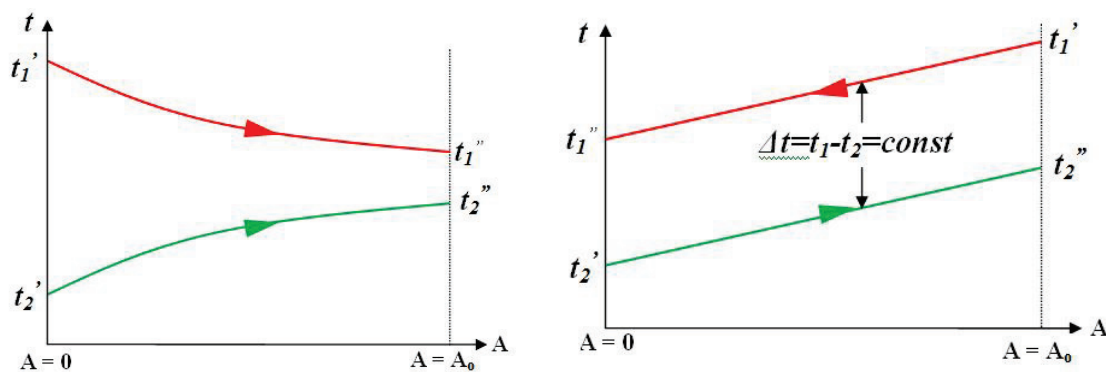
Сл.2.20 Изменувач со константна температура на едниот флуид

- кога температурата на едниот флуид постојано се менува, а на другиот постојано се менува до определени услови, а потоа е константна:



Сл.2.21 Истонасочен испарувачки загревач на вода

Посебен случај имаме при струење на два флуиди со ист топлотен капацитет. Во тој случај кај противнасочниот изменувач температурната разлика $\Delta t = const$.



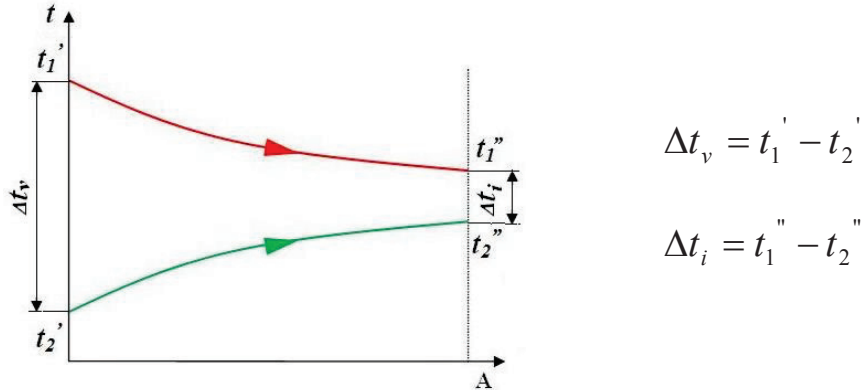
Истонасочен изменувач

Противнасочен изменувач

Сл.2.22 Изменувачи на флуиди со ист топлотен капацитет

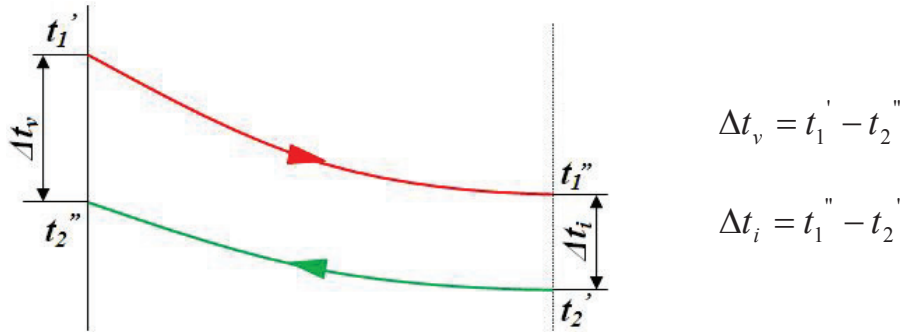
Температурните разлики на влезот и излезот од изменувачот се пресметуваат на следниов начин:

За истонасочен изменувач (сл.2.23)



Сл.2.23 Истонасочен изменувач

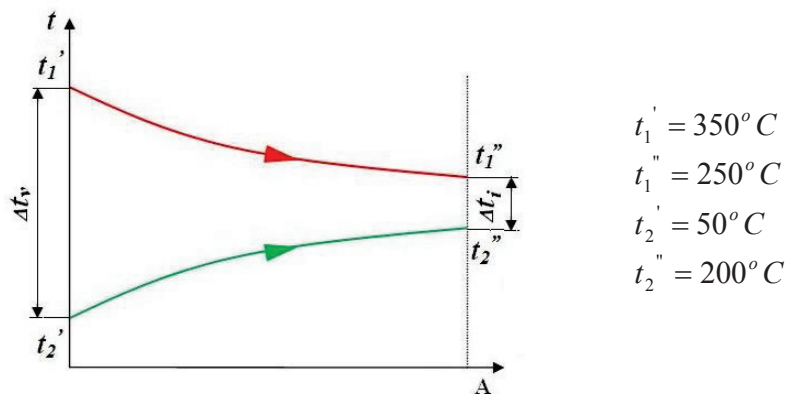
за противнасочен изменувач (сл.2.24)



Сл.2.24 Противнасочен изменувач

Пример 2.8: Во рекуперативен изменувач на топлина маслото се лади од 350°C на 250°C, а воздухот со кој се лади при тоа се загрева од 50°C на 200°C. Да се определи средната логаритамска температурна разлика за истонасочно и противнасочно струење на флуидите:

- истонасочно струење



Сл.2.25 Истонасочен изменувач

$$\Delta t_v = t_1' - t_2' = 350 - 50 = 300^\circ C$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2'' = 250 - 200 = 50^\circ C$$

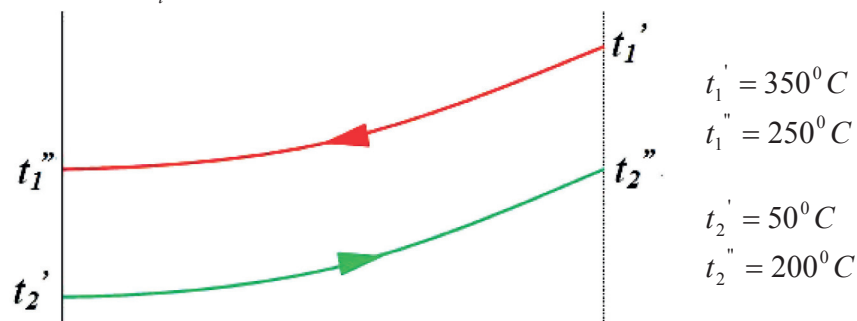
$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_v - \Delta t_i}{2,303 \log \frac{\Delta t_v}{\Delta t_i}} = \frac{300 - 50}{2,303 \log \frac{300}{50}} = \frac{250}{2,303 \log 6} = 139,5^\circ C$$

- за противнасочно струење

$$\Delta t_v = t_1'' - t_2' = 250 - 50 = 200^\circ C$$

$$\Delta t_i = t_1' - t_2'' = 350 - 200 = 150^\circ C$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_v - \Delta t_i}{2,303 \log \frac{\Delta t_v}{\Delta t_i}} = \frac{200 - 150}{2,303 \log \frac{200}{150}} = \frac{50}{2,303 \log 1,333} = 174,2^\circ C$$



Сл.2.26 Противнасочен изменувач

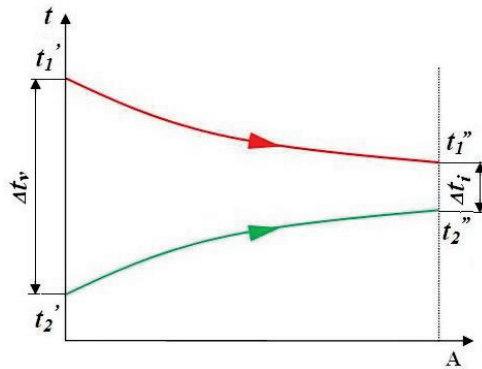
Пример 2.9: Во изменувач на топлина се ладат $750 \frac{l}{h}$ вода од $80^\circ C$ на $60^\circ C$ со помош на $4200 \frac{kg}{h}$ воздух со влезна температура $10^\circ C$. Треба да се определи :

- ладилната површина на изменувачот за истонасочно и противнасочно струење,
- излезната температура на воздухот и
- топлинскиот проток ако е $K = 46,4 \frac{W}{m^2 K}$.

- истонасочно струење:

$$m_1 = 750 \frac{l}{h} = 750 \frac{kg}{h} = 0,208 \frac{kg}{s} \quad - \text{ вода}$$

$$m_2 = 4200 \frac{kg}{h} = 1,17 \frac{kg}{s} \quad - \text{ воздух}$$



$$\begin{aligned} t_1' &= 80^\circ \text{C} \\ t_1'' &= 60^\circ \text{C} \\ t_2' &= 10^\circ \text{C} \\ t_2'' &=? \end{aligned}$$

Сл. 2.27 Истонасочен изменувач

Топлинскиот проток што го предава маслото изнесува:

$$\Phi = m_1 c_1 (t_1' - t_1'') [W]$$

Топлинскиот проток што го прима воздухот изнесува:

$$\Phi = m_2 c_2 (t_2'' - t_2') [W]$$

Ги изедначуваме десните страни на равенките, бидејќи левите се исти:

$$m_1 c_1 (t_1' - t_1'') = m_2 c_2 (t_2'' - t_2')$$

$$0,208 \cdot 4,187(80 - 60) = 1,17 \cdot 1,005(t_2'' - 10)$$

оттука излезната температура на воздухот од изменувачот е: $t_2'' = 24,3^\circ \text{C}$

Средната логаритамска температурна разлика е:

$$\Delta t_v = t_1' - t_2' = 80 - 10 = 70^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2'' = 60 - 24,3 = 35,7^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_v - \Delta t_i}{2,303 \log \frac{\Delta t_v}{\Delta t_i}} = \frac{70 - 35,7}{2,303 \log \frac{70}{35,7}} = \frac{34,3}{2,303 \log 1,96} = 51^\circ \text{C}$$

Топлинскиот проток на водата е:

$$\Phi = m_1 c_1 (t_1' - t_1'') = 0,208 \cdot 4,187(80 - 60) = 17,4 \text{ kW} = 17400 \text{ W}$$

Ладилната површина ќе ја пресметаме од равенката за топлотниот проток:

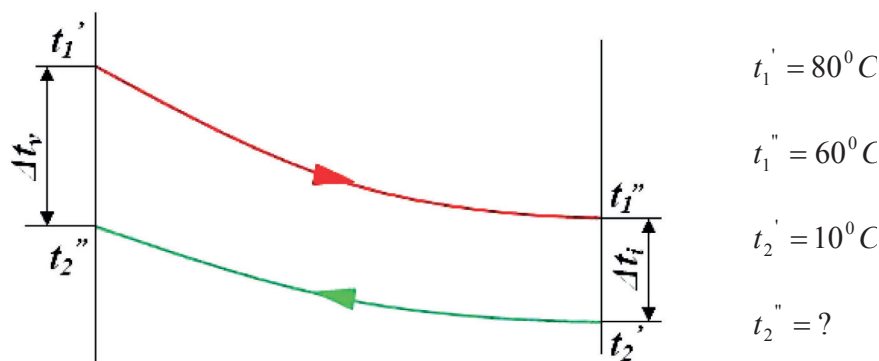
$$\Phi = KA \Delta t_m [W]$$

$$A = \frac{\Phi}{K \Delta t_m} = \frac{17400}{46,4 \cdot 51} = \frac{17400}{2366,4} = 7,35 \text{ m}^2$$

- противнасочно струење:

$$m_1 = 750 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 750 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,208 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{- вода}$$

$$m_2 = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{- воздух}$$



$$t_1' = 80^{\circ}C$$

$$t_1'' = 60^{\circ}C$$

$$t_2' = 10^{\circ}C$$

$$t_2'' = ?$$

Сл.2.28 Противнасочен изменувач

Топлинскиот проток што го предава маслото изнесува:

$$\Phi = m_1 c_1 (t_1' - t_1'') [W]$$

Топлинскиот проток што го прима воздухот изнесува:

$$\Phi = m_2 c_2 (t_2'' - t_2') [W]$$

Ги изедначуваме десните страни на равенките, бидејќи левите се исти:

$$\begin{aligned} m_1 c_1 (t_1' - t_1'') &= m_2 c_2 (t_2'' - t_2') \\ 0,208 \cdot 4,187(80 - 60) &= 1,17 \cdot 1,005(t_2'' - 10) \end{aligned}$$

оттука излезната температура на воздухот од изменувачот е: $t_2'' = 24,3^{\circ}C$

Средната логаритамска температурна разлика е:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_v - \Delta t_i}{2,303 \log \frac{\Delta t_v}{\Delta t_i}} = \frac{55,7 - 50}{2,303 \log \frac{55,7}{50}} = \frac{5,7}{2,303 \log 1,114} = 52,8^{\circ}C$$

$$\Delta t_v = t_1' - t_2'' = 80 - 24,3 = 55,7^{\circ}C$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2' = 60 - 10 = 50^{\circ}C$$

Топлинскиот проток на водата е:

$$\Phi = m_2 c_2 (t_2'' - t_2') = 1,17(24,3 - 10) = 16,8 kW = 16800 W$$

Ладилната површина ќе ја пресметаме од равенката за топлинскиот проток:

$$\Phi = KA \Delta t_m [W]$$

$$A = \frac{\Phi}{K \Delta t_m} = \frac{17400}{46,4 \cdot 52,8} = \frac{17400}{2450} = 7,1 m^2$$

Задачи за вежби:

1. Во противнасочен рекуперативен изменувач на топлина доаѓа до размена на топлина помеѓу $1000 \frac{kg}{h}$ вода и $2000 \frac{kg}{h}$ воздух. При тоа водата се лади од $60^\circ C$ на $30^\circ C$. Температурата на воздухот на влезот е $14^\circ C$. Да се определи:

- топлотниот проток
- средната логаритамска температурна разлика
- површината на изменувачот на топлина, ако коефициентот на пренос на

$$\text{топлина е } K = 50 \frac{W}{m^2 K}.$$

2. Во противнасочен кондензатор треба да се кондензира $3000 \frac{kg}{h}$ сувозаситена пара со притисок $p = 16,7 \text{ bar}$. Температурата на разладната вода на влезот во кондензаторот е $16^\circ C$, а на излезот $32^\circ C$. Коефициентот на пренос на топлина изнесува $K = 5300 \frac{W}{m^2 K}$. Треба да се определи:

- потрошувачката на разладна вода,
- средната логаритамска температурна разлика и
- потребната разладна површина на кондензаторот.

Прашања за повторување:

- Во која насока преминува топлината меѓу две тела со различни температури?
- Кај кои тела се јавува пренесување на топлината со конвекција?
- Како е наречен начинот на распространување на топлината во техничката практика?
- Каде имаме спроведување на топлината низ цилиндричен ѕид?
- Кое тело е наречено апсолутно црно, а кое апсолутно бело тело?
- Што прави сивото тело со озрачената топлина?
- Кои изменувачи најмногу се употребуваат во техничката практиката?
- Кои загревачи за исто загревање на флуидот имаат помала загревна површина?
- Наведи пример на изменувач кај кој температурата на едниот флуид постојано се менува, а на другиот постојано е константна,
- Кои регенеративни изменувачи најмногу се употребуваат во практиката?

3. ПАРНИ КОТЛИ

ЦЕЛИ

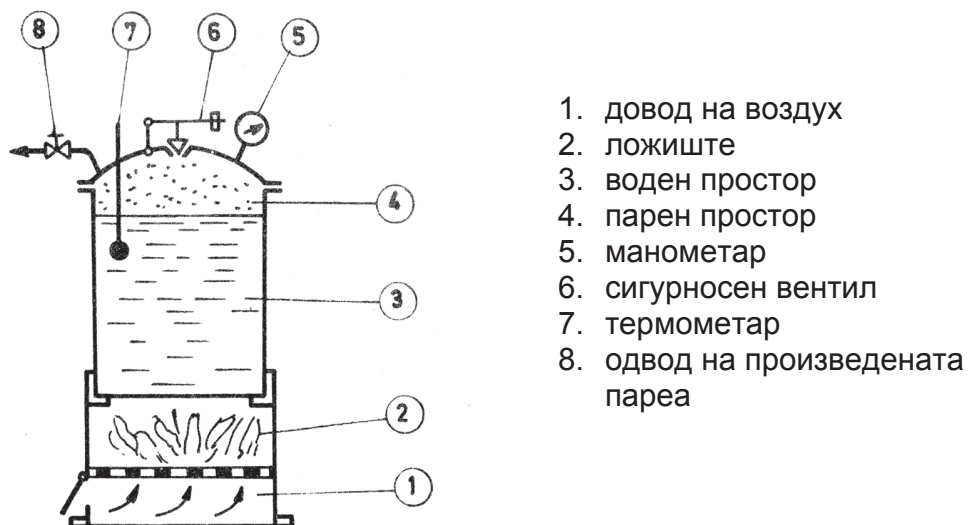
Ученикот треба да:

- ја познава улогата на парниот котел;
- го сфати процесот на согорување во ложиштето на котелот;
- сознае поврзаност меѓу проевот и согорувањето;
- разликува котли со голема и мала содржина на вода;
- применува равенки за пресметка на економичноста на котелот;
- врши класификација на ложиштата;
- проценува предности на котлите со загревач на вода и воздух;
- објасни како се пресметуваат површините на дополнителните грејни површини;
- ја согледува зависноста на правилната работа на котелот од исправноста на неговата арматура и
- се запознае со начинот на пуштање, запирање и конзервирање на парниот котел.

3. ПАРНИ КОТЛИ

Името „котел” доаѓа од старословенскиот збор „kotlb” што значи сад во кој водата се загрева или воопштено „генератор” од латинскиот збор **generare = се паѓа**, се создава, се произведува.

Првиот котел бил конструиран во 1680 година од францускиот физичар Ненис Папен.

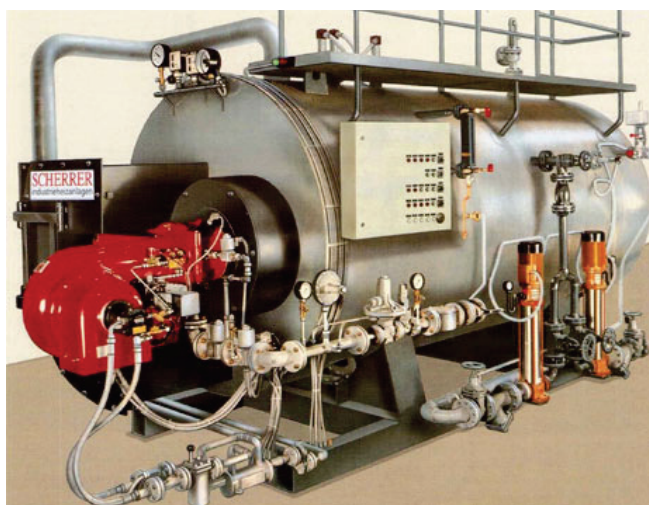


Сл. 3.1 Папинов котел

3.1 КОТЕЛСКА ПОСТРОЈКА

Котелската постројка обично се состои од следните делови:

- парен котел,
- котелско ложиште во кое согорува горивото,
- осид на котелот,
- оџак и
- котелска арматура.



Сл. 3.2 Котелска постројка

Освен тоа котелските постројки имаат уште:

- прегревачи на пареа,
- економајзери (загревачи на напојната вода) и
- загревачи на воздух.

3.2 ПАРЕН КОТЕЛ

Парниот котел е херметички затворен сад со вода на која ѝ се доведува топлина и при тоа преминува во водена пареа со притисок повисок од атмосферскиот. Површината на котелот која од една страна ја обликуваат жешките гасови, а од другата страна се наоѓа водата се нарекува огревна површина на котелот. Доколку грејната површина на некој котел е поголема, дотолку е поголемо и производството на пареа.

3.2.1 ПОДЕЛБА НА ПАРНИТЕ КОТЛИ

Парните котли се делат според:

- конструкцијата,
- содржината на вода,
- видот на произведената пареа,

I. Според конструкцијата

1. цилиндрични парни котли,
2. парни котли со пламени цевки,
3. парни котли со гасни цевки,
4. комбинирани со пламени и димни цевки,
5. парни котли со водострујни цевки и
6. парни котли со специјална конструкција.

II. Според содржината на вода

1. Парни котли со голема содржина на вода - Кај овие котли низ цевките струјат гасовите, а околу цевките се наоѓа водата и во овие спаѓаат:

- цилиндричните котли
- котлите со пламени цевки
- котлите со гасни цевки и
- комбинираните котли

2. Парни котли со мала содржина на вода - Кај овие котли низ цевките струи водата, а околу цевките струјат гасовите. Во овие котли спаѓаат:

- котлите со водострујни цевки и
- котлите со специјална конструкција

III. Според видот на произведената пареа

1. Парни котли кои произведуваат заситена пареа, а која може да биде:

- влажна пареа и
- сувозаситена пареа.

2. Парни котли кои произведуваат прегреана пареа - имаат предност над котлите со заситена пареа бидејќи прегреаната пареа има поголема топлинска енергија во себе.

3.2.2 ГОРИВА ЗА ПАРНИТЕ КОТЛИ

Гориво претставува секоја материја која ако се запали согорува и при тоа ослободува топлина. За да се примени во индустријата горивото треба да ги исполнува следните услови:

- да го има во големи количини;
- да е лесно достапно за експлоатација;
- да е евтино;
- да може лесно да се транспортира и складира;
- да се пали на доволно ниска температура;
- да согорува со кислородот од воздухот и
- продуктите од неговото согорување да не се штетни за човекот и околината и др.

3.2.2.1 ПОДЕЛБА НА ГОРИВАТА

Горивата според постанокот и агрегатната состојба се делат на:

1. природни, во кои спаѓаат:

- **цврсти:** дрво, тресет, лигнит, кафеав јаглен, камен јаглен и антрацит
- **течни:** сурова нафта,
- **гасни:** земјен гас,

2. вештачки, во кои спаѓаат:

- **цврсти:** кокс, брикетиран јаглен,
- **течни:** деривати на суровата нафта.
- **гасни:** генераторски гас, гас од високите печки.

3.2.2.2 ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ГОРИВАТА

Во лабораториите горивото е изложено на разни испитувања со кои се утврдува: постанокот, хемискиот состав, топлинската моќ, брзината на согорување, должината на пламенот и др. Сите тие испитувања се изведуваат со хемиска анализа која ја определува содржината на елементите во % кои влегуваат во составот на 1 kg гориво. Тоа се:

1. Составот на горивото

Составот на горивото кај цврстите и течните горива се изразува со изразот:

$$C \% + H \% + O \% + N \% + S \% + a \% + w \% = 100 \%$$

каде е:

C – јаглерод, H – водород, O – кислород, N – азот, S – сулфур, a – пепел и w – влага.

Сите овие елементи се делат во две групи:

- **согорливи** во кои спаѓаат: **C**, **H** и делумно **S**
- **несогорливи** во кои спаѓаат: **w** и **a** и делумно **S**

2. Топлинска моќ

Топлинска моќ на горивото претставува количество топлина кое се ослободува при согорувсње на 1 kg гориво за цврсти и течни горива, или 1m³ за гасовити горива.

Постои:

- горна топлинска моќ (H_g) и
- долна топлинска моќ (H_d).

Горната топлинска моќ (H_g) е количество на топлина што се ослободува при потполно согорување на 1 kg цврсто или течно гориво, или 1m³ гасовито гориво, при што настанатите продукти од согорувањето треба да се оладат до почетната температура пред согорувањето.

$$H_g = 340C + 1425 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 105S \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Долна топлинска моќ (H_d) е количество на топлина што се ослободува при потполно согорување на 1 kg цврсто или течно гориво, или 1m³ гасовито гориво, при што водата во продуктите на согорувањето се наоѓа во парна состојба. Долната топлинска моќ е помала од горната за количеството на топлина потребно водата и влагата да се претворат во пара.

Се пресметува според равенката:

- за цврсти и течни горива:

$$H_d = 340C + 1200 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 105S - 25w \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

- за гасни горива:

$$H_d = 126CO + 108H_2 + 358CH_4 + 600C_2H_2 + 643C_2H_6 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

Каде е: CO – јаглероден моноксид, H₂ – водород, CH₄ – метан, C₂H₂ – ацетилен и C₂H₆ – етан

За пресметки меродавна е долната топлинска моќ, бидејќи при согорување на горивото во ложиштето за централно греење продуктите на согорување влегуваат во оџакот со температура од околу 180°C. Водата и другите продукти на согорувањето се во парна состојба и заедно со чадните гасови излегуваат низ оџакот.

Долната топлинска моќ за одделни видови горива е прикажана во следнава табела:

Табела 3.1 Долна топлинска моќ на горивата H_d

г о р и в о	долна топлинска моќ [kJ/kg]
дрво	12 500
тресет	13 000
лигнит	16 000
кафеав јаглен	17 500
камен јаглен	29 000
антрацит	35 000
дрвен јаглен	32 000
нафта	43 000
мазут	46 000
бензин	46 000

Пример 3.1: Да се пресмета горната и долната топлинска моќ на јагленот со следниов масен состав: 48,1 % C; 3,6 % H; 2,73 % S; 9,85 % O; 0,98 % N; 19,73 % а и 15,01 % w.

$$H_g = 340C + 1425 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 105S \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$H_g = 340 \cdot 48,1 + 1425 \left(3,6 - \frac{9,85}{8} \right) + 105 \cdot 2,73 = 20024,12 \frac{kJ}{kg}$$

$$H_d = 340C + 1200 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 105S - 25w \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$H_d = 340 \cdot 48,1 + 1200 \left(3,6 - \frac{9,85}{8} \right) + 105 \cdot 2,73 - 25 \cdot 15,01 = 19107,9 \frac{kJ}{kg}$$

Задача за вежби: Во парниот котел се користи смеса од два вида на гориво со следниот елементарен состав:

елемент	прво гориво	второ гориво
C %	33,50	44,70
H%	2,45	3,68
O%	18,00	15,50
N%	0,70	0,85
S%	2,31	0,20
A%	7,60	12,31
W%	35,36	22,76

Да се определи горната и долната топлинска моќ на горивото во двата случаја.

3.2.2.3 СОГОРУВАЊЕ НА ГОРИВАТА

Согорувањето претставува хемиско соединување на согорливите елементи од горивото со кислородот од воздухот. Процесот е проследен со интензивно ослободување на топлина и појава на пламен.

Горивото во котелот може да согорува потполно или непотполно, што зависи од количеството на воздух, типот и конструкцијата на ложиштето и др.

Согорувањето се одвива во четири фази и тоа:

I фаза: сушење - што значи испарување на грубата влага со загревање на горивото до 100°C и хигроскопската влага со загревање на горивото на температура повисока од 100 °C

II фаза: дестилација – што значи испарување на испарливите состојки од горивото за да можат да се сврзат со кислородот

III фаза: горење – на цврстиот остаок од горивото и

IV фаза: догорување - на честичките од гориво во пепелта

Согорувањето може да биде:

- во слој на решетка – за согорување на горива во цврста агрегатна и
- во лет – за јагленов прав, течни и гасни горива.

Потполно и непотполно согорување

Под потполно согорување на горивото се подразбира согорување на неговите согорливи елементи (C и H) во присуство на доволно количество на воздух (кислород) при што се добиваат продукти на потполна оксидација на овие елементи, односно (CO₂) и водена пара (H₂O). Потполното согорување се карактеризира со чист гас со сиво бела боја или безбоен гас, што значи без чад.

Во случај на недоволно количество на воздух во процесот на согорување настапува непотполно согорување. Во тој случај во излезните гасови се јавуваат (CO), (CH₄) и др.

За потполно согорување на 1 kg гориво потребно е точно, определено количество на воздух кое се нарекува минимално или **теориско количество на воздух (V_{L,min})**. Меѓутоа, во практиката ова количество на воздух не е доволно бидејќи би дошло до непотполно согорување и затоа се доведува поголемо количество на воздух од теоретското и е неречено реално или **вистинско количество на воздух (V_L)**.

Односот помеѓу вистинското и теориското количество на воздух потребно за согорување се нарекува „коэффициент на вишок на воздух“ (λ).

$$\lambda = \frac{V_L}{V_{L,\min}}$$

и може да биде:

- λ > 1, – кога ќе дојде до потполно согорување на горивото и
- λ = 1, – кога ќе дојде до непотполно согорување на горивото

Овој коэффициент зависи од:

- видот на горивото,
- начинот на ложењето,
- начинот на струењето на воздухот и интензитетот на мешањето со гориво,
- големината на допирната површина помеѓу честичките од горивото и воздухот,
- конструкцијата на ложиштето и ложишниот простор итн.

За цврсти и течни горива минималното количество на воздух изнесува:

$$V_{L,\min} = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{0,21} \left[1,87 \cdot C + 5,6 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 0,7S \right] \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

За гасни горива изнесува:

$$V_{L,\min} = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{0,21} \left[0,5 \cdot (CO + H_2) + 1,5H_2S + \Sigma \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

m - број на атоми од C,

n - број на атоми од елементот H.

Со зголемување на коэффициентот на вишок на воздух се зголемува и волуменот на жешките гасови, а со тоа и излезните толински загуби во котелот, поради одведената топлина со гасовите во атмосферата.

Коефициентот на вишок на воздух изнесува:

- за ложишта со решетка $1,3 \div 1,5$;
- за ложишта со јагленов прав $1,15 \div 1,25$ и
- за циклонски ложишта за течни и гасни горива $1,05 \div 1,1$.

Продукти на согорувањето

Резултат на согорувањето на горивото во ложиштето на парниот котел се продуктите на согорувањето, а тоа се:

- согорените гасови и
- пепелта.

Покрај тоа што треба да се определи количеството на воздух потребно за согорување на горивото, често пати кај парните котли се определува и количеството на согорените гасови како продукти на согорувањето. Ако се познава волуменот на гасовите, постои можност да се определат димензиите на напречниот пресек на:

- ложишниот простор,
- гасниот канал и
- оџакот.

Жешките гасови како продукти на согорувањето главно се составени од суви и влажни гасови. Сувите гасови од согорувањето се состојат од: CO, CO₂, O₂, N и SO₂.

Количеството на чадни гасови што е резултат на согорувањето на 1 kg гориво, без вишок на воздух ($\lambda = 1$), се нарекува **теориско количество на чадни гасови**, а се пресметува според равенката:

$$V_{RWI} = \frac{1}{100} [1,87 \cdot C + 0,7 \cdot S + 79 \cdot V_{L,\min} + 1,24(9H + w)] \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Собираците во горниот израз претставуваат:

$$V_{CO_2} = \frac{1,87}{100} \cdot C \left[\frac{m^3}{kg} \right] - \text{количество на јаглероден диоксид,}$$

$$V_{SO_2} = \frac{0,7}{100} \cdot S \left[\frac{m^3}{kg} \right] - \text{количество на сулфурен диоксид,}$$

$$V_{N_2} = \frac{79}{100} \cdot V_{L,\min} \left[\frac{m^3}{kg} \right] - \text{количество на азот,}$$

$$V_{H_2O} = \frac{1,24}{100} \cdot (9H + w) \left[\frac{m^3}{kg} \right] - \text{количество на водена пара (влага).}$$

Количеството на согорени гасови при реално или практично согорување при $\lambda > 1$ е поголемо од теориското количество на гасови и изнесува:

$$V_{RW} = V_{RWt} + (\lambda - 1) \cdot V_{L,\min} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Ова количество се нарекува **вистинско количество на гасови** и претставува збир од теоретското количество на гасови и количеството на воздух што не учествува во процесот на согорувањето или не стапува во реакција со горивото.

Коефициентот на вишок на воздух на излезот од котелот се пресметува според равенката:

$$\lambda_{iz} = \lambda_{ioz} + \Sigma \Delta \lambda$$

каде е:

λ_{ioz} – почетен коефициент на вишок на воздух во ложиштето

$\Sigma \Delta \lambda$ - дополнително всисано количество на воздух во гасните канали

Пример 3.2: Да се определи теоретското и вистинското количество на согорени гасови при согорувањето на 1 kg мазут со следниов состав: 85,3 % C; 10,02 % H; 0,4% O; 0,5 % S; 3 % N; 0,3 % a; 0,4 % w, ако коефициентот на вишок на воздух е 1,2.

$$V_{RWt} = \frac{1}{100} \left[1,87C + 0,7S + 79V_{L,\min} + 1,24(9H + w) \right] \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$V_{RWt} = \frac{1}{100} \left[1,87 \cdot 85,3 + 0,7 \cdot 0,5 + 79 \cdot 10,3 + 1,24(9 \cdot 10,2 + 0,4) \right] = 10,88 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{L,\min} = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{0,21} \left[1,87C + 5,6 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 0,7S \right] \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$V_{L,\min} = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{0,21} \left[1,87 \cdot 85,3 + 5,6 \left(10,2 - \frac{0,4}{8} \right) + 0,7 \cdot 0,5 \right] = 10,3 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{RW} = V_{RWt} + (\lambda - 1) V_{L,\min}$$

$$V_{RW} = 10,88 + (1,2 - 1) \cdot 10,3 = 12,94 \frac{m^3}{kg}$$

Задача за вежбање: Во котелот за централно греење согорува $8 \frac{kg}{h}$ гориво со следниов масен состав: 85 % C; 10 % H; 1 % O и 4 % S, со коефициент на вишок на воздух 1,35.

Да се определи:

- минималното количество на воздух
- топлинската моќ на горивото и
- волуменот на продуктите од согорувањето.

3.2.3 ПРОВЕВ КАЈ ПАРНИТЕ КОТЛИ

Провеот има задача да овозможи навлегување на надворешен воздух во ложиштето, потребен за согорување на горивото, како и струење на создадените гасови низ котелот и нивно исфрлување во атмосферата.

Разликата во притисоците која овозможува струење на воздухот и гасовите се вика **притисок на провеот**, а се облежува со **(Δp)**.

Според начинот на кој се остварува разликата во притисоците на гасовите и воздухот постои:

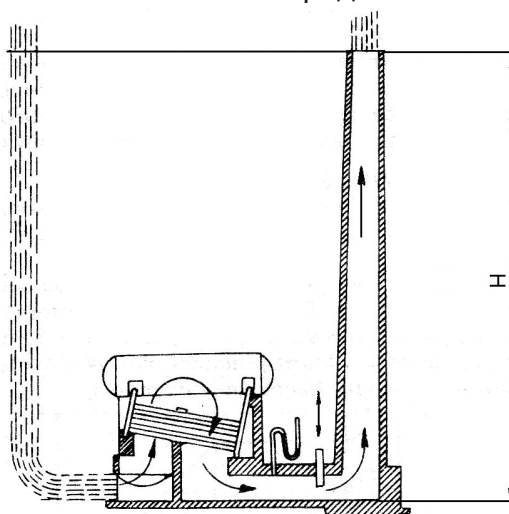
- природен провев - кој го создава висината на оџакот,
- принуден провев – кој го создава вентилаторот, кој ги извлекува гасовите од ложиштето на парниот котел и
- комбиниран провев - составен од претходните два провева.

3.2.3.1 ПРИРОДЕН ПРОВЕВ

При согорување на горивото во ложишниот простор, оџакот постојано е исполнет со жешки гасови со температура од 180° до 300°C . Овие гасови се поразредени и полесни во споредба со надворешниот воздух чија температура е околу 20°C . Поради разликата во густините жешките гасови струјат нагоре, зад себе оставајќи празен простор (депресија) на чие место доаѓа надворешниот воздух. Од ова може да се заклучи дека провеот ќе биде посилен доколку оџакот биде повисок и доколку гасовите ќе бидат загреани на повисока температура.

Регулација на јачината на провеот се врши на два начина:

- Со отворање или затворање на вратата од пепелникот со што во ложиштето влегува поголемо или помало количество на воздух и
- Со клапна поставена во гасниот канал пред самиот влез во оџакот.



Сл.3.3 Висина на оџакот

Интензитетот на провеот се пресметува според равенката:

$$\Delta p = p_v - p_g = \rho_v g H - \rho_g g H = \gamma_v H - \gamma_g H = H (\gamma_v - \gamma_g) [Pa]$$

Каде е:

$$H [m] - \text{висина на оџакот}$$

$\rho_v \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ - густина на воздухот

$\rho_g \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ - густина на гасовите

$\gamma_v \left[\frac{N}{m^3} \right]$ - специфична тежина на воздухот

$\gamma_g \left[\frac{N}{m^3} \right]$ - специфична тежина на гасовите

$g \left[\frac{m}{s^2} \right]$ - земјино забрзување

Густината на воздухот и гасовите се пресметува од равенката на состојбата за гас:

$$pv = RT, \quad \frac{p}{\rho} = RT, \quad \rho = \frac{p}{RT} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Тоа значи дека интензитетот на проветот зависи од висината на оџакот и разликата во специфичните тежини на воздухот и гасовите. Освен создавање на природен провет, оџакот овозможува одвод на гасовите во повисоките слоеви на атмосферата што е условено со еколошките барања. При определувањето на висината на оџакот се зема предвид отпорот при струењето на гасовите низ оџакот.

Ако се познати вкупните отпори (падот на притисокот) (Δp), може да се пресмета висината на оџакот:

$$H = \frac{\Delta p}{(\rho_v - \rho_g)g} [m]$$

Напречниот пресек на оџакот се пресметува со равенката на континуитетот. Брзината на гасовите низ оџакот се движи $8 \div 10 \frac{m}{s}$, а вкупниот волумен на гасовите изнесува:

$$V = Aw_g \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$A [m^2]$ - површина на напречниот пресек на оџакот

$w_g \left[\frac{m}{s} \right]$ - брзина на гасовите низ оџакот

Од друга страна, вкупниот проток на гасови е резултат на согорувањето на горивото во ложиштето, и изнесува:

$$V = B_g V_{RW} \frac{t_g + 273}{273} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$B_g = B_1 \eta_g \left[\frac{kg}{s} \right]$ – потрошувачка на гасифицирано гориво

$B_1 \left[\frac{kg}{s} \right]$ - вкупна потрошувачка на гориво

η_g - коефициент на гасификација на горивото во ложиштето

$V_{RW} [\frac{m^3}{kg}]$ - специфичен волумен на гасовите

$t_g [^\circ C]$ - температура на гасовите во оџакот

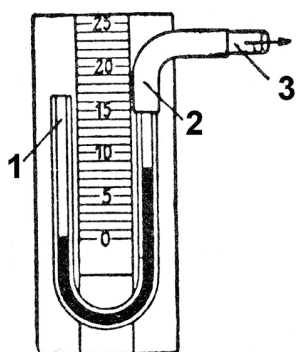
Со изедначување на двете равенки може да се добие површината на напречниот пресек на оџакот:

$$A = \frac{B_g V_{RW}}{w_g} \cdot \frac{t_g + 273}{273} [m^2]$$

3.2.3.2 ПРИНУДЕН ПРОВЕВ

Кога е потребно да се создаде голема разлика во притисоците помеѓу ложиштето и оџакот се применува вештачки провев. Тој се постигнува со помош на вентилатори кои вршат извлекување на гасовите од ложиштето на парниот котел. На патот од ложиштето до оџакот гасовите помнуваат низ филтер каде се задржува пепелта и честичките од јаглерод. Вака прочистените гасови не ја загадуваат околината и не се штетни за човекот и растителниот свет.

Интензитетот на провевот се мери со направа наречена **депримометар**. Тој се состои од стаклена цевка во форма на буквата U. Едниот крак на цевката е поврзан со атмосферата, а другиот со местото каде што сакаме да ја мериме јачината на провевот-ложиштето. Во цевката се наоѓа обоена течност (вода или жива). Разликата во притисоците ја присилува течноста во едниот крак да се подигне. Разликата во двете нивоа на течноста се чита на скалата и тоа претставува јачина на провевот изразена во mmH₂O (милиметри воден столб).



1. крак на депримометарот врзан со атмосферата,
2. крак на депримометарот врзан со чадниот канал,
3. црево за врска на депримометарот со чадниот канал

Сл.3.2 Депримометар

Пример 3.3: Да се определи напречниот пресек на оџакот и пресекот на вентилациониот отвор на една парна котелска постројка која троши $150 \frac{kg}{s}$ гориво. Температурата на гасовите на влезот во оџакот е $225^\circ C$, специфичниот волумен на излезните гасови е $30 \frac{m^3}{kg}$, а брзината на струењето на гасовите низ оџакот

$8 \frac{m}{s}$.

$$B_g = 150 \frac{kg}{h} = 0,04166 \frac{kg}{s}$$

$$T_g = 273 + 225 = 498K$$

$$A = \frac{B_g V_{RW} (t_g + 273)}{w_g \cdot 273} = \frac{0,04166 \cdot 30(225 + 273)}{8 \cdot 273} = 0,285m^2$$

Усвојуваме правоаголен пресек на оџакот:

$$A = 2850cm^2$$

$$A = a \cdot b = 46 \times 62 = 2852cm^2$$

Пресекот на вентилациониот отвор е:

$$A_v = 0,25A$$

$$A_v = 0,25 \cdot 2852 = 713,25cm^2$$

$$A_v = x \cdot 46 = 713,25$$

$$x = \frac{713,25}{46} = 16cm$$

$$A_v = 16 \times 46$$

Пример 3.4: За истата котелска постројка да се пресмета дијаметарот на напречниот пресек на оџакот, ако оџакот има кружен напречен пресек.

$$A = \frac{B_g V_{RW} (t_g + 273)}{w_g \cdot 273} = \frac{0,04166 \cdot 30(225 + 273)}{8 \cdot 273} = 0,285m^2 = 2850cm^2$$

$$\frac{d^2 \pi}{4} = 2850; \text{ следува: } d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2850}{3,14}} = 60cm$$

3.2.4 ВОДА ЗА ПАРНИТЕ КОТЛИ

Во котелските постројки според употребата водата се дели на:

- **Котелска вода** - што се наоѓа во самиот котел
- **напојна вода** - што кружи низ постројката
- **додатна напојна вода** - што се додава на кружната напојна вода заради загубата и
- **разладна вода** - што служи за ладење на кондензаторот на парната турбина и има свој посебен кружен тек.

Примесите кои се наоѓаат во водата можат да бидат :

- **механички:** кал, лисја, песок, глина и др.
- **колоидни:** разни мрсни состојки и малса и
- **растворливи примеси:** соли на калциум и магнезиум и др.

За да се употреби како напојна водата треба да ги исполнува следиве услови:

- мора да се отстранат сите материи кои предизвикуват корозија : кислород, масла и киселни и

- мора да се отстранат солите кои образуват котелски бигор кој е слаб проводник на топлината поради што може да дојде до прегревање на котелскиот лим или цевки и до нивно пукање и прскање на жешка вода и пареа што е наречено **котелска експлозија**.

Водата која во себе содржи поголема или помала количина на соли од калциум (Ca) и магнезиум (Mg) се вика потврда или помекка вода. Тоа значи дека тврдината на водата зависи од количеството на овие соли. Тврдината на водата се мери во степени на тврдина и тоа:

- германски степен на тврдина ($^{\circ}D$) – тврдина од 1° германски има онаа вода која во 1 литар содржи 10 mg CaO
- француски степен на тврдина ($^{\circ}F$) – тврдина од 1° француски има онаа вода која во 1 литар содржи 10 mg CaCO₃
- англиски степен на тврдина ($^{\circ}E$) - тврдина од 1° англиски има онаа вода која во 0,7 литри содржи 10 mg CaCO₃.

Според степенот на тврдина водата се дели на:

- | | |
|------------------|---------------------|
| - многу мека | 0 – $4^{\circ} G$ |
| - мека | 4 – $8^{\circ} G$ |
| - средно тврда | 8 – $12^{\circ} G$ |
| - прилично тврда | 12 – $18^{\circ} G$ |
| - тврда | 18 - $30^{\circ} G$ |
| - многу тврда | > $30^{\circ} G$ |

3.2.4.1 ПОДГОТОВКА НА НАПОЈНАТА ВОДА

1. Отстранување на механичките примеси

Овие примеси можат да бидат од органско или минерално потекло, а создават талог (тиња) кој го спречува преминот на топлината. Се отстрануваат на следниве начини:

- со пропуштање низ сита - за многу груби нечистоти
- со таложење во базени во времетраење од 4 - 24 часови и
- со филтрирање – за фините нечистотии со пропуштање низ филтри од песок, дрвена волна и др.

2. Отстранување на колоидните примеси

Колоидни примеси се SiO₂, масти масла и др. Овие примеси се отстрануваат со процесот на коагулација кој претставува згрутчување на колоидните примеси кои потоа се отстрауваат со таложење или филтрирање. Како коагулатори се применуваат алуминиум сулфат, железен хлорид и др.

3. Хемиска подготовка на напојната вода (ХПВ)

Технолошкиот процес на смалување или потполно отстранување на солите од калциум и магнезиум од водата се вика **хемиско омекнување на водата**. Овој начин на смекнување се состои од:

- **таложење** кое опфаќа одделување на CaCO₃ и MgCO₃ од водата со хемиски соединенија како што се варно млеко Ca(OH)₂ и сода Na₂CO₃ и
- **размена** при што водата се пропушта низ катјонска маса така што растворливите соли на калциум и магнезиум во водата се заменуваат со

нерастворливи соли на натриум од катјонската маса. Добиените натриумови соли не создават котелски бигор и на тој начин се добива мека вода. Солите на натриум се таложат како талог и повремено се испуштаат низ вентилот за отстранување.

3.2.4.2 ЗАГУБИ КАЈ ПАРНИТЕ КОТЛИ

Во парните котли постојат повеќе видови на топлински загуби, а како поважни се:

U_1 - загуби поради пропаѓање на горивото низ решетката

U_2 - загуби поради несогорено гориво во пепелта и

U_3 - загуби поради летечки кокс (тоа се несогорени честички на јаглерод во излезните димни гасови)

Наведените загуби претставуваат физичка загуба на гориво бидејќи го нема во ложиштето на котелот, додека останатото гориво ќе се гасифицира односно ќе согори.

Коефициентот на гасификација на горивото во ложиштето на котелот изнесува:

$$\eta_g = 100 - \frac{U_1 + U_2 + U_3}{100}$$

U_4 - загуби поради хемиска непотполност на процесот на согорување при што доаѓа до појава на согорливи гасови во излезните димни гасови

U_5 – загуби поради таложење на саѓи или честички на јаглерод во ладните места на ложиштето и гасовните канали

U_6 – загуби поради физичка топлина на згурата бидејќи е загреана на одредена температура и како таква се одведува на депонија за пепел и згура.

Коефициентот на корисно дејство на ложиштето на парниот котел изнесува:

$$\eta_F = 100 - \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_6}{100}$$

Останати топлински загуби се:

U_7 – загуби на топлина со излезните гасови и претставуваат најголеми топлински загуби, бидејќи гасовите го напуштаат котелот со определена температура која не смее да биде пониска за да не дојде до кондензација на сулфурот и создавање на сулфурна киселина која ќе ги нагризува деловите на котелот.

$$U_7 = 100 \frac{\eta_g}{H_d} (i_g - i_l)$$

Каде е:

$i_g \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на гасовите на излезот од котелот

$$i_l = \lambda_{iz} V_{L,\min} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$i_L \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ енталпија на надворешниот воздух за 20°C

$i_l \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$ – енталпија на воздухот за усвоена надворешна температура

U_8 – загуби на топлина со надворешно ладење на котелот бидејќи температурата на воздухот околу котелот е пониска од температурата во самиот котел. Овие загуби се опфатени со коефициентот на изолираност на котелот.

$$\eta_z = 100 - \frac{U_8}{100}$$

Коефициентот на корисно дејство на парниот котел ги опфаќа сите загуби, а се пресметува според равенката:

$$\eta_k = \frac{m(i_p - i_w)}{B_1 H_d}$$

каде е:

$m \left[\frac{kg}{s} \right]$ – количество на произведена пареа

$i_p \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на произведената пареа

$i_w \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на напојната вода на влезот во котелот

$B_1 \left[\frac{kg}{s} \right]$ – вкупна потрошувачка на гориво во ложиштето

$H_d \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – долна топлинска моќ на горивото

Од горната равенка може да се пресмета потрошувачката на гориво ако е познат степенот на корисно дејство на парниот котел.

$$B_1 = \frac{m(i_p - i_w)}{\eta_k H_d} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Пример 3.5: Парниот котел произведува $72 \frac{t}{h}$ сувозаситена пареа со $p = 41,2 \text{ bar}$. Котелот троши $4,89 \frac{kg}{s}$ со долна топлинска моќ $12600 \frac{kJ}{kg}$. Температурата на напојната вода на влезот во котелот е 145°C. Колкав е степенот на корисно дејство на парниот котел?

$$m = 72 \frac{t}{h} = 72 \cdot \frac{1000}{3600} = 20 \frac{kg}{s} \quad B_1 = 4,89 \frac{kg}{s}$$

За дадениот притисок на сувозаситената пара од табела II/2-4 стр.177 ја читаме енталпијата на сувозаситената пара.

$$i'' = 2800 \frac{kJ}{kg}$$

Енталпијата на напојната вода на влезот во котелот е:

$$i_v = c_v t_v = 4,187 \cdot 145 = 607 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_k = \frac{m(i_p - i_v)}{B_1 H_d} = \frac{20(2800 - 607)}{4,89 \cdot 12600} = \frac{43860}{61614} = 0,71$$

Пример 3.6: Парниот котел за 1h треба да произведе 2 t сувозаситена пара со притисок 9,81bar. Ако температурата на напојната вода е 25°C, колку јаглен треба да согори за 1h во ложиштето на котелот, ако неговата долна топлинска моќ изнесува $40 \frac{MJ}{kg}$, а од ослободената топлина во котелот се искористува 70 %, додека остатокот е загуба.

$$m = 2 \frac{t}{h} = 2000 \frac{kg}{h}$$

$$p = 9,81bar$$

$$t_v = 25^{\circ}C$$

$$H_d = 40 \frac{MJ}{kg} = 40 \cdot 10^3 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_k = 0,7$$

$$B_1 = ?$$

од табела II/2-3 стр.176 за $p = 9,81bar$ енталпијата на пареата изнесува:

$$i'' = 2777 \frac{kJ}{kg}$$

$$i_v = c_v t_v = 4,187 \cdot 25 = 104,6 \frac{kJ}{kg}$$

$$B_1 = \frac{m(i'' - i_v)}{\eta_k H_d} = \frac{2000(2777 - 104,6)}{0,7 \cdot 40000} = 190,8 \frac{kg}{h} = 0,19 \frac{t}{h}$$

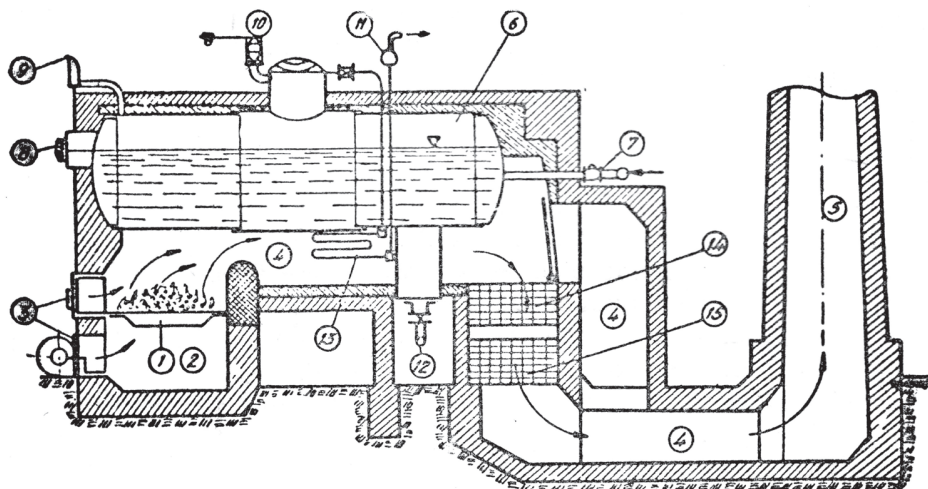
3.2.5 КОНСТРУКЦИИ НА ПАРНИ КОТЛИ

3.2.5.1 ПАРНИ КОТЛИ СО ГОЛЕМА СОДРЖИНА НА ВОДА

1. Цилиндрични парни котли

Тоа се најстар тип на парни котли кои се состојат од цилиндричен сад (тапан) до определено ниво наполнет со вода, а под садот се наоѓа ложиштето. Се состои од следниве делови:

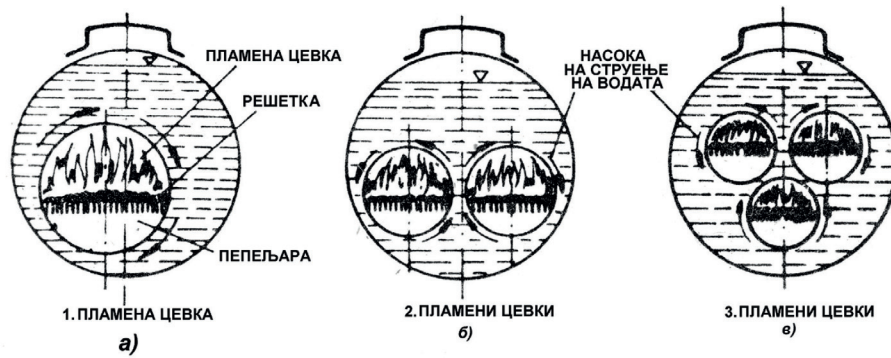
1. ложиште со решетка на која се дофрлува горивото и согорува,
2. пепелник кој се наоѓа под решетката во кој пропаѓа пепелта и згурата,
3. канали за довод на свеж воздух, потребен за согорување,
- 4 гасни канали низ кои струјат гасовите создадени во ложиштето,
- 5 оџак низ кој гасовите излегуваат во атмосферата,
- 6 цилиндричен сад (тапан) наполнет со вода чие ниво се контролира со водопоказно стакло,
- 7 уред за напојување на котелот со вода, а тоа се разни пумпи,
- 8 водопоказни стакла на кои е означено минималното и максималното дозволено ниво на водата во садот,
- 9 манометар кој служи за мерење на натпритисокот на пареата во котелот
- 10 сигурносен вентил со кој се ограничува максималниот дозволен притисок на пареата во котелот,
- 11 вентил за затворање на пареата кој треба да се отвори за одвод на пареата до потрошувачот,
- 12 вентил за празнење на котелот поставен на најниското ниво,
- 13 прегревач на параа во кој температурата на влажната или сувозаситената параа се зголемува на температура на прегреаност,
- 14 загревач на вода во кој температурата на напојната вода пред да влезе во котелот се зголемува со помош на топлината од гасовите кои го напуштиле котелот и би биле неискористени во колку не би биле поставени загревачот на вода и загревачот на воздух и
- 15 загревач на воздух во кој се загрева еден дел или целокупното количество на воздух потребно за согорување, а што има голема предност во однос на незагреаниот воздух.



Сл.3.3 Парен котел

2. Парни котли со пламени цевки

Овие котли се состојат од цилиндричен сад во кој се поставени една, две, а поретко три пламени цевки. Цевките се изработуваат брановидно, а со цел да се зголеми грејната површина и да се добие поцврста конструкција на цевките. На предниот дел од цевките се наоѓа ложиште со решетка на која согорува горивото. Пламенот и гасовите струјат низ цевката, а околу цевката циркулира водата.



Сл.3.4 Котел со пламени цевки

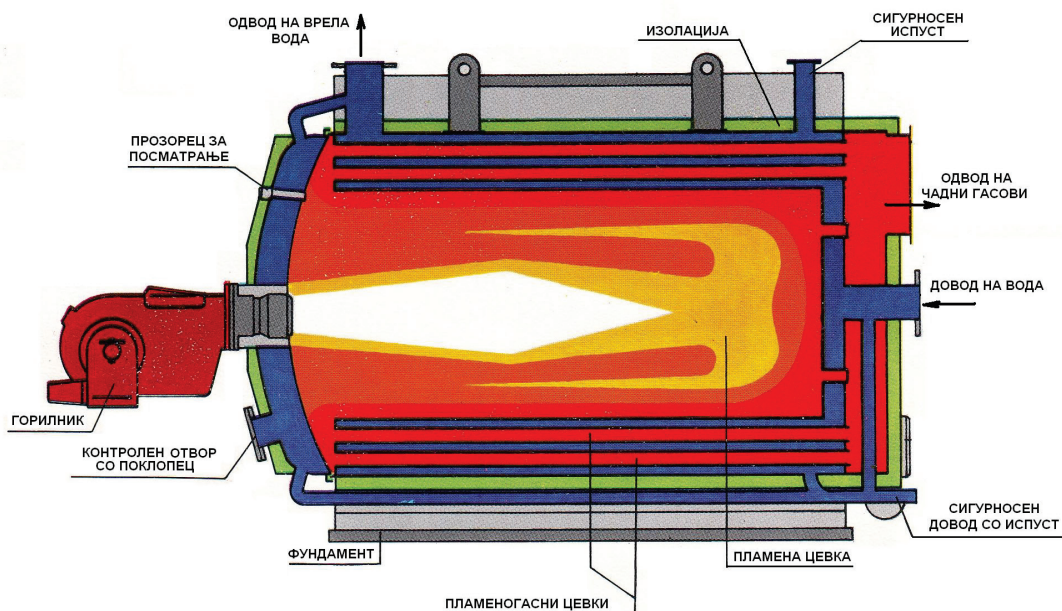
За грејна површина до 50 m² котлите се градат со една пламена цевка, а за површина до 100 m², котлите се градат со две пламени цевки. Дијаметарот на цилиндричниот сад се движи до 2,4 m, а пламените цевки имаат должина од 0,6 до 1 m. Производството на пара по еден m² грејна површина може да изнесува $15 \div 20 \frac{kg}{h}$.



Во поново време се користат котли со горилник на течно или гасовито гориво (сл.3.5 и сл.3.6). Котлите се изработуваат во две варијанти:

- За производство на заситена водена пара до 1bar и
- За заситена водена пара до 12bar.

Сл.3.5 Конструкција на котел со пламени цевки на течно или гасовито гориво



Сл.3.6 Конструкција на котел со пламени цевки на течно или гасовито гориво

Котлите од овој тип се конструирани по принцип на двострујна промаја на гасовите (низ рамна пламена цевка и низ чадни цевки). Рамната пламена цевка е повратна и овозможува потполно согорување и висок степен на искористување. Горилникот го уфрлува горивото во пламена цевка каде согорува.

Чадните гасови излегуваат од пламената цевка во комора која ги насочува во чадни цевки кои се распоредени околу пламената цевка. Чадните гасови преку цевките ја оддаваат својата топлина на водата која струи околу нив.

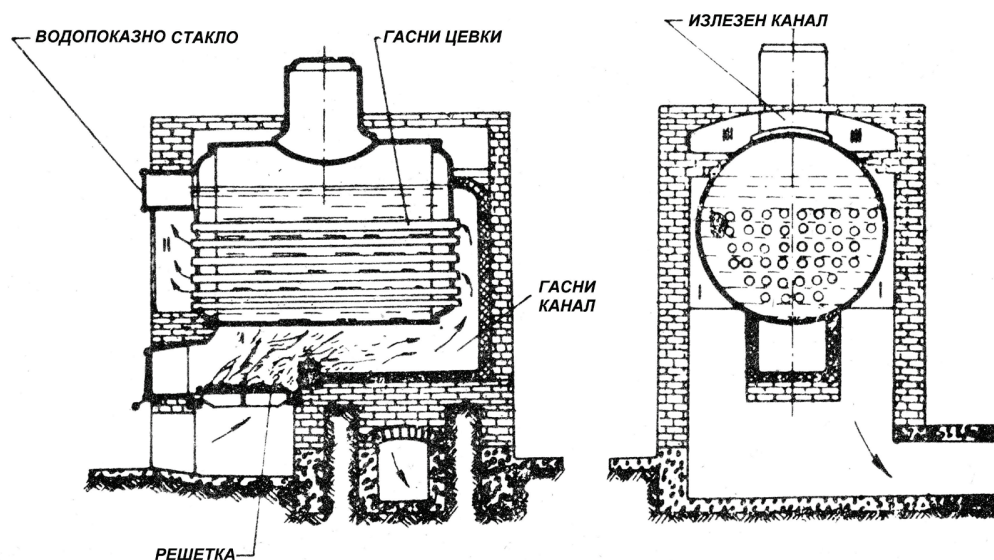
3. Парен котел со гасни цевки

Овој котел е изграден од цилиндричен сад во кој се вградени поголем број на цевки, обично до 40 цевки со дијаметар од 70 до 120 mm. Низ цевките струјат чадните гасови, а околу цевките циркулира водата. Дебелината на ѕидот на цевките е мала од 3 до 5 mm, преносот на топлина е брз, така што овие котли произведуваат до 16 kg/m^2 пара. Грејната површина на овие котли се движи до 150 m^2 .

Гасовите се создаваат на рамна решетка, а потоа струјат под котелот низ гасниот канал, потоа низ гасните цевки, а после тоа повторно околу котелот каде ја оддаваат и преостанатата топлина и излегуваат во атмосферата. На котелот се вградени манометар, водопоказно стакло и останатата котелска арматура.

Предностите на овие котли се во тоа што:

- заземаат мал простор,
- брзо се загреваат и за кусо време почнуваат да произведуваат пара и
- можат да употребат горива со помала топлинска моќ и др.



Сл.3.7 Котел со гасни цевки

3.2.5.2 ПАРНИ КОТЛИ СО МАЛА СОДРЖИНА НА ВОДА

1. Парен котел со стрмни водострујни цевки

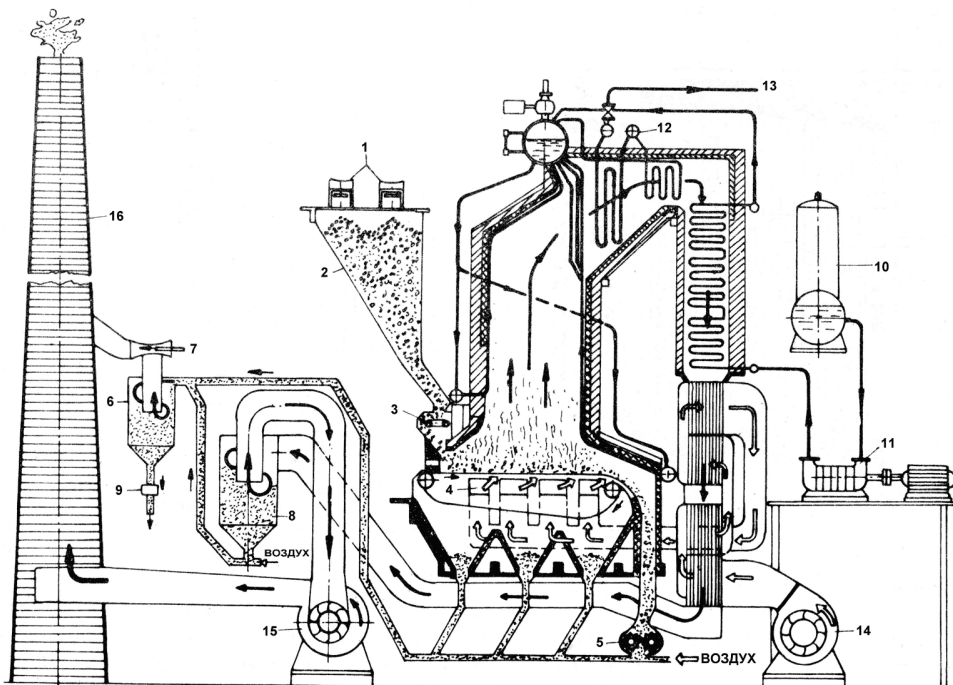
Карактеристично за овие котли е тоа што низ цевките кои се косо или стрмно поставени струи водата, а околу цевките струјат гасовите. На овој начин се постигнува:

- голема грејна површина,
- подобро пренесување на топлината од чадните гасови на водата и
- подобра циркулација на водата во котелот.

Поради релативно малото количество на вода брзо се создава големо количество на параа и со голем притисок. Имаат голем ложиштен простор, така што на решетката може да се уфрли поголемо количество на гориво со послаб квалитет. Поради своите предности овие котли наоѓаат употреба во разни индустриски претпријатија или термоелектрани.

Постројката се состои од:

1. довод на гориво,
2. бункер за јаглен,
3. дозатор,
4. подвижна решетка,
5. одвод на пепел и згура,
6. циклонски разделувач на воздухот и пепелта,
7. ејектор за воздух,
8. циклонски прочистувач на димните гасови,
9. запорен вентил за пепел,
10. напоен резервоар,
11. напојна пумпа,
12. ладилник на парата,
13. одвод на прегреана параа,
14. вентилатор за свеж воздух,
15. вентилатор за извлекување на гасовите,
16. оџак.



Сл.3.8 Постројка на котел со стрмни водострујни цевки

2. Современ озрачен парен котел

Овој котел се состои од еден тапан и голем број на цевки. Тапанот има задача да ја оддели пареата од водата и нејзино спроведување кон прегревачите на пареа, а неиспарената вода да ја врати на повторно испарување во испарувачот во ложиштето.

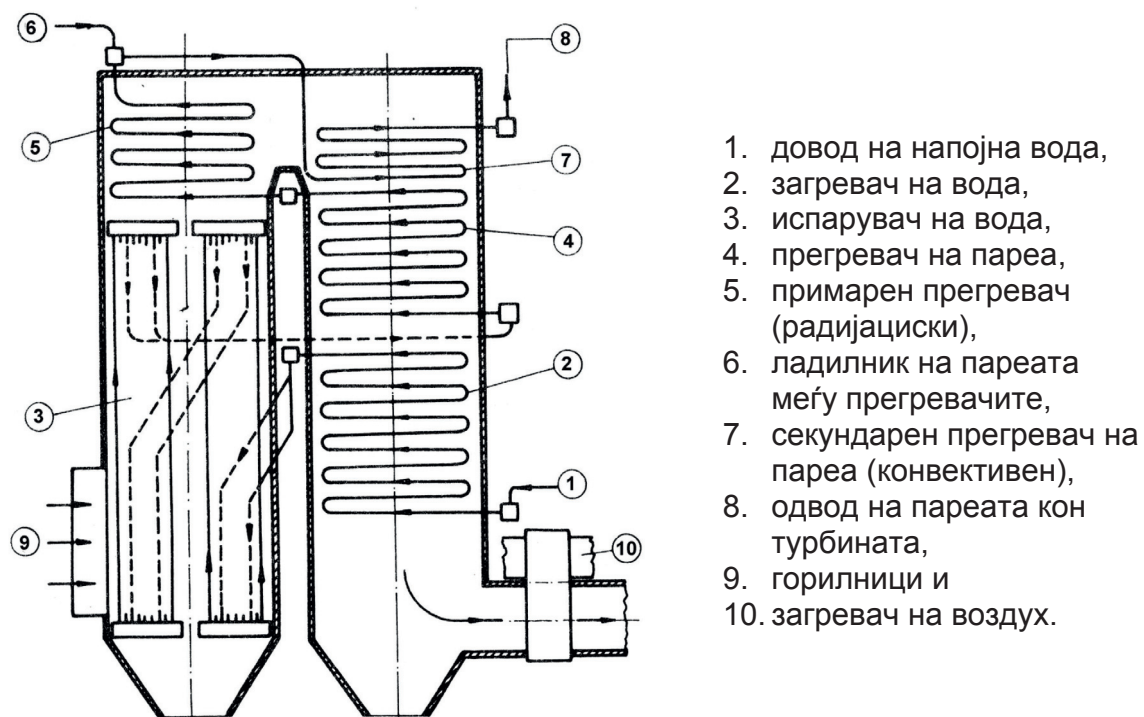
3.2.5.3 СПЕЦИЈАЛНИ ПАРНИ КОТЛИ

Овие котли се употребуваат во големите термоелектрани, за погон на бродови и како парни автомати за брзо производство на мали количества водена пареа за технолошки цели. Во оваа група на котли спаѓаат: Бенсонов, Ла Монтов, Рамзинов и Сулцеровиот парен котел.

Заедничката карактеристика на овие котли им е таа што имаат присилна циркулација на напојната вода низ повеќе паралелно поставени цевки. Содржат мало количество на вода поради што мора да бидат прецизно и автоматски регулирани. Поради малата содржина на вода последиците при евентуална експлозија на една или повеќе цевки не се големи па и инспекциските прописи за нивниот погон се нешто поблаги од кај котлите со тапан. Некои котли од овој тип немаат вообичаени водопоказни направи, туку состојбата на водата и пареата се контролира преку автоматски термостатски и пресостатски уреди кои во склад со пропишаната состојба управуваат со ложењето и напојувањето на котелот.

1. Бенсонов парен котел

Ваков котел, вграден во термоелектрана може да произведува 860 t/h со притисок 187 bar и температура 540° C и потрошувачка од 290 t/h спрашен јаглен лигнит со степен на корисно дејство 0,89 и прочистување на излезните гасови во електричен филтер од 99 %.

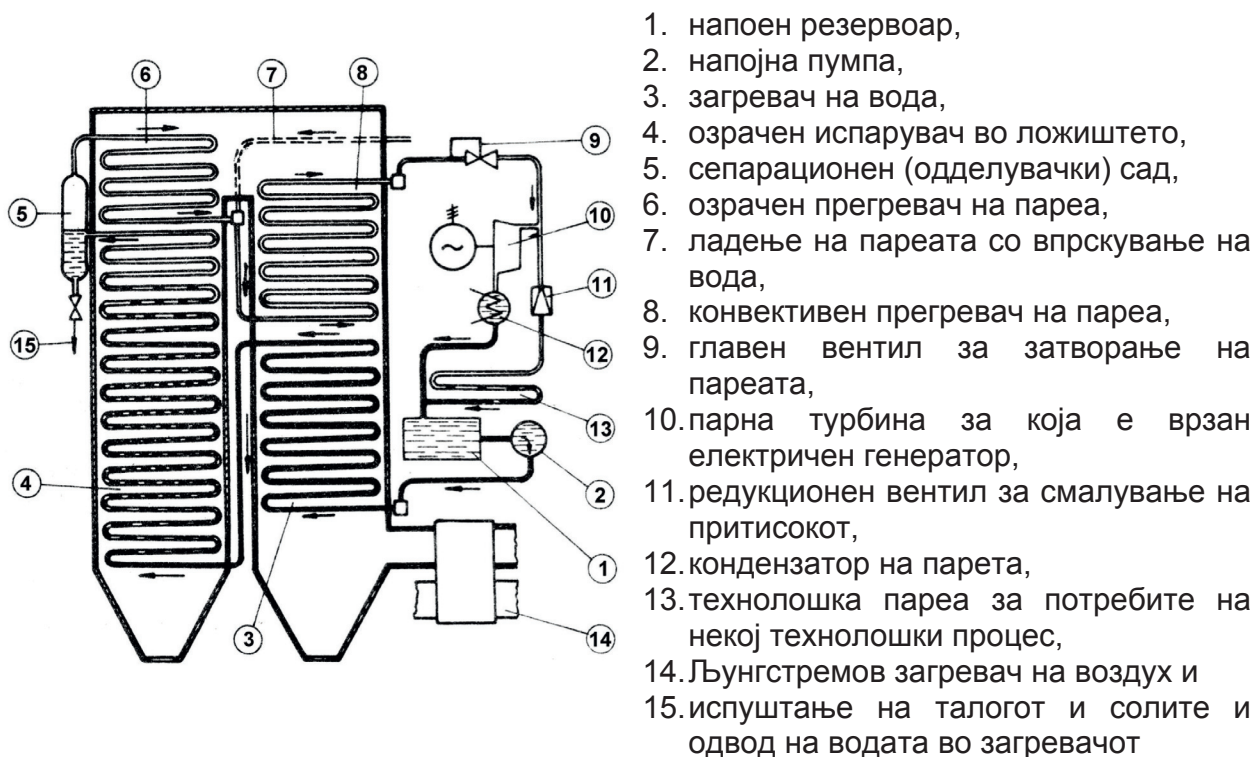


Сл.3.9 Шема на Бенсонов парен котел

2. Сулцеров парен котел

Овој котел е производ на швајцарската фирма на браќата Сулцер. Во котелот е вграден сепарационен сад кој служи за одделување на течноста од пареата и испуштање на наталожените соли кои се додаваат на водата при постапката на хемиско омекнување. Загревачот на вода и прегревачот на пареа се изработени од поголем број паралелно свиткани цевки кои завршуваат во сепарациониот сад. Цевките на загревачот на вода се поставени во гасниот канал, а цевките на прегревачот на пареа се поставени на сидовите од ложиштето.

Параметрите на парета што ја произведува овој котел ложен со јагленов прав изнесуваат: 350 t/h пареа, $p=135 \text{ bar}$, $t_p=540^\circ\text{C}$, температурата на напојната вода $t_v=226^\circ\text{C}$ и температурата на гасовите на излезот од котелот 150°C .



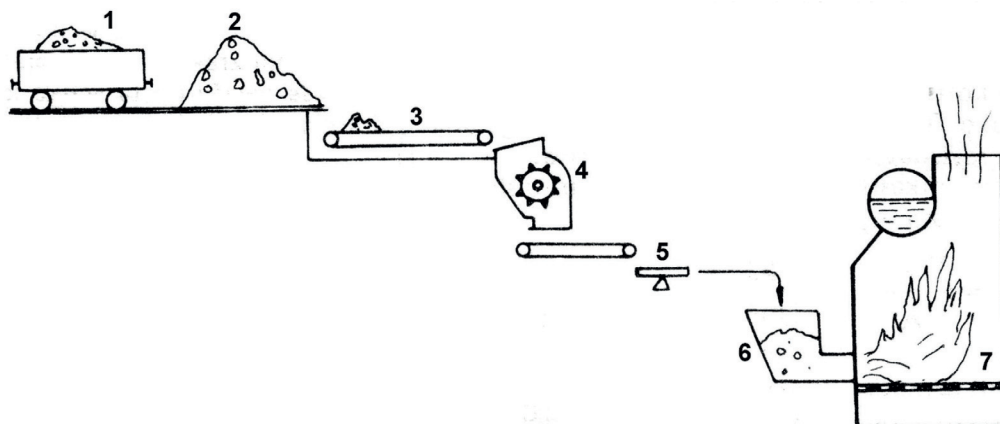
Сл.3.10 Сулцеров котел

3.2.6 КОТЕЛСКИ ЛОЖИШТА

Ложиштето е простор на котелот во кој се врши согорувањето на горивото. Обликот и местото на изведба на ложиштето во однос на останатите огревни површини зависи од видот и квалитетот на применетото гориво. Од друга страна квалитетот на ложиштето и водењето на процесот на ложење се темел за успешна работа на котелот бидејќи тоа е место каде треба да се ослободи толку потребната топлина.

3.2.6.1 ЛОЖЕЊЕ СО ЦВРСТО ГОРИВО

На патот од рудникот до ложиштето минува низ одредени фази на прерарботка, мерење и транспорт. Кај современите котли ложењето со цврсто гориво најмногу се применува за согорување во слој при ложење со дробен јаглен и согорување во вид на пламен при согорување на јагленов прав.



Сл.3.11 Шема на подготовка на јагленот од изворот до ложиштето

1. вагонетки за транспорт на јагленот од рудникот до депонија;
2. одлагање на јагленот на депонија;
3. транспортна лента;
4. дробилица или млин за мелење на јагленот на потребната гранулација;
5. вага за мерење на испорачаното количество на јаглен;
6. бункери за јаглен и
7. ложиште

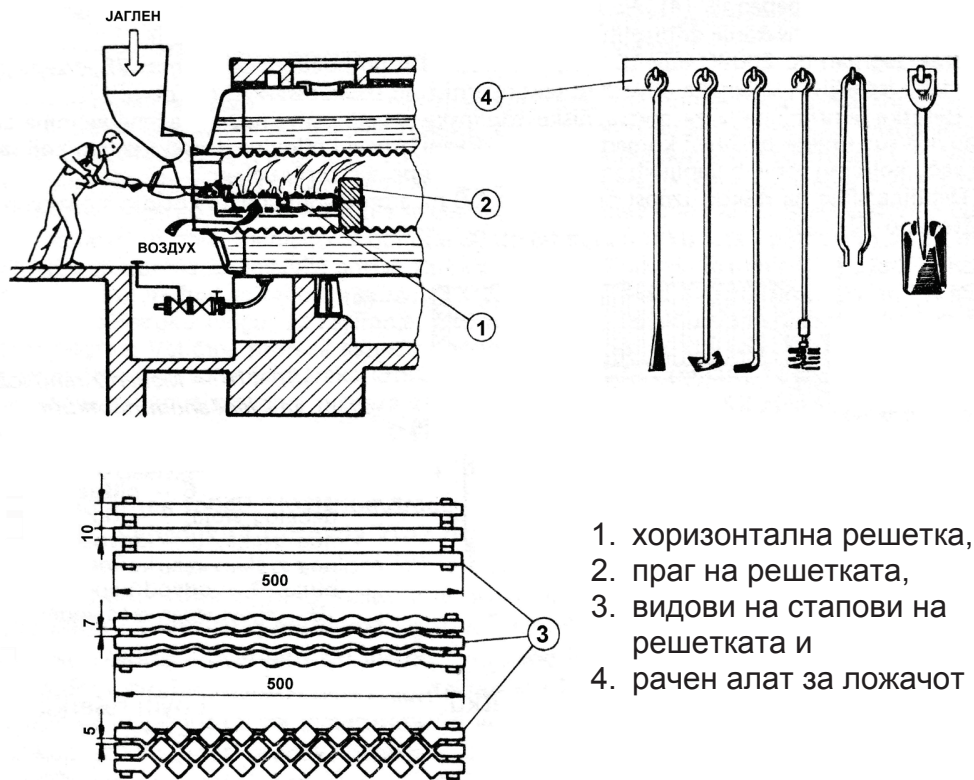
Ложиштата за согорување на цврсти горива според степенот на механизираниост се делат на:

- немеханизирани ложишта
- полумеханизирани ложишта
- механизирани ложишта со синциреста решетка

Немеханизирани ложишта

Вакви ложишта се применуваат за мали капацитети од $5 \div 6 \frac{t}{h}$ пареа и при

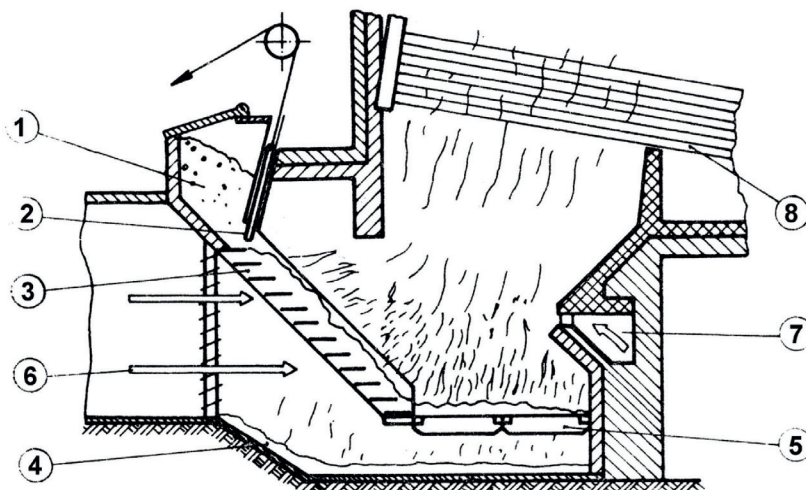
тоа согоруваат $300 \div 400 \frac{kg}{h}$ гориво. Решетката е погодна за согорување на поквалитетен лигнит, кафеав јаглен или антрацит. Ложачот со помош на рачен алат го дозира испуштањето на јагленот од бункерот кој паѓа на површината од решетката. Прагот на решетката го спречува паѓањето на јагленот надвор од површината на решетката. Воздухот потребен за согорување се доведува под решетката вршејќи притоа и ладење на стаповите од решетката. Пепелта и згурата паѓаат во пепелникот под решетката од каде повремено се исфрлуваат.



Сл. 3.12 Немеханизирано ложиште со хоризонтална решетка

Полумеханизирани ложишта

Кај овие ложишта обично само доводот на горивото е механизиран. Горивото се испушта од бункерот (1) со подигнување на затвораот (2), после тоа по слободен пад доаѓа на решетката (3). Решетката е наведена под агол од 30 - 45°, така што горивото во текот на согорувањето се поместува према напред и долу и притоа се меша со воздухот. Бидејќи скалите на решетката се прекриваат нема опасност од пропаѓање на ситните парчиња од гориво и јагленов прав во пепелникот (4). На крајот од решетката се поставува куса хоризонтална решетка (5) за прифаќање на отскокнатите парчиња од гориво, кои тука догоруваат.

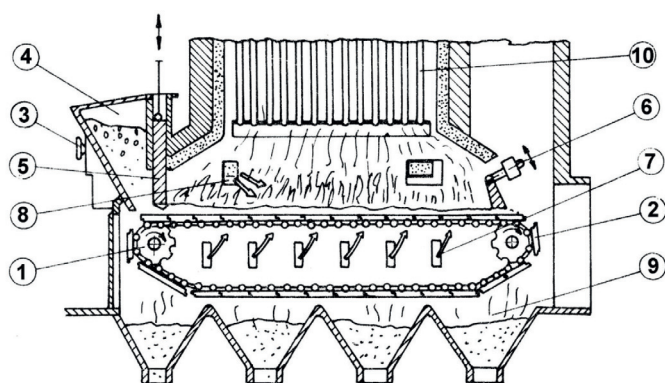


Сл.3.13 Полумеханизирано ложиште со скалеста решетка

Механизирано ложиште со синџиреста решетка

Работата на оваа решетка е потполно автоматизирана. Се состои од едно вратило и осовина на кои се наоѓаат по два синџирника преку кои е префрлен Галов синџир. Предното вратило (1) е погонско, а се задвижува со електромотор преку запчест преносник (3) со помош на кој може да се менува брзината на движење на решетката. Горивото од бункерот со инка (4) кој е изведен по цела ширина на решетката, паѓа на предниот дел на решетката. Висината на слојот од гориво се регулира со подвижниот праг (5). Со оглед на тоа дека решетката на својот пат може доволно да се излади, воздухот за согорување може да се загрее на повисока температура за разлика од другите решетки и тоа на температура од 150-300°C. Така загреаниот примарен воздух се доведува под решетката низ страничните отвори (7) чија отвореност може да се регулира. Секундарниот воздух, а понекогаш и рециркулирани гасови за сушење на горивото се доведуваат на почетокот на решетката над слојот од гориво низ отворот (8). Дел од пепелта паѓа низ решетката, а дел се истресува на крајот од решетката во пепелникот (9).

Кај ваквата решетка улогата на ложачот се сведува на регулирање на дебелината на слојот од гориво, брзината на движење на решетката, интензитетот на проветот и повремени визуелен преглед на стаповите од решетката и тоа на оној дел кој поминува низ пепелникот.



1. погонско вратило,
2. синџиреста решетка,
3. менувач на брзината на решетката,
4. бункер за гориво со инка,
5. праг за регулирање на дебелината на слојот,
6. нишачки запирач на дебелиот слој од гориво,
7. довод на примарен воздух,
8. довод на секундарен воздух и рециркулирани гасови,
9. одвод на пепелта и згурата и
10. цевки на испарувачот на вода

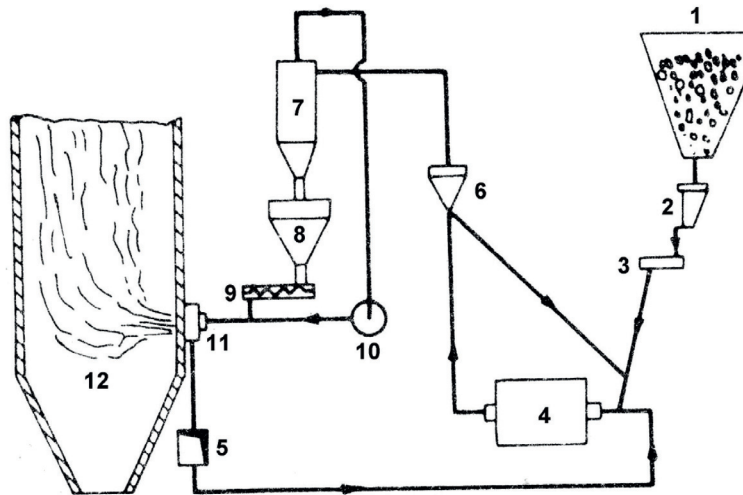
Сл.3.14 Механизирано ложиште со синџиреста решетка

3.2.6.2 ЛОЖЕЊЕ НА ЈАГЛЕНОВ ПРАВ

Со цел да се зголеми капацитетот на котелот се пристапило кон мелење на јагленот во фин прав кој се меша со воздухот и уште со рецикулациони гасови и се уфрлува во ложиштето каде согорува. Ваквиот начин на согорување на цврстото гориво се нарекува пламен процес.

Грубо издробениот јаглен доаѓа од бункерот (1) на автоматската вага (2), а потоа преку транспортна лента (3) во млинот (4). Од друга страна во млинот се доведува загреан воздух или рецикулациони гасови од ложиштето за сушење на јагленот преку гасниот канал (5). Потоа гасната смеса од јагленов прав и воздух минува низ сепараторот (6) каде покрупните парчиња се одделуваат и се враќаат

во млинот, финиот прав оди во инката (7), во која се одделува воздухот. Потоа јагленовиот прав оди во бункерот (8) од каде со помош на полжавест транспортер (9) се дозира во доводниот канал низ кој струи воздух всисан од сепараторот и потиснат од вентилаторот (10), после што добиената горивна смеса оди во грилникот (11). Во горилникот се доведува и загреан воздух од гасниот канал (5) така да во ложиштето (12) влегува смеса од јагленов прав и секундарен воздух од гасниот канал (5).



Сл.3.15 Шема на подготовка и доведување на јагленовата прашина во ложиштето

3.2.6.3 ЛОЖЕЊЕ СО ТЕЧНО ГОРИВО

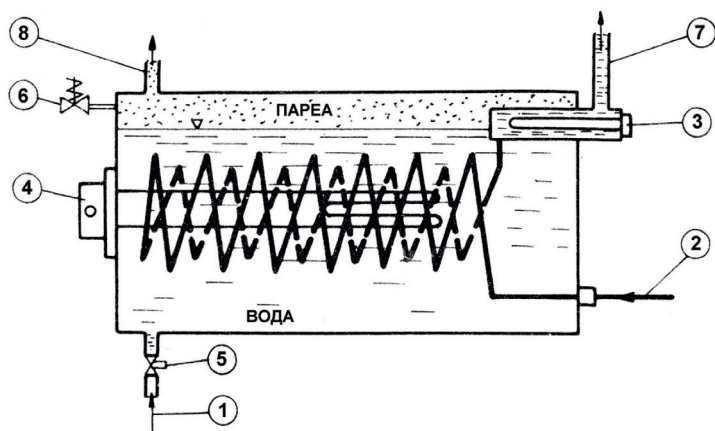
Процесот на ложење со течно гориво започнува со подготовка на горивото. Подготовката опфаќа три фази:

- осигурување на потребната вискозност на горивото со загревање,
- пречистување на цврстите честички и одделување на талогот од вода и
- распрскување и мешање со воздухот.

Начинот на подготовка и ракувањето со течното гориво зависи од неговите особини, а обично производителот ги дава следните податоци за горивото (мазутот):

- густината,
- вискозноста,
- топлинската моќ,
- температурата на запалување и
- содржината на вода, сулфур, пепел и др.

Главниот резервоар за гориво се загрева до водена пара или топла вода. Во него може да биде вграден и електричен грејач кој се вклучува само на почетокот на работата на котелот. Од главниот резервоар горивото оди во дневниот резервоар кој исто така се загрева со електрична струја, топла вода или водена пара.



1. довод на вода,
2. довод на мазут,
3. термостат з мазут,
4. електричен грејач,
5. пресостат за вода,
6. сигурносен вентил за настанатата водена пареа,
7. одвод на загреаниот мазут
8. одвод на водената пареа

Сл.3.16 Комбиниран загревач на мазут

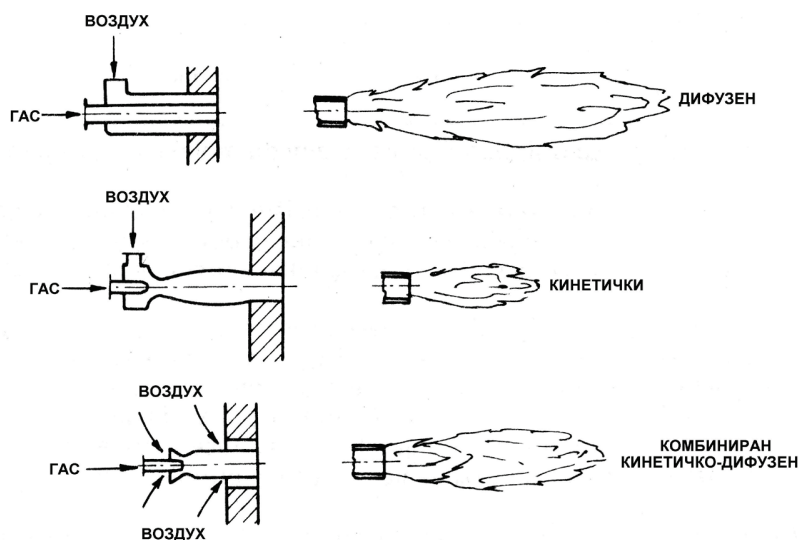
3.2.6.4 ЛОЖЕЊЕ СО ГАСНО ГОРИВО

За разлика од течните горива, гасните горива не се подготвуваат посебно бидејќи тие се чисти и лесно се мешаат со воздухот. За ложење на котлите најмногу се применуваат: земјен гас, градски гас, коксен гас, гас од високите печки, а за потпалување течни нафтени гасови.

Карактеристични големини на горивните гасови се:

- топлинската моќ,
- густината на гасот,
- температурата и брзината на палење,
- работниот притисок на гасот до горилникот и
- граница на запалување на смесата од гас и воздух.

Еве неколку примери на изведби на горилниците и начините на мешање на гасот со воздухот и должината на пламенот.



Сл.3.17 Изведби на горилници и начин на мешање на гасот со воздухот

3.2.7 СОСТАВНИ ДЕЛОВИ И АРМАТУРА НА ПАРНИОТ КОТЕЛ

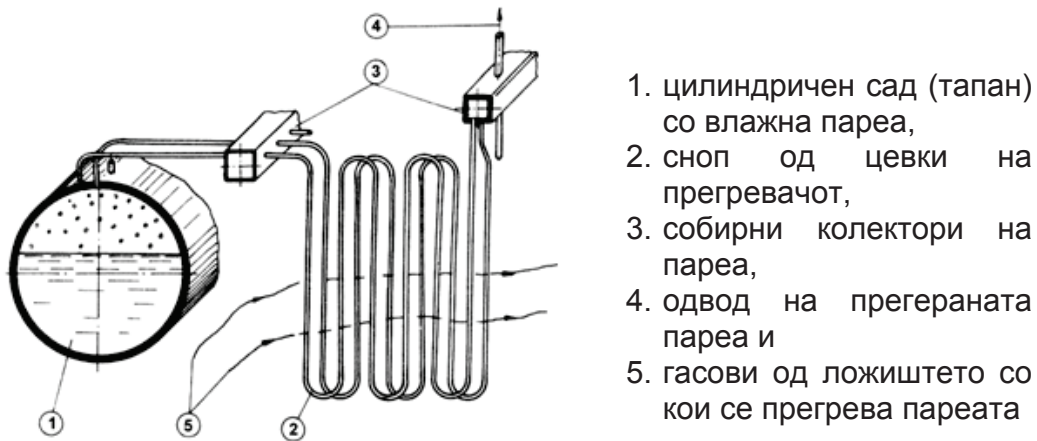
3.2.7.1 ПРЕГРЕВАЧИ НА ПАРЕА

Пареата произведена во испарувачот на котелот е влажна која содржи од 0,1 до 3 % влага и како таква се одведува во прегревачот. Во почетокот се суши и постанува сувозаситена, а потоа при константен притисок се прегрева до бараната температура, а најчесто до максимална температура од 565°C.

Со прегревање на пареата се зголемува:

- вкупниот степен на претворање на топлинската енергија на котелот во механичка работа на турбината,
- се смалува оштетувањето на лопатките на парната турбина бидејќи прегревањето на пареата треба да биде такво да во последните редови на роторски лопатки на турбината таа не содржи повеќе од 12 до 14 % влага,
- докажано е дека со зголемување на температурата на прегреаната пареа за 15°C се смалува специфичната потрошувачка на гориво за 1 %.

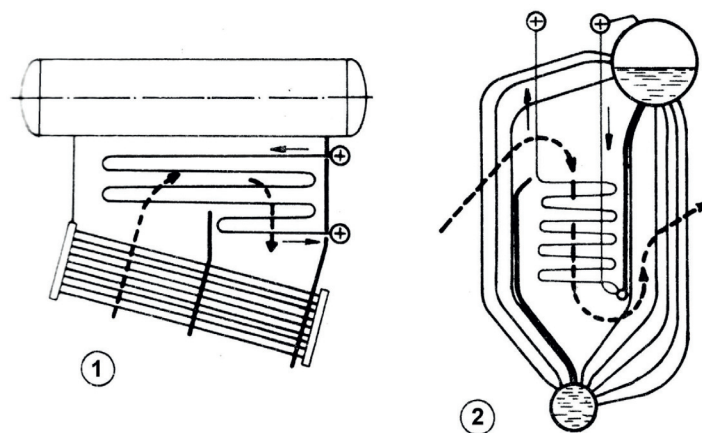
Прегревачите се изработуваат од безрабни цевки со внатрешен и надворешен дијаметар 30/36,32/38 и 36/45 mm.



1. цилиндричен сад (тапан) со влажна пареа,
2. сноп од цевки на прегревачот,
3. собирни колектори на пареа,
4. одвод на прегераната пареа и
5. гасови од ложиштето со кои се прегрева пареата

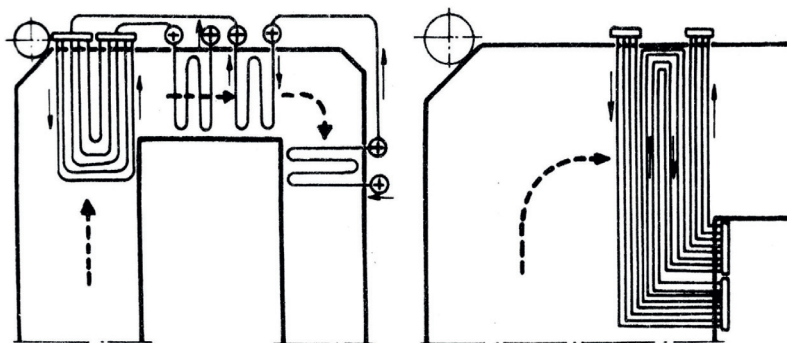
Сл.3.18 Изведба на прегревачот и начин на прегревање на пареата

Прегревачи на пареа кај котлите со стрмни цевки:



Сл.3.19 Прегревачи на пареа кај котлите со стрмни цевки

Повеќестепени прегревачи кај екранските котли:



Сл.3.20 Повеќестепени прегревачи кај екранските котли

Топлината што се предава од гасовите на пареата изнесува:

$$Q_p = m(i_p - i'')[kW]$$

$m \left[\frac{kg}{s} \right]$ – количество на произведена пареа

$i_p \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на прегреаната пареа

$i'' \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на сувозаситената пареа

Во случај да во прегревачот доаѓа влажна пареа, тогаш топлината за прегревање ќе биде:

$$Q_p = m \left(i_p - i'' + \frac{x \cdot r}{100} \right) [kW]$$

$x[\%]$ – содржина на пареа

$r = i' - i'' \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – топлина на испарување

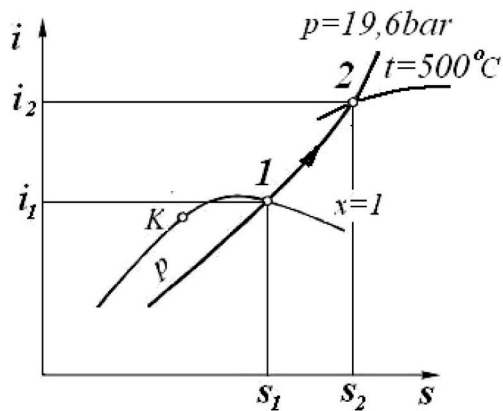
Грејната површина на прегревачот ќе биде:

$$A_p = \frac{Q_p}{K \Delta t_m} [m^2]$$

$K \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ – коефициент на премин на топлина од гасовите на пареата

$\Delta t_m [^{\circ}C]$ – средна логаритамска температурна разлика

Пример 3.7: Сувозаситена пареа со $p = 19,6 bar$ се прегрева при $p = const.$ на $500^{\circ}C$. Колкава е доведената топлина за прегревање на $1 kg$ и за колку ќе се промени ентропијата на пареата? (задачата да се прикаже во T - s дијаграм и да се реши со помош на парни таблици).



Од табела II/3-11 стр. 189 за прегреана пара и табела II/2-3 стр. 176 за сувозаситена водена пара читаме:

$$i'' = i_1 = 2799 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$i_p = i_2 = 3468 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s'' = s_1 = 6,3476 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s_p = s_2 = 7,4387 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Топлината за прегревање ќе биде:

$$q_p = i_p - i'' = 3468 - 2799 = 669 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

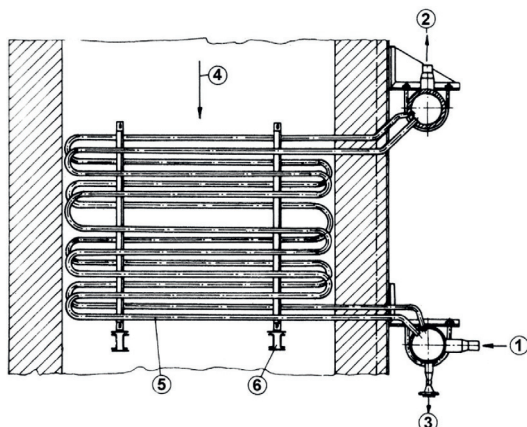
Промената на ентропијата ќе биде:

$$\Delta s = s_p - s'' = 7,4387 - 6,3476 = 1,0911 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

3.2.7.2 ЗАГРЕВАЧИ НА ВОДА

Загревачите на вода се сместени во гасните канали на котелот. Со нивното поставување се постигнува поголемо искористување на топлината која се содржи во гасовите и ја прават работата на парниот котел поекономична поради што се наречени водени економајзери. Се изработуваат од леани оребрени или мазни челични цевки. За притисоци до 60 bar најчесто се изработуваат од изребрани цевки од сиво леано железо. Ребрата имаат квадратна или игличеста форма. Ребрата ја зголемуваат грејната површина на загревачот. Вообичаени димензии на цевките се: должина 1,5 до 3 m, а внатрешен дијаметар 60,80 или 101 mm.

За котли со средни и високи притисоци загревачите се изведуваат од мазни челични цевки со надворешен дијаметар од 28 до 38 mm. Во ваквите загревачи водата може да испари и тоа од 5 до 20 % од вкупното количество на произведена пара.



1. довод на вода во долниот колектор,
2. одвод на загреана вода од горниот колектор,
3. цевка за празнење и испуштање на талогот од водата,
4. насока на струење на гасовите кои доаѓаат од ложиштето,
5. сноп на свиткани цевки низ кои струи водата и
6. носач на снопот од цевки кој се лади со воздух.

Сл.3.21 Загревач на вода со мазни челични цевки

Брзината на струење на гасовите преку цевките на загревачот е доста голема и изнесува 10 до 12 m/s со што се постигнува помало таложење на саѓи и пепел на огревните површини. Ако гасовите содржат поголемо количество на пепел, тогаш брзината на струење на гасовите треба да е помала од 6 до 10 m/s за да се избегне абразивното дејство на пепелта врз цевките.

Топлината што се предава од гасовите на водата во загревачот се пресметува според равенката:

$$Q_w = m(i_{wi} - i_{wv}) [kW]$$

Каде е:

$m \left[\frac{kg}{s} \right]$ – проток на напојна вода низ загревачот

$i_{wi} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на напојната вода на излезот од загревачот

$i_{wv} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – енталпија на напојната вода на влезот во загревачот

Врз основа на пресметаната топлина, може да се пресмета грејната површина на загревачот на вода:

$$A_w = \frac{Q_w}{K \Delta t_m} [m^2]$$

$K \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ – коефициент на пренос на топлина од гасовите на водата

$\Delta t_m [^{\circ}C]$ – средна логаритамска температурна разлика меѓу гасовите и водата

Пример 3.8: Низ економајзер (загревач на вода) протекува $m_1 = 220 \frac{t}{h}$

жешки гасови со влезна температура $t_1' = 420^{\circ}C$ и $m_2 = 120 \frac{t}{h}$ вода со влезна температура $t_2' = 105^{\circ}C$. Средната специфична топлина на гасовите е $c_{p1} = 1,045 \frac{kJ}{kgK}$. Топлината што се предава во единица време (топлотениот проток) од гасовите на водата изнесува $Q = 13,5 MW$, а коефициентот на пренос на топлина од гасовите на водата изнесува $K = 79 \frac{W}{m^2 K}$. Да се определи грејната површина на загревачот, ако струењето е противнасочно.

$$m_1 = 220 \frac{t}{h} = 220000 \frac{kg}{h}$$

$$m_2 = 120 \frac{t}{h} = 120000 \frac{kg}{h}$$

$$t_1' = 420^{\circ}C$$

$$t_2' = 105^{\circ}C$$

$$c_{p1} = 1,045 \frac{kJ}{kgK}$$

$$Q = 13,5 MW = 13,5 \frac{MJ}{s} = 13500 \frac{kJ}{s} = 486 \cdot 10^5 \frac{kJ}{h}$$

$$i_w = ct_v = 4,187 \cdot 105 = 439,6 \frac{kJ}{kg}$$

Површината на загревачот се определува според равенката:

$$A_w = \frac{Q_w}{K \Delta t_m} [m^2]$$

Топлината што ја предаваат гасовите на водата изнесува:

$$Q_1 = m_1 c_1 (t_1' - t_1'')$$

од тука следува: $486 \cdot 10^5 = 22 \cdot 10^4 \cdot 1,045 (420 - t_1'')$

со решавање на равенката добиваме $t_1'' = 199^0 C$

Топлината што ја прима водата од гасовите изнесува:

$$Q_2 = m_2 c_2 (t_2'' - t_2')$$

од тука следува: $486 \cdot 10^5 = 12 \cdot 10^4 \cdot 4,187 (t_2'' - 105)$

со решавање на равенката добиваме: $t_2'' = 201,7^0 C$

Средната логаритамска температурна разлика за противнасочно струење изнесува:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_v - \Delta t_i}{2,303 \log \frac{\Delta t_v}{\Delta t_i}} = \frac{218,3 - 94}{2,303 \log \frac{218,3}{94}} = 147,5^0 C$$

за противнасочно струење е:

$$\Delta t_v = t_1' - t_2'' = 420 - 201,7 = 218,3^0 C$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2' = 199 - 105 = 94^0 C$$

Површината на економајзерот ќе биде:

$$A_w = \frac{Q_w}{K \Delta t_m} = \frac{13,5 \cdot 10^6}{79 \cdot 147,5} = 1158,5 m^2$$

3.2.7.3 ЗАГРЕВАЧИ НА ВОЗДУХ

Загревачите служат за загревање на воздухот потребен за согорување на горивото. Со загревањето на воздухот се постигнува:

- побрзо согорување на горивото,
- повисока температура во ложиштето,
- намалување на потрошувачката на гориво и
- се одзема топлина од излезните гасови и при тоа се ладат до дозволената температура со што се смалуваат загубите на топлина со излезните гасови U_7 .

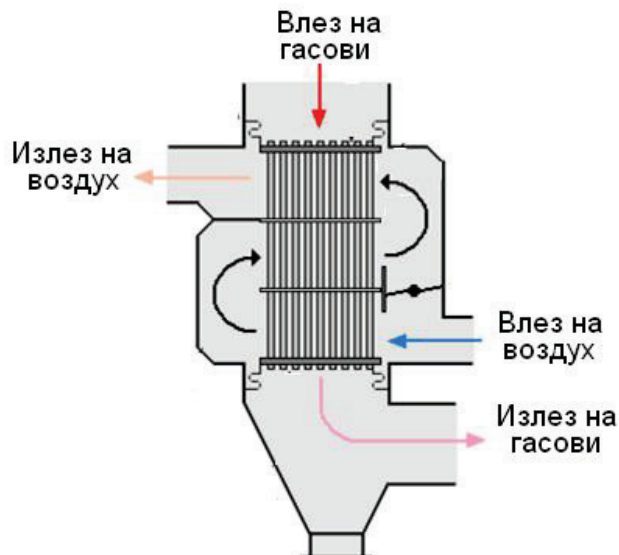
Температурата на загревање на воздухот се движи од 150 до 400°C што зависи од видот на горивото и начинот на ложењето.

Постојат два вида на загревачи:

- неподвижни рекуперативни и
- регенеративни ротациони загревачи.

1. Неподвижни рекуперативни загревачи на воздух

Името доаѓа од латинскиот збор **recuperatio** што значи враќање или повторно преземање, во овој случај повторно преземање на топлината од гасовите која претходно им била доведена во ложиштето.



Сл.3.22 Загревач на воздух

Жешките гасови влегуваат во загревачот на воздух и поминуваат низ сноп од цевки. Преку цевките ја оддаваат топлината на воздухот кој струи околу нив. Така загреаниот воздух излегува од загревачот.

2. Регенеративни ротациони загревачи

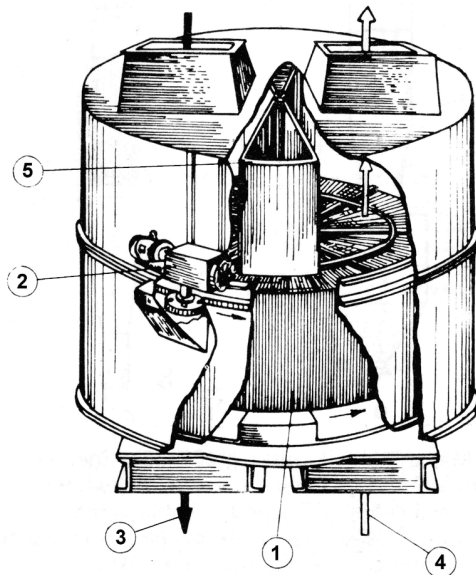
Името доаѓа од латинскиот збор (**re + genus**) што значи обновување или повторно воспоставување на почетната состојба. Најпознат загревач од овој вид е **Љунгстремовиот ротационен загревач на воздух** (сл.3.23). Се состои од ротор изработен од лимови во кои се формирани меѓупростори за струење на гасовите и воздухот.

Во почетокот гасовите струјат низ левата половина од роторот на загревачот и при тоа ја загреваат. Потоа загреаната површина од роторот влегува во зоната во која се пушта ладен воздух и при тоа одзема топлина од загреаните лимови и се загрева, а десната половина влегува гасниот канал каде се загрева со топлината од гасовите.

Главни големини на роторот се:

- дијаметар до 10 m,
- висина до 2,5 m
- број на вртежи од $1,5 \div 6 \frac{vrt}{min}$ и
- погонска моќ за електромоторот од $1 \div 20 kW$.

Загревачот зазема мал простор, едноставен е за одржување и троши малку енергија за вртење на роторот.



1. ротор,
2. погон на роторот,
3. струење на жешките чадни гасови,
4. струење на ладен воздух и
5. мртва зона на загревачот

Сл.3.23 Гунгстремов регенеративен загревач на воздух

Топлината што се предава од гасовите на воздухот изнесува:

$$Q_L = B_1 \cdot \alpha \cdot \lambda_{\text{воз}} \cdot V_{L,\text{min}} (i_L - i_i) [kW]$$

Каде е:

$B_1 \left[\frac{kg}{s} \right]$ - вкупна потрошувачка на гориво,

α – коефициент кој покажува колкаво количество на воздух се загрева,

$\lambda_{\text{воз}}$ - коефициент на вишок на воздух во ложиштето,

$V_{L,\text{min}} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$ - минимално количество на воздух за согорување,

$i_L \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$ - енталпија на загреаниот воздух,

$i_i \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$ - енталпија на незагреаниот воздух,

Врз основа на пресметаното количество на топлина потребно за загревање на воздухот, може да се пресмета грејната површина на загревачот за воздух:

$$A_L = \frac{Q_L}{K \Delta t_m} [m^2]$$

$K \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ - коефициент на пренос на топлина,

$\Delta t_m [^\circ C]$ – средна логаритамска температурна разлика

3.2.7.4 АРМАТУРА НА ПАРНИОТ КОТЕЛ

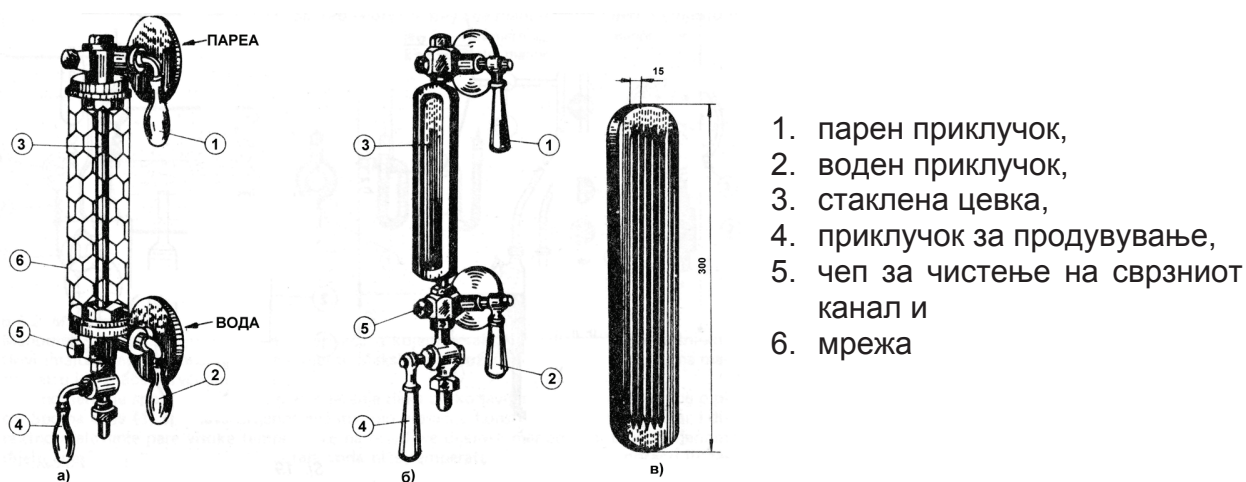
Арматурата е заедничко име за збир од регулациони и мерни уреди кои овозможуваат успешно извршување на процесот во парниот котел. За полесно проучување, арматурата се дели на сигурносна и погонска.

Сигурносна арматура

Сигурносната арматура ја сочинуваат: водопоказни направи, манометри и сигурносни вентили.

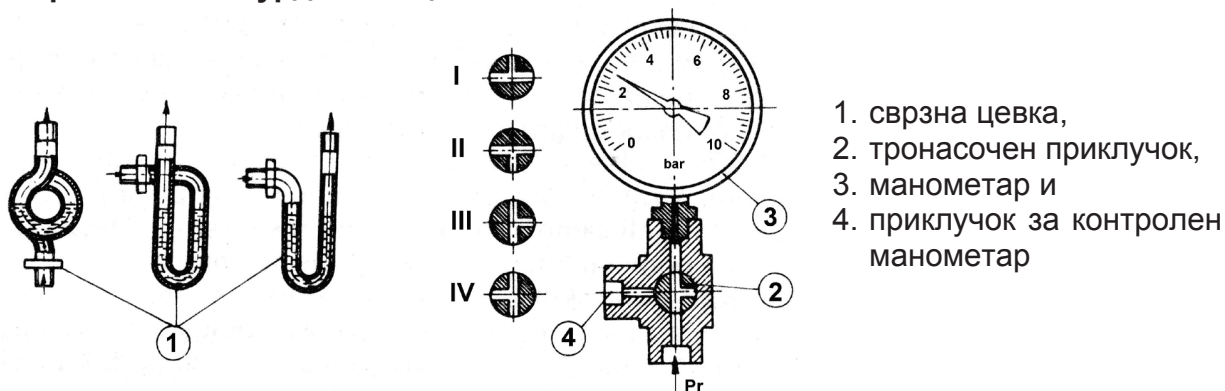
Водопоказните направи го покажуваат нивото на водата во котелот. За таа цел служат:

- водопоказни стакла
- контролни приклучоци и
- сигнални алармни уреди кои го исклучуваат ложењето при ниско ниво на водата во котелот.



Сл.3.24 Водопоказна направа со стакло

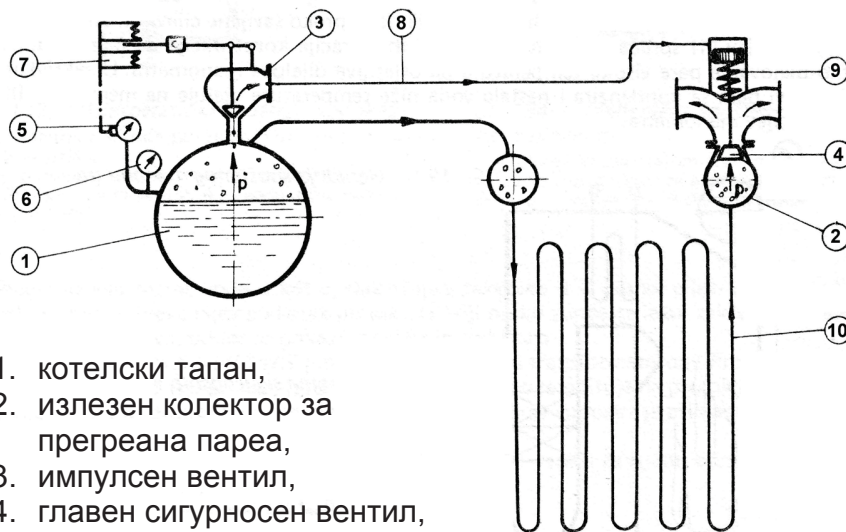
Манометрите се поставуваат на цилиндричниот сад (тапанот) каде се собира водената пара. Стабилните котли имаат еден, а бродските котли два манометри. Максимално дозволеният притисок на пареата во котелот на манометарот е означен со црвена линија. Манометарот може да биде со мембрана или со **Бурдонова цевка**.



Сл.3.25 Спојување на манометарот со мерното место

Сигурносните вентили имаат задача да ја испуштат пареата во атмосферата кога работниот притисок во котелот ќе се зголеми за 5 % над дозволениот. Се поставуваат на парниот простор на собираачот на пареа и на излезот на пареата од прегревачот на пареа.

За стабилни котли се применуваат вентили со тег, а за подвижни котли и бродски котли вентили со пружина.



1. котелски тапан,
2. излезен колектор за прегреана пареа,
3. импулсен вентил,
4. главен сигурносен вентил,
5. контактен манометар,
6. главен манометар,
7. електромагнет,
8. довод на пареа до главниот вентил,
9. пружина и
10. цевки на прегревачот

Сл.3.26 Вградување на импулсен сигурносен вентил

Погонска арматура

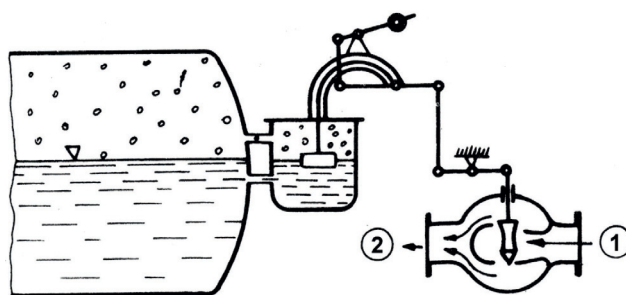
Погонската арматура се дели на: фина и груба арматура.

1. Фина арматура во која спаѓаат:

- вентили за затворање,
- славини и приклучоци за вода и пареа,
- термометри,
- мерачи на проток,
- пресостатски и термостатски давачи на импулси,
- редукциони или придушни вентили,
- арматура на напојниот вод и
- напојни пумпи и др.

2. Груба арматура во која спаѓаат:

- разни отвори со вратничкиња,
- капаци за влегување во просторот на котелот,
- насочувачи и придушувачи на гасовите,
- уреди за одвод на пеплта и згурата и
- дувачи на пепел и саѓ и др.



1- довод на вода од напојната пумпа и

2- влез на водата во котелот

Сл.3.27 Механички регулационен уред за напојување на котелот

3.2.8 ВОДЕЊЕ НА ПОГОНОТ НА ПАРНИОТ КОТЕЛ

Вкупните активности при водењето на погонот на парниот котел се делат во следните фази:

- пуштање на котелот и постигнување на работните параметри;
- водење и одржување на енергетскиот процес;
- запирање на погонот на парниот котел и
- конзервирање на котелот.

3.2.8.1 ПУШТАЊЕ НА КОТЕЛОТ И ПОСТИГНУВАЊЕ НА РАБОТНИТЕ ПАРАМЕТРИ

Пуштањето на парниот котел во работа се одвива по овој редослед:

- контрола на состојбата на постројката, а особено на котелот,
- затворање на прегледаните простори на котелот и арматурата,
- полнење на котелот со вода,
- потпалување на оганот и постигнување на притисокот на пареата,
- ладење на прегревачот на пареа и
- приклучување на котелот и пуштање на пареата кон потрошувачот.

Ако е извршен ремонт или внатрешно чистење, котелот пред затворањето мора да се прегледа. Како прво се врши детален надворешен преглед, а ако котелот е отворен се врши и внатрешен преглед. Треба да се прегледа целата арматура дали сите цевки се сврзани, а посебно приклучоците за водопоказните направи, манометрите и да се утврди состојбата на сигурносните вентили.

По извршениот надворешен и внатрешен преглед се затвораат сите капаци од водениот и гасниот простор. Потоа се затвора парниот вентил, вентилите и приклучоците за испуштање на талогот, а се отвораат приклучоците за водопоказните направи. Потоа следува полнење на котелот со вода и тоа приближно по овој редослед:

- се затвора вентилот за затворање на пареата кон турбината,
- се затвора вентилот на резервната напојна пумпа и
- се регулира бројот на вртежи на вентилаторот за свеж воздух и вентилаторот за извлекување на гасовите.

Рецикулацијата на гасовите се врши на тој начин што се одземаат од ложиштето или гасниот канал и повторно се доведуваат во смесата со воздухот или јагленовиот прав во ложиштето. Рецикулацијата се врши со цел:

- загревање и сушење на горивото при процесот на согорување во слој на решетка,
- ако воздухот не е доволно загреан или воопшто не е загреан, а се доведува во зоната на решетката,
- за сушење на горивото во млиновите за јагленов прав при согорување во пламен и
- кога за сушење на горивото не е доволна ниту температура од 400°C.

3.2.8.2 ВОДЕЊЕ И ОДРЖУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКИОТ ПРОЦЕС

Непосредното водење на котелот ги опфаќа следните главни работи:

- одржување на ложењето и напојувањето на котелот во склад со потребните параметри на пареата: количеството на произведена пареа, притисокот и температурата на произведената пареа,
- контрола на согорувањето и водење на ложиштето со минимални загуби на топлина,
- водење на дневник за мерните големини,
- повремено испуштање на талогот од водениот простор и продувување на саѓите и пепелта од огревните површини,
- постојано надгледување на контролните инструменти, пропишано одржување на погонската арматура и проверка на исправноста на сигурносната арматура, посебно продувување на покажувачот на нивото на водата.

Поголем дел од овие работи се управува со помош на автоматски електрични, хидролични и пневматски уреди.

За контрола на согорувањето на горивото треба да се измерат следните големини :

- вакуумот при влезот во оџакот,
- притисокот во просторот за согорување,
- излезната температура на гасовите и
- процентуалниот дел на CO_2 , CO , O_2 , SO_2 во гасовите.

Огревните површини на котелот во текот на работата од страната на гасовите се загадуваат со саѓи, пепел и згура. Згурата се таложи на цевките во просторот со висока температура, обично на прегревачите на пареа, а наслагите од пепел и саѓи во просторот со пониска температура на загревачите на вода и воздух. За отстранување на овие талози се користи:

- млаз на прегереана пареа,
- млаз на влажна пареа или компримиран воздух,
- чистачи на згура со млаз на распрскана вода и
- уреди за чистење со челични топчиња.

3.2.8.3 ЗАПИРАЊЕ НА ПОГОНОТ НА ПАРНИОТ КОТЕЛ

Запирањето на работа на котелот се врши од следниве причини:

- поради запирање на процесот за кој котелот произведува пареа,
- поради неисправност на некој од уредите на постројката,
- поради редовен годишен преглед или ремонт на постројката и
- поради подолго време исклучување од работа на котелот условено од начинот на работа на пример резервна термоелектрана.

За време на редовниот годишен преглед и ремонт котелот детално се чисти, а при прекилот со работа на подолго време покрај чистењето котелот се конзервира. При прекилот со работа најпрво се чистат сагите, пепелта и згурата од гасните огревни површини, а потоа се смалува оптоварувањето односно интензитетот на ложење во ложиштето. Со тоа се обезбедува постепено ладење без нагли температурни промени.

Котелскиот бигор наталожен во цевките кај сите котли со водострујни цевки се чисти со додавање на разни киселини. Најмногу се користи солна киселина која се додава во водата од 5 до 15 %.

3.2.8.4 КОНЗЕРВИРАЊЕ НА КОТЕЛОТ

Котелот се конзервира при прекилот со работа на подолг временски период. Притоа се конзервираат површините од водна, парна и гасна страна. Со тоа се спречува корозијата на котелот предизвикана од влагата и кислородот од воздухот.

Конзервирање на водните и парните површини на котелот

За конзервирање на овие површини се применуваат следните постапки: влажно топло конзервирање, влажно ладно конзервирање и суво конзервирање.

1. Влажно топло конзервирање

Во посебен сад со омекната вода се растопуваат следниве хемикалии: натриумова база и тринатриум фосфат. Смесата се доведува на всисната страна на напојната пумпа и се одведува во котелот. Потоа котелот се полни со напојна вода сè додека не се исполни парниот простор односно сè додека на излезот од прегревачот не протече напојна вода.

2. Влажно ладно конзервирање

Се применува за прекин со работа на котелот подолго од 10 дена. После исклучувањето на ложењето 1 до 2 часа пред потполното запирање на работата на котелот при нормален водостој и мал притисок, се додаваат хемикалии во водениот и парниот простор. Додадните хемикалии се хидразин и хидразинхидрат.

3. Суво конзервирање

Ако се врши ремонт, или ако постои опасност од замрзнување на водата за време на мирувањето на котелот, се изведува суво конзервирање. При тоа обично се применуваат две постапки:

- со поставување на цврсти хемикалии за апсорбирање на влагата во цевките, а за тоа се земаат: калциум хлорид и калциум оксид и котелот се полни со неутрален гас: амонијак, јаглороден двооксид или азот.

3.2.9 ЕКОЛОГИЈА НА КОТЕЛОТ

Екологија на котелот претставува однос на котелот кон околината. Најважниот процес во котелот кој влијае на околината е согорувањето на горивото при што настануваат голем број на штетни материи кои одат во околината. Меѓу нив најважни се:

- SO₂ - сулфурен двооксид,
- SO₃ - сулфурен триоксид,

- CO - јаглероден моноксид,
 V₂O₅ - ванадиумов пентоксид,
 NO₂ - азотен двооксид,
 а - пепел и прашина.

Според видот на горивото најмногу штетни примеси настануваат кај котлите ложени со течно гориво каде има до 10 % SO₂. После тоа следува:

- при согорувањето во слој на камен јаглен, кафеав јаглен и лигнит,
- при согорувањето на јагленов прав,
- најмногу при течен одвод на пепелта и згурата и
- при ложење со природен гас кога настанува NO₂.

Одржување на дозволената концентрација на штетни материји во атмосферскиот воздух и на почвата се врши со две методи и тоа:

1. **пасивна** – која се состои во изведба на доволен висок оџак и до 300 m со

што штетните материји се распределуваат на поголем простор и

2. **активна** – која се состои во подготовка на горивото со цел да се смалат соединенијата кои произведуваат штетни материји. Тоа се постигнува со:

- мешање на чистото и токсичното гориво,
- смалување на температурата на согорување со што се смалува NO₂
- додавање на препарати со кои се врзуваат штетните соединенија и цврстите честички кои можат да се одделат.

Добри резултати се постигнуваат со комбинација на пасивните со активните методи, односно со изведба на оџакот, филтерот, подобрување на квалитетот на горивото и успешно водење на процесот на согорување.

Задачи за вежби:

1. Парен котел со пламени цевки работи со притисок 15,7 bar, а неговата огревна површина изнесува 34 m², а по 1 m² површина произведува $36 \frac{kg}{h}$ сувозаситена пареа. Колкаво количество на кафеав јаглен троши котелот ако неговата долна топлинска моќ изнесува $25 \frac{MJ}{kg}$. Температурата на напојната вода изнесува 12°C, а коефициентот на корисно дејство на котелот е 0,65.

2. Да се пресмета дијаметарот на оџакот на една котелска постројка која троши $220 \frac{kg}{h}$ гориво. Температурата на гасовите на влезот во оџакот е 190°C, специфичниот волумен на гасовите $20 \frac{m^3}{kg}$, а брзината на гасовите низ оџакот $10 \frac{m}{s}$.

3. За една мазутна котелска постројка треба да се загрее $500 \frac{kg}{h}$ мазут на температура од 85°C, со помош на сувозаситена пареа со $p = 2,94 bar$. Температурата на мазутот во резервоарот е 30°C. Да се определи потребното количество на пареа за загревање на мазутот, ако специфичната топлина на

мазутот е $c = 2,1 \frac{kJ}{kgK}$.

4. Котелот произведува $20 \frac{t}{h}$ прегреана водена пара со притисок $p = 49bar$ и температура $450^\circ C$. Водата за напојување влегува во загревачот на вода со $30^\circ C$, а излегува со $180^\circ C$. Пареата влегува во прегревачот со 5 % влага. Колку изнесува топлината на течноста, топлината на испарување и топлината за прегревање на пареата?

Прашања за повторување:

1. Каква задача има парниот котел?
2. На кои начини можат да се поделат парните котли?
3. Зошто доаѓа до непотполно согорување на горивото?
4. Што се случува со согорувањето ако коефициентот на вишок на воздух е поголем од 1?
5. Што се случува со коефициентот на корисно дејство на парниот котел ако гасовите го напуштат котелот со повисока температура?
6. Какво влијание има интензитетот на проветот на процесот на согорување ?
7. Што се случува ако водата во себе содржи повеќе соли на калциум и магнезиум?
8. За што се користат парните котли со специјална конструкција?
9. Зошто служат ложиштата со млазници ?
10. На кој начин може да се зголеми енталпијата на произведената пара во парниот котел?
11. Со каква цел се врши загревање на водата пред да дојде во парниот котел?
12. На кои начини може да се врши загревање на воздухот потребен за согорување на горивото во ложиштето на парниот котел?
13. Која е задачата на котелската арматура ?

4.

ГРЕЕЊЕ

ЦЕЛИ

Ученикот треба да:

- го познава индивидуалното и централното греење;
- го сфати начинот на пресметувањето на потребното количество на топлина;
- сознае како се определува големината на радијаторот;
- ги разликува гравитационото од пумпното греење;
- применува табели за избор на додатоци на топлина;
- врши класификација на цевните мрежи;
- ги проценува предностите на водното над парното греење;
- објасни како се пресметува гравитациониот напор кај водното греење и
- ја согледува зависноста на потребниот напор на пумпата и падот на притисокот поради линиски и локални отпори при струењето на водата низ цевките.

4. ГРЕЕЊЕ

4.1 ОСНОВНИ ТЕОРЕТСКИ ПОИМИ ОД ЦЕНТРАЛНОТО ГРЕЕЊЕ

Греењето е процес на доведување на топлина. Зборовите: ладно, млако, топло, врело, усвитено и др. се поими со кои разликуваме различни состојби и загреаност на телата. Топлината која треба да се доведе за загревање на одредена просторија со цел да се одржи потребна температура зависи, освен од климатските услови и од состојбата на објектот. Тоа количество на топлина се определува според определена постапка врз основа на употребениот градежен материјал, а притоа треба да се внимава на внатрешната и надворешната температура, како и на топлинската спроводливост и пропустливост на градежните елементи. Потребната количина на топлина претставува основа за определување на капацитетот на системот за греење и димензиите на грејните површини. Пресметаната топлина за греење не е еднаква на вистинската потребна топлина за греење бидејќи физичките големини на градежните материјали се различни од пресметаните големини.

Загубите на топлина од просторијата настануваат преку преградните површини на просторијата и поради одводот на топлината низ отворите на просторијата. Објектите за кои се нормирани податоците за пресметка на потребното количество на топлина за загревање се:

- станбени згради и установи,
- трговски магацини и стоковни куќи,
- училишта и концертни дворани,
- училници и касарни,
- хотели и работилници,
- детски градинки и друг вид.

4.1.1 ОСНОВИ НА ПРЕСМЕТКАТА

Потребното количество на топлина за загревање на просторијата изнесува:

$$Q_p = Q_o \cdot Z[W]$$

каде е:

$Q_o[W]$ – збир од сите топлинските загуби низ сите прегради на просторијата при најниска усвоена надворешна температура

Z – фактор со кој се зголемуваат загубите на топлина, а изнесува:

$$Z = 1 + Z_P + Z_A + Z_S$$

каде е:

Z_P – додаток поради прекин на ложење на објектот,

Z_A – додаток поради изедначување со ладните преградни површини,

Z_S – додаток на топлина поради положбата на просторијата во однос на страната на светот.

Со замена во првата равенка се добива:

$$Q_p = Q_o(1 + Z_P + Z_A + Z_S)[W]$$

4.1.2 ЗАГУБИ НА ТОПЛИНА ПОРАДИ ПРЕМИН НИЗ ПРЕГРАДНИТЕ СИДОВИ

За секој преграден сид се пресметуваат загубите на топлина според формулата за премин на топлината за стационарно струење:

$$Q_e = KA(t_v - t_n)[W]$$

Каде е:

$K\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$ – коефициент на пренос на топлина

$A[m^2]$ – површина на преградниот сид, кој може да биде прозорец, врата, сид, под, таван и секоја друга преграда на просторијата,

$t_v[^\circ C]$ – внатрешна температура во просторијата

$t_n[^\circ C]$ – надворешна или температура на соседната просторија

Загубите на топлина претставуваат збир од загубите низ сите прегради од просторијата:

$$Q_o = \Sigma Q_e [W]$$

Во пресметките се применуваат следните ознаки за преградите на просторијата:

ПЕ – единечен прозорец	ВН – надворешна врата
ПКК – прозорец - крило на крило	ВБ – балконска врата
ПД – двоен прозорец	СВ – внатрешен сид
ПДЗ – двојно застаклен прозорец	СН – надворешен сид
СЕ – единечен светларник	Т – таван
СД – двојно застаклен светларник	ПО - под
ВВ – внатрешна врата	

Вредностите за коефициентот на премин на топлина за различни прегради се дадени во табели, а кога не се дадени, тогаш се пресметуваат според равенката:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

каде е:

$\alpha_v \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ – коефициент на премин на топлина од воздухот во просторијата на внатрешната страна од преградата,

$\delta_i [m]$ – дебелина на преградата или на еден слој од преградата,

$\lambda_i \left[\frac{W}{mK} \right]$ – коефициент на топлинска спроводливост на преградата или на еден нејзин слој,

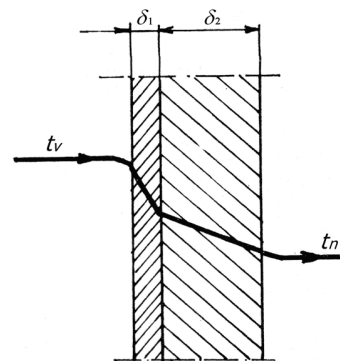
$\alpha_n \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ - коефициент на премин на топлина од надворешната страна на ѕидот на надворешниот воздух,

Табела Т4.1 Вредности за $\alpha_v \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ и $\alpha_n \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

У с л о в и	внатрешен α_v
за ѕидови, внатрешни прозорци, подови и тавани при пренесување на топлината оддолу нагоре	8,1
за подови и тавани при пренесување на топлината одгоре надолу	5,8
за надворешни прозорци	11,6
У с л о в и	надворешен α_n
на отворен простор	23,2

Пример за вежби: Да се определи коефициентот на пренос на топлина (K) за надворешен ѕид со два слоја даден на сл.4.1

- армиран бетон $\delta_1 = 10\text{cm}, \lambda_1 = 1,3 \frac{W}{mK}$
- стаклена волна $\delta_2 = 5\text{cm}, \lambda_2 = 0,04 \frac{W}{mK}$



Сл.4.1

4.1.3 ДОДАТОЦИ НА ТОПЛИНА

1. Добавок за прекин на ложењето (Z_p)

Овој додаток зависи од прекилот на загревањето на објектот и од факторот(D). Како топлинска карактеристика на една просторија според нормите се зема **средната топлинска пропустливост на сите преградни површини**. Доколку таа е поголема, дотолку помала е топлинската заштита; а ако има помала вредност тогаш топлинската заштита на просторијата е поголема. Оваа карактеристика се нарекува „**D – фактор**”, а се пресметува според раваката:

$$D = \frac{Q_o}{A_{vk}(t_v - t_n)} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

каде е:

$Q_o [W]$ – загуби на топлина од просторијата,

$A_{vk} [m^2]$ – вкупна површина од сите прегради на просторијата и

$(t_v - t_n) [K]$ – температурна разлика меѓу надворешната и внатрешната температура

2. Додаток за студени надворешни сидови (Z_A)

Големината на овој додаток се определува од дијаграм во зависност од големината на пресметаниот фактор (D).

3. Сврзани додатоците (Z_P) и (Z_A) во (Z_D)

Вредностите за овој додаток дадени се во следнава табела:

Табела Т.4.3 Додаток Z_D [%]

Начин на работа	D			
	0,116÷0,337	0,338÷0,802	0,803÷1,732	≥1,733
Непрекинато со ограничување во текот на ноќта	7	7	7	7
9÷12 часови прекин	20	15	15	15
12÷16 часови прекин	30	25	20	15

4. Додаток за страната на светот (Z_s)

Ако просторијата има еден надворешен сид, за определување на овој фактор меродавна ќе биде ориентацијата на тој сид, а ако просторијата има два надворешни сида, тогаш меродавна ќе биде ориентацијата на сидот со најнеповолната вредност.

Табела Т.4.4 Додаток Z_s [%]

Страна на светот	J	JZ	Z	SZ	S	SI	I	JI
Додаток	- 5	0	0	+ 5	+ 5	+ 5	0	- 5

5. Додаток за продирање на воздух поради ветер (Z_v)

Под дејство на ветер низ пукнатините на прозорците и вратите навлегува студен надворешен воздух со што се смалува температурата во просторијата што ја загреваме. Вредностите за овој додаток се дадени во долнава табела:

Табела Т.4.5 Додаток Z_v [%]

Вид на просторија		I	II	III	IV
Нормални подрачја	Засолнета положба	13	9	12	7
	Откриена положба	27	19	24	14
Ветровни подрачја	Засолнета положба	22	15	20	12
	Откриена положба	40	28	35	20

Во горната табела во колоната „вид на просторијата”, се подразбираат следниве случаи:

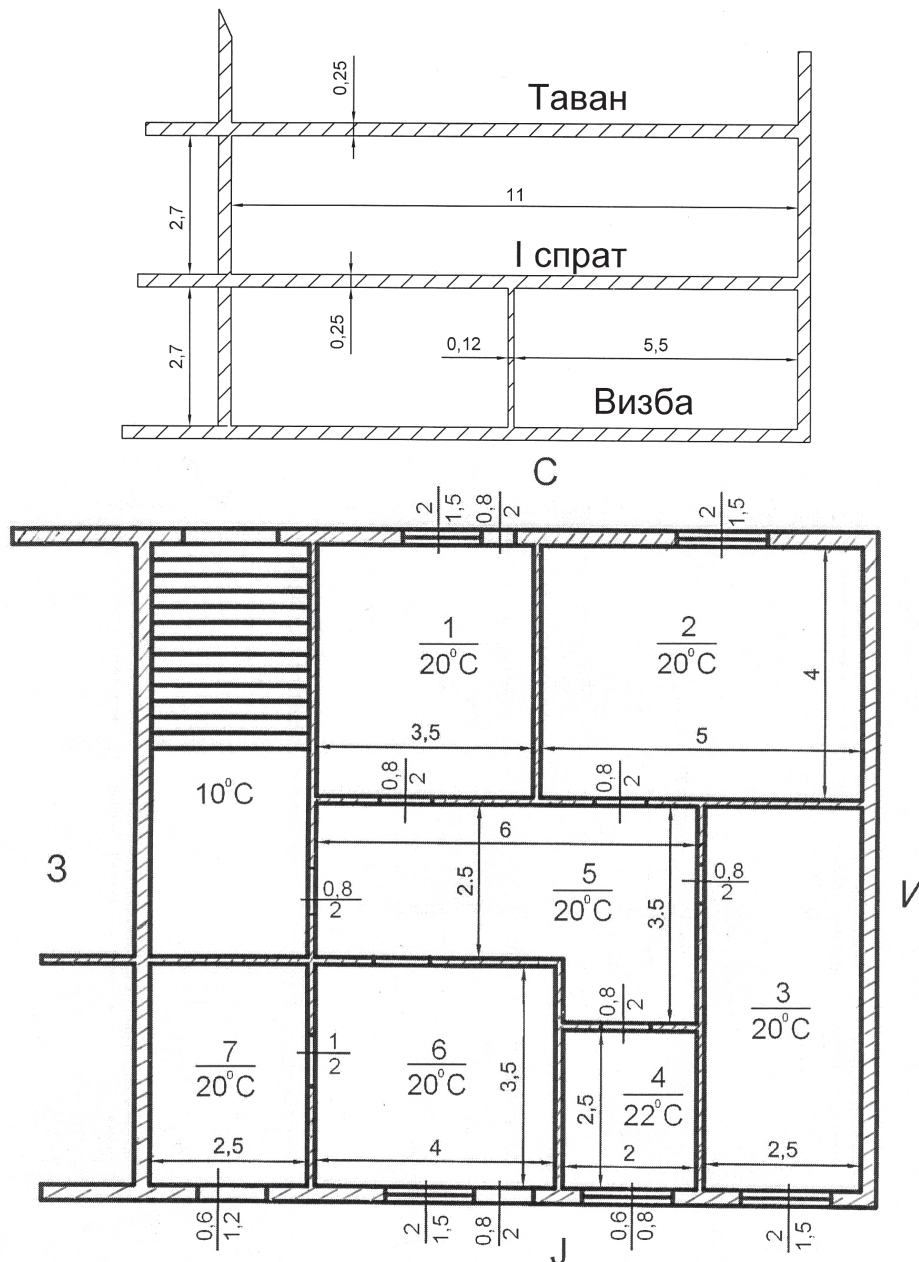
I случај: простории со еден надворешен ѕид,

II случај: простории на агол со прозорци или врати на еден надворешен ѕид,

III случај: простории на агол со прозорци или врати на двата ѕида,

IV случај: простории со прозорци на надворешни ѕидови кои лежат еден наспроти друг.

Пример 4.1: Да се определи потребното количество на топлина за загревање на просториите 1,2 и 3 на една зграда чија основа е дадена на сликата. Зградата се наоѓа во нормално ветровно подрачје, но има откриена положба. Се предвидува прекин на загревањето на објектот од траење 10 часа во текот на деноноќието.



Сл.4.2 Распоред на просториите

Останати податоци:

- надворешна проектна температура – 14 °C
- внатрешни проектни температури - дадени на сликата за секоја просторија
- температура во визбата 6 °C и
- температура на таванот – 6 °C (коефициентот на пренос на топлина за кровната конструкција $K = 2,0 \frac{W}{m^2 K}$)

Коефициентот на пренос на топлина е прикажан во следнава табела:

Табела Т.4.6 Коефициентот на премин на топлина

Коефициентот на пренос на топлина $K \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	
надворешен ѕид од тула со $\delta=25\text{cm}$, од двете страни малтерисан	1.98
внатрешен ѕид од тула со $\delta=12\text{cm}$, од двете страни малтерисан	2.2
внатрешна врата	2.9
врата балконска	2,3
дрвени двојно застаклени прозорци	2.3
таван	1.35
под	1.22

Пресметаната потребна количина на топлина за греење на секоја просторија се прикажува во посебна табела :

Ознака на просторијата	Страна на светот	Дебелина на ѕидот	Пресметка на површини						Пресметка на топлински загуби						Додатоци				Потребна топлина Q _P
			Должина	Висина или ширина	Површина	Количина	Бруто површина	За одвивање	Површина за песметката	Коефициент K	Температ Разлика Δt	K·Δt	Топлински загуби Q ₀	За прекин на ложење Z _p	За страна на свет Z _s	За ветер Z _v	Фактор на додатоци z		
1	-	cm	4	5	m ²	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	W	19
ПРОСТОРИЈА 1 +20°C																			
V = 37,8 m³																			
SH	C	25	3,5	2,7	9,45	1	9,45	4,6	4,85	1,98	34	67,32	326,5						
SB	J	12	3,5	2,7	9,45	1	9,45	1,6	7,85	2,2	0	0	0						
SB	И	12	4	2,7	10,8	1	10,8	0	10,8	2,2	0	0	0						
SB	3	12	4	2,7	10,8	1	10,8	0	10,8	2,2	10	22	237,6						
ПД	C	-	2	1,5	3	1	3	0	3	2,3	34	78,2	234,6						
BB	C	-	0,8	2	1,6	1	1,6	0	1,6	2,3	34	78,2	125,12						
BB	J	-	0,8	2	1,6	1	1,6	0	1,6	2,9	0	0	0						
П	-	0,25	3,5	4	14	1	14	0	14	1,22	14	17,08	239,12						
Т	-	1,25	3,5	4	14	1	14	0	14	1,35	26	35,1	491,4						
									68,5				1654,3		15	40	1,6		2646,9
ПРОСТОРИЈА 2 +20°C																			
V = 54,0 m³																			
SH	C	0,25	5	2,7	13,5	1	13,5	3	10,5	1,98	34	67,32	706,86						
SH	И	0,25	4	2,7	10,8	1	10,8	0	10,8	1,98	34	67,32	727,06						
SB	3	0,12	4	2,7	10,8	1	10,8	0	10,8	2,2	0	0	0						
SB	J	0,12	5	2,7	13,5	1	13,5	1,6	11,9	2,2	0	0	0						
ПД	И	-	2	1,5	3	1	3	0	3	2,3	34	78,2	234,6						
BB	J	-	0,8	2	1,6	1	1,6	0	1,6	2,9	0	0	0						
П	-	-	5	4	20	1	20	0	20	1,22	14	17,08	341,6						
Т	-	-	5	4	20	1	20	0	20	1,35	26	35,1	702						
									88,6				2712,1		15	28	1,48		4013,9

Ознака на просторијата	Страна на светот	Дебелина на ѕидот	Пресметка на површини						Пресметка на топлински загуби						Додатоци				Потребна топлина Q _P
			Должина	Висина или ширина	Површина	Количина	Бруто површина	За одбивање	Површина за песметката	Коефициент K	Температ разлика Δt	K·Δt	Топлински загуби Q ₀	За прекин на ложење z _p	За страна на свет z _s	За ветер z _v	Фактор на додатоци z		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
ПРОСТОРИЈА 3 +20°C																			
V = 41,31 m³																			
SB	C	12	2,5	2,7	6,75	1	6,75	0	6,75	2,2	0	0	0						
SH	I	25	6,12	2,7	16,52	1	16,52	0	16,52	1,98	34	67,32	1112,4						
SH	J	25	2,5	2,7	6,75	1	6,75	3	3,75	1,98	34	67,32	252,45						
SB	3	12	2,5	2,7	6,75	1	6,75	0	6,75	2,2	-2	-4,4	-29,7						
SB	3	12	3,5	2,7	9,45	1	9,45	1,6	7,85	2,2	0	0	0						
BB	3	-	0,8	2	1,6	1	1,6	0	1,6	2,9	0	0	0						
ПД	J	-	2	1,5	3	1	3	0	3	2,3	34	78,2	234,6						
T	-	-	6,12	2,5	15,3	1	15,3	0	15,3	1,35	26	35,1	537,03						
Π	-	-	6,12	2,5	15,3	1	15,3	0	15,3	1,22	14	17,08	261,32						
									76,82				2368,1	15	0	28	1,43	3386,4	

$$D = \frac{Q_0}{A_{yk} \cdot (t_v - t_n)}$$

$$D = \frac{2368,1}{76,82 \cdot 34} = 0,9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

4.2 ГРЕЈНИ ТЕЛА

Покривањето на топлинските загуби може да биде од:

1. **Директен извор на топлина (печки и камини)** – во кои процесот на согорување се изведува во самата просторија што се затоплува и
2. **Индиректен извор на топлина (централно греење)** – каде процесот на согорување се изведува на едно место (во котларницата), а затоплувањето се врши на целиот објект. Оддавањето на топлината се врши преку загревни тела (радијатори), а носител на топлината може да биде: вода, пара или воздух.

За централно греење се употребуваат:

1. **Цевни радијатори** – составени од цевка свиткана во вид на спирала или во форма на цевен регистар.



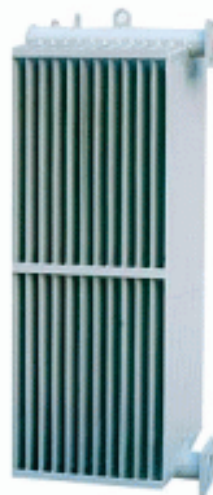
Сл.4.3 Цевно грејно тело во форма на спирала



Сл.4.4 Цевно грејно тело во форма на цевен регистар

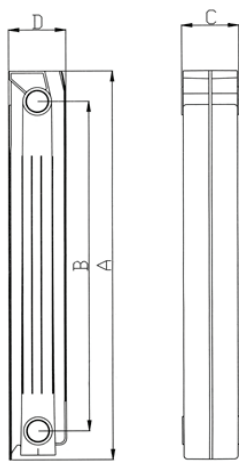


2. **Плочести радијатори** – соствени од две полустрани од лим, меѓусебно сврзани со пресување. Се користат за споредни простории,



Сл.4.5 Плочест радијатор

3. Радијатори со елементи – се изработуваат од сиво леано железо, челичен лим или со леење под притисок од алуминиумски легури. Елементите на радијаторот меѓусебно се поврзуваат со т.н. нипли. Бројот на елементите на радијаторот зависи од пресметаните топлински загуби.

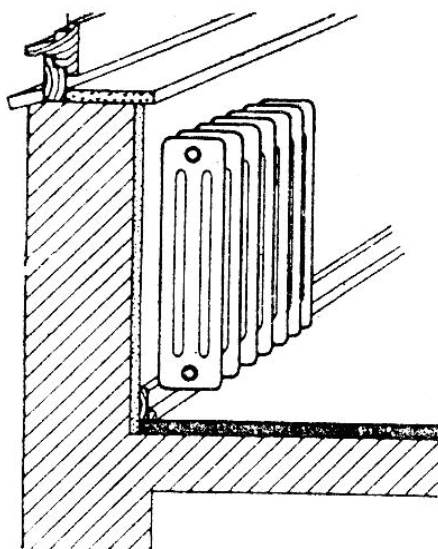


Сл.4.6 Алуминиумски радијатор „Алгрета“ Ресен

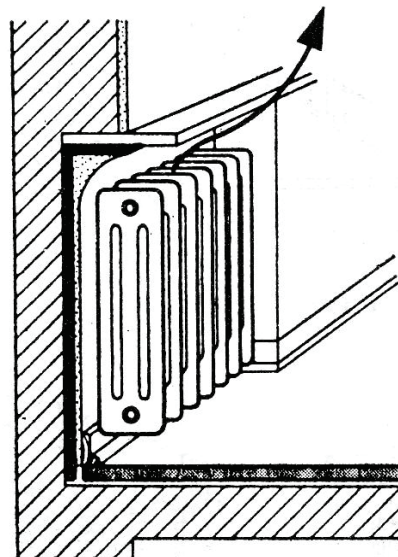
Сл.4.7 Панел радијатор

4.2.1 ПОСТАВУВАЊЕ НА РАДИЈАТОРИТЕ

Радијаторите обично се поставуваат под прозорците или под прозорските штици, бидејќи таму се најголемите загуби на топлина.



Сл.4.8 Радијатор поставен под прозорец

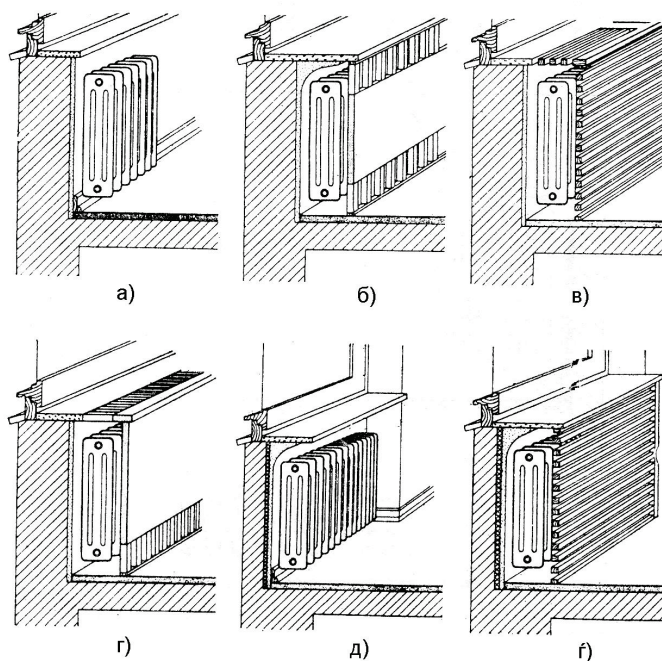


Сл.4.9 Радијатор поставен под прозорска штица

Ладниот воздух кој навлегува низ прозорците се меша со топлиот воздух кој се крева од радијаторите и така ја менува насоката на движење. При такво струење на измешаниот воздух не се сетува промајата, ниту струењето на воздухот по нозете.

4.2.2 МАСКИРАЊЕ НА РАДИЈАТОРИТЕ

Маскирањето се врши со цел да се добие поубав естетски изглед во просторијата, а од техничка гледна точка со маскирањето се смалува оддавањето на топлината во просторијата (сл.4.10). Намалувањето на оддавање на топлината во зависност од маската изнесува од 5% (сл.4.10 б), до 30% прикажано на сл.4.10 г. Доколку е можно треба да се избегнува маскирањето на радијаторите.



Сл.4.10 Маскирање на радијаторите

4.2.3 ПРЕСМЕТКА НА РАДИЈАТОРИТЕ

Грејната површина на радијаторот или бројот на елементи на радијаторот се определува врз основа на пресметаното потребно количество на топлина за загревање на просторијата.

Топлината што треба да ја предаде радијаторот во просторијата се пресметува според равенката:

$$Q_R = KA_R(t_F - t_0)[W]$$

каде е:

$A_R [m^2]$ - грејна површина на радијаторот,

$K \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ - коефициент на пренос на топлина на радијаторот,

$t_F [^{\circ}C]$ - средна температура на грејниот флуид и

$t_0 [^{\circ}C]$ - температура на атмосферскиот воздух (надворешна температура)

Греен флуид може да биде: водена пара, топла вода или во поново време и други течности, а тоа се специјални масла.

За течен флуид средната температурна разлика се зема како аритметичка средина меѓу температурата на течноста на влезот и излезот од радијаторот:

$$t_F = \frac{t_{Fv} + t_{Fi}}{2} [^{\circ}C]$$

Каде е:

$t_{Fv} [^{\circ}C]$ - температура на водата на влезот во радијаторот,

$t_{Fi} [^{\circ}C]$ - температура на водата на излезот од радијаторот

за водно греење изнесуваат:

$$t_{Fv} = 90^{\circ}C, \quad t_{Fi} = 70^{\circ}C, \quad t_0 = 20^{\circ}C, \quad \Delta t = 60^{\circ}C$$

Бидејќи коефициентот на премин на топлина (K) зависи од (Δt), за некои други температурни услови (Δt '), треба да се изврши корекција на (K') спрема друга температурна разлика.

Корекцијата се врши според изразот:

$$K' = K \left(\frac{\Delta t'}{\Delta t} \right)^{0,35}$$

Од горните податоци може да се пресмета грејната површина на радијаторот:

$$A_R = \frac{Q_R}{K \Delta t} [m^2]$$

Ако грејната површина на радијаторот е пресметана, а грејната површина на еден елемент од радијаторот ја дава производителот на радијаторот, тогаш може да се пресмета бројот на потребните елементи на радијаторот:

$$n = \frac{A_R}{A_E},$$

n - број на елементи

Табела Т.4.7 Податоци за алуминиумски леени радијатори „АЛГРЕТА“ Ресен

Вид на радијатор	Димензии на радијаторот [mm]				Тежина на еден елемент [kg]	Содржина на вода во еден елемент [lit]	Топлинска моќ на еден елемент при $\Delta t = 70^{\circ}C$ [W]	Топлинска моќ на еден елемент при $\Delta t = 60^{\circ}C$ [W]	Топлинска моќ на еден елемент при $\Delta t = 40^{\circ}C$ [W]
	A	B	C	D					
R-610/80	690	610	80	95	1,97	0,58	182	169	125
R-610/60	690	610	60	95	1,89	0,56	172	135	98
R500/60	580	500	60	95	1,64	0,49	145	130	95

Димензиите на табелата се соодветни со сл. 4.6

Пример за вежби:

За вградување е одбран радијатор производ на „Алгрета“ тип R – 500. Да се определи бројот на елементи, ако за загревање на просторијата е потребна $7500 \frac{kJ}{h}$

топлина при следните работни услови:

- влезната температурата на водата е 120°C
- излезната температура на водата е 60 °C
- температурата во просторијата е 18 °C

4.3 СИСТЕМИ НА ГРЕЕЊЕ

Според носителот на топлина, централното греење може да биде: со вода, со пара, со воздух и комбинирано греење.

4.3.1 ВОДНО ГРЕЕЊЕ

Кај ова греење носител на топлина е водата, која може да биде топла или врела вода при загревањето.

I. Според начинот на изведувањето, притисокот и температурата на водата, водното греење се дели на:

1. Греење со топла вода – претставува отворен систем на водно греење кај кое највисоката точка од системот, а тоа е експанзивниот сад, е во врска со атмосферата. Температурата на водата на секој дел од овој систем мора да биде пониска од температурата на испарување на тој притисок. Кај овој систем температурата на водата се движи од 85 – 95°C

2. Греење со врела вода – затворен систем што работи со повисока температура од 110°C.

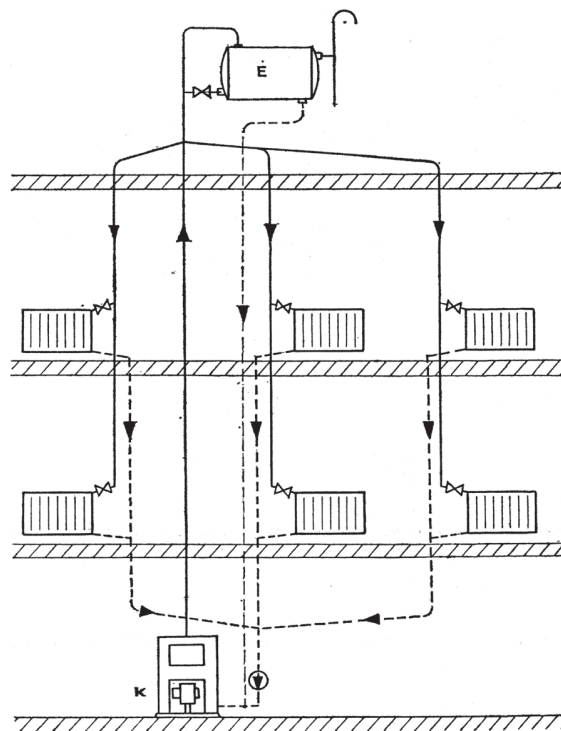
II. Според начинот на кој се постигнува циркулација на водата во системот, водното греење се дели на:

1. Гравитационо греење – кај кое циркулацијата на водата во системот за греење се постигнува поради разликата во специфичните тежини на повратната вода (што струи од радијаторите кон котелот) и разводната вода (што струи кон радијаторите) и

2. Пумпно греење – кај кое циркулацијата на водата во системот се постигнува со поставување на пумпа.

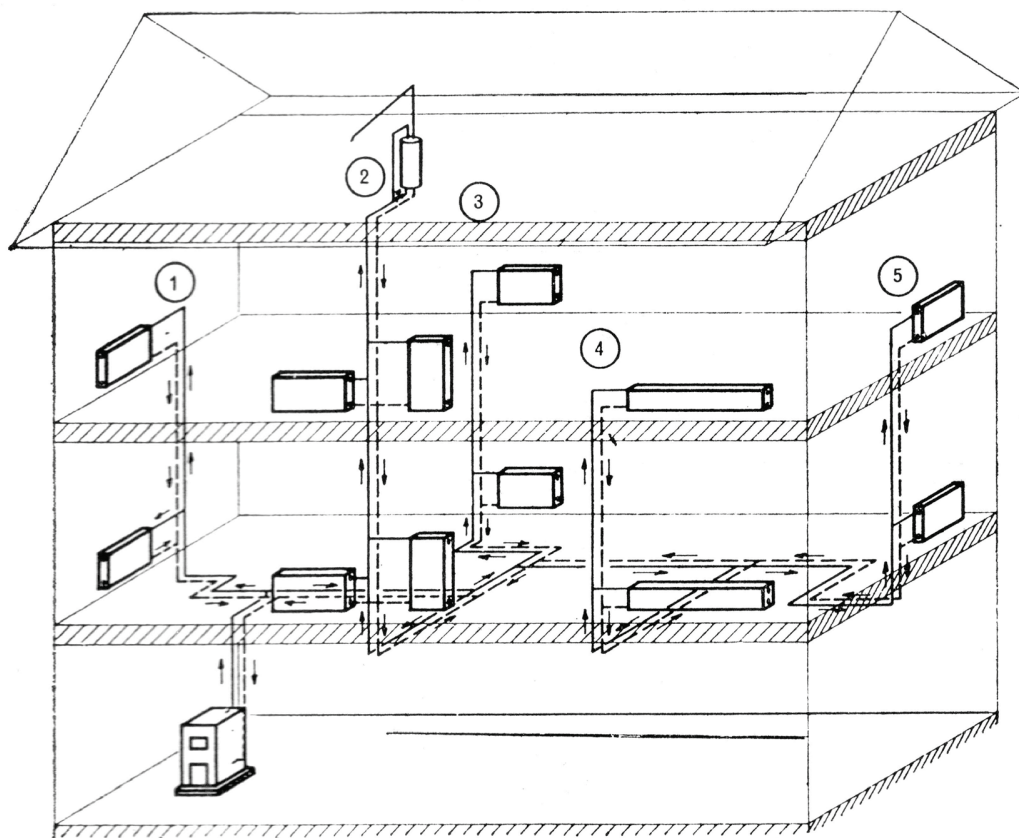
III. Според начинот на разводување на водата постои:

1. Водно греење со горен развод – кај кое главната разводна цевка се наоѓа над највисоко поставениот радијатор (на таванот), а оттаму се разведува до радијаторите преку вертикални цевки (Сл. 4.11).

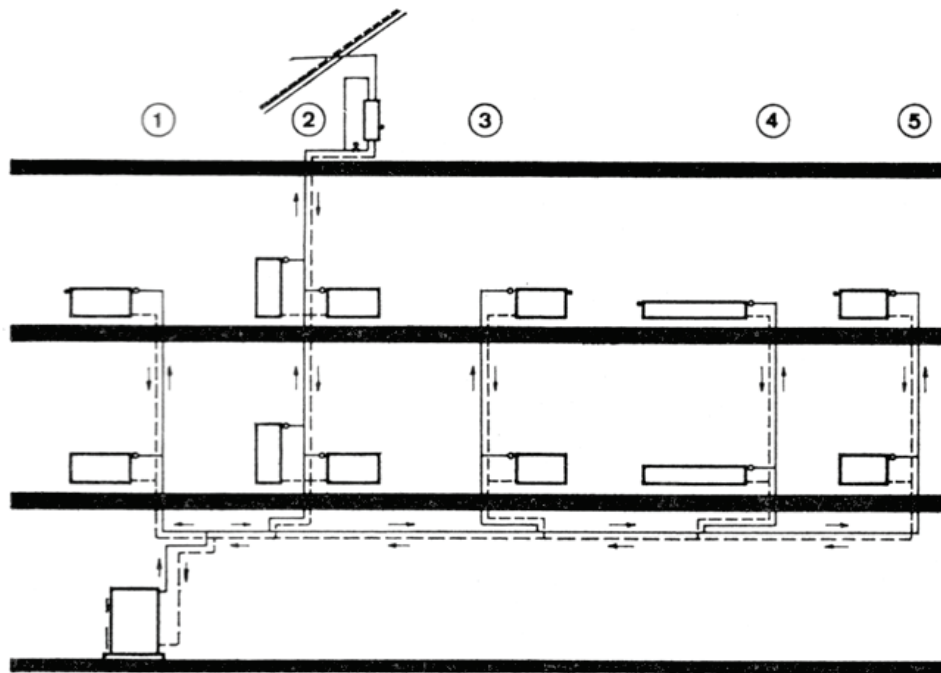


Сл.4.11 Водно греење со горен развод

2. Водно греење со долен развод – кај кое главната хоризонтална разводна цевка е поставена под најниско поставениот радијатор (во визбата), а од неа се одделуваат вертикални цевки кои ја носат водата до радијаторите (сл. 4.12).



Сл.4.12 Водно греење со долен развод – просторен изглед



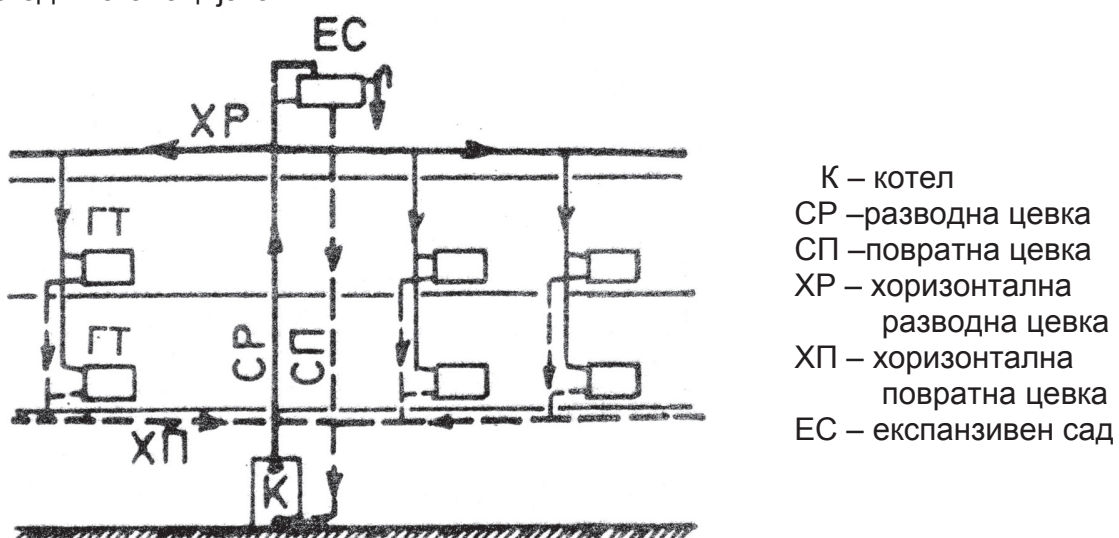
Сл.4.13 Шема на водно гревање со долен развод

Регулацијата на системите за водно гревање може да биде:

1. **Централна** – која се врши со регулација на согорувањето на горивото во котелот, односно со регулација на температурата на разводната вода, а во согласност со надворешната температура и
2. **Локална регулација** - која се врши со регулација на протокот на вода со помош на вентилите пред радијаторите според желбите на корисникот.

4.3.1.1 ВОДНО ГРАВИТАЦИОНО ГРЕЕЊЕ

Кај овој систем на водно гревање котелот мора да биде поставен на најниската точка од инсталацијата.



Сл.4.14 Шема на водно гравитационо гревање - систем со горен двоцевен развод

Силата која создава циркулација на водата во системот настанува поради разликата во специфичните тежини на водата во повратната и разводната цевка. Во техниката на греењето таа сила се нарекува **напор**, а се пресметува според равенката:

$$p_H = H(\gamma_p - \gamma_r) = Hg(\rho_p - \rho_r)[Pa]$$

кад е:

$p_H [Pa]$ – напор (притисок) потребен за циркулација на водата во системот,

$H [m]$ – висинска разлика од средината на котелот до средината на радијаторот,

$\gamma_p \left[\frac{N}{m^3} \right]$ – специфична тежина на повратната вода,

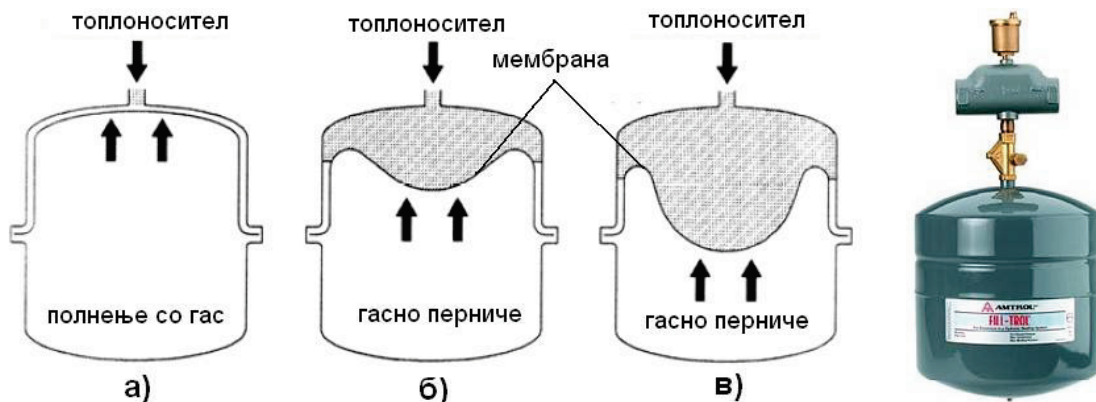
$\gamma_r \left[\frac{N}{m^3} \right]$ – специфична тежина на разводната вода,

$\rho_p \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ – густина на повратната вода,

$\rho_r \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ – густина на разводната вода,

$g \left[\frac{m}{s^2} \right]$ – земјино забрзување

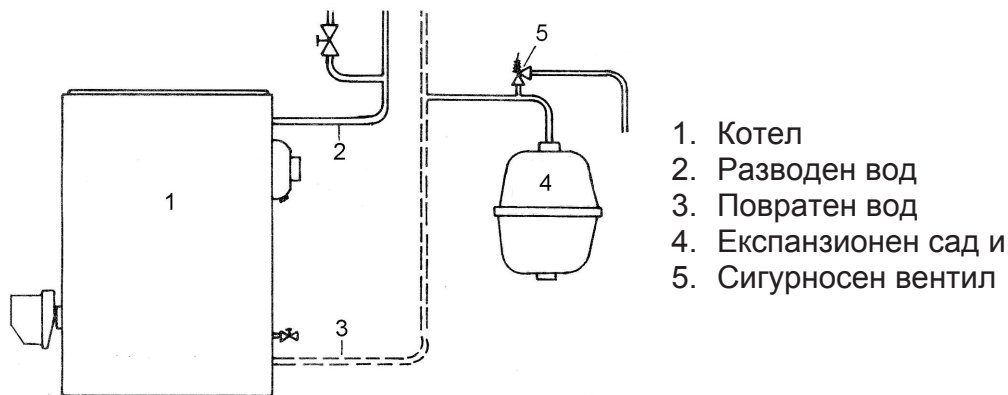
Секое водно греење има експанзивен сад, чија задача е да овозможи непречено ширење на водата при нејзиното загревање. Обичните системи за греење имаат експанзивен сад кој е во врска со атмосферата, додека во системите каде разводната вода има температура повисока од $100^\circ C$, експанзивниот сад е затворен и нема врска со атмосферата.



Сл.4.15 Пресек и изглед на експанзионен сад со мембрана

Експанзиониот сад со мембрана е затворен сад исполнет со азот кој при испорака е под притисок од 3 bar (сл.4.15 а). Просторот со гас од просторот со течност (топлоносителот) е одвоен со мембрана која во ладна состојба изгледа како на сл.4.15 б. Со зголемување на температурата на теплоносителот мембраната се шири и добива форма како на сл.4.15в.

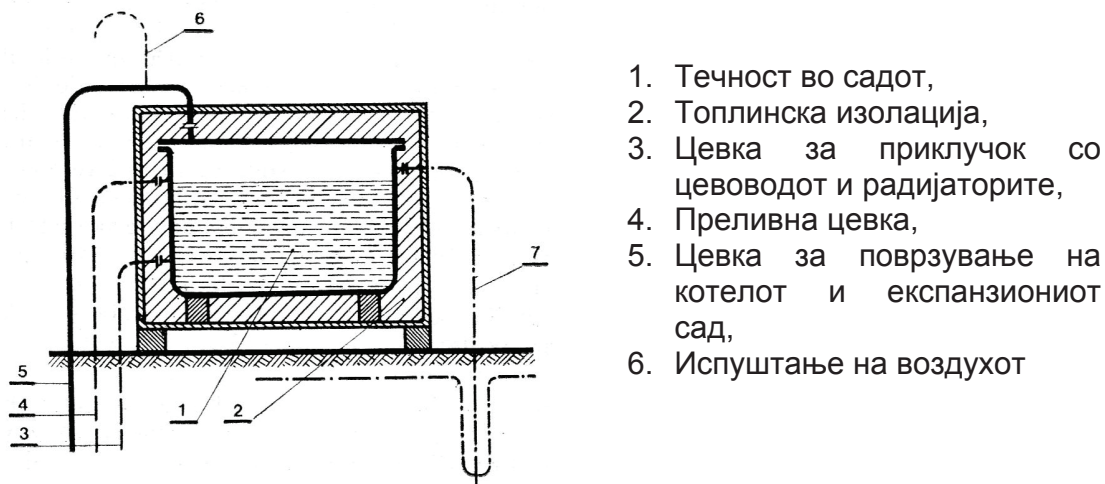
Во затворените системи на греење експанзиониот сад се приклучува на повратниот вод (сл. 4.16).



Сл.4.16 Поставување на експанзионен сад на повратниот вод

На сл.4.17 е прикажан експанзионен сад за отворен систем на греење.

Експанзивниот сад е обложен со изолација, која ја заштитува водата од замрзнување. Цевката (3) експанзиониот сад го поврзува со инсталацијата и радијаторите. Цевката (4) е преливна цевка и овозможува одведување на вишокот на вода од резервоарот. Оваа цевка треба да се доведе во котларницата и да се вклучи во приклучокот на канализацијата. Кога ќе протече вода од оваа цевка, котларот добива сигнал дека инсталацијата е полна со вода. Преку цевката (5) котелот е поврзан со експанзиониот сад. Цевката (5) служи како сигурносен вентил, односно го осигурува котелот од непредвидените притисоци. На оваа цевка се поставува елемент за испуштање на воздухот. Над дозволената висина на течноста во садот може да се предвиди вод за испуштање на воздухот од садот (7).



Сл.4.17 Шема на експанзионен сад за отворен систем на греење

Кај овие системи инсталацијата преку водовите за испуштање на воздухот е поврзана со атмосферата. Затоа овие системи се наречени отворени системи.

4.3.2 ПУМПНО ГРЕЕЊЕ

Кај системите за водно греење кај кои гравитациониот напор неможе да ги совлада отпорите при струењето на водата и притоа да обезбеди циркулација на водата во системот, во разводната или во повратната цевка се поставува пумпа.

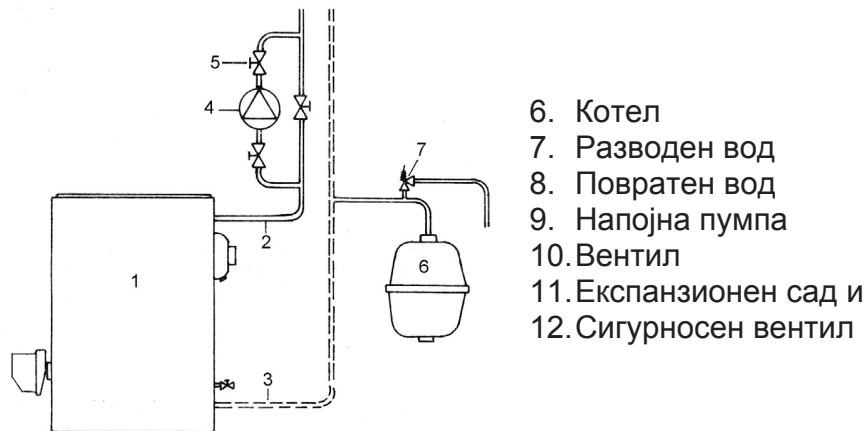
Предностите на ова греење во однос на гравитационото се:

- цевките имат помал дијаметар, а со тоа се и поевтини,
- полесна е конструктивната изведба,

- полесно се регулира со помош на термостат,
- радијаторите можат да се постават произволно во однос на котелот.

Недостатоците на ова греење се:

- зголемени се трошоците бидејќи за погон на пумпата се троши енергија,
- функционирањето на системот секогаш зависи од дополнителна енергија,
- при работата на пумпата се јавуваат шумови.



Сл.4.16 Поставување на напојна пумпа во мрежа на пумпно греење

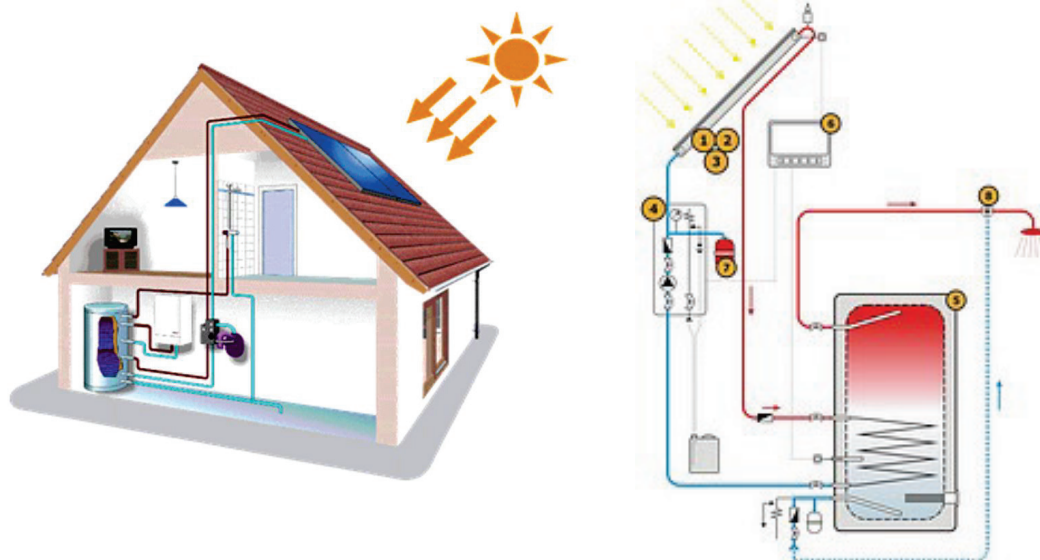
Распоредот на елементите кај ова греење е ист како и кај гравитационото греење. Особено се внимава на испуштањето на воздухот бидејќи тоа е отежнато со зголемувањето на брзината на струење на водата. Поради тоа се оди на проширување на цевките во горните водови за да се смали брзината на струењето и на тој начин се олеснува одделувањето на воздухот.

Со цел да се обезбеди сигурност во работата, во случај на откажување на пумпата, во системот се вградуваат две пумпи паралелно врзани кои можат секогаш да се исклучат со поставување на вентили пред и зад пумпата.

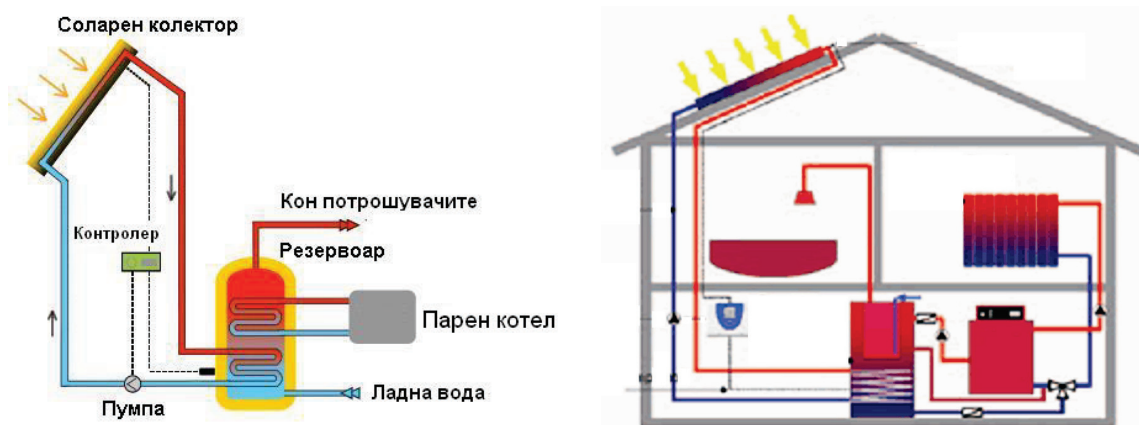
4.3.3 КОМБИНИРАНО ТОПЛОВОДНО СО СОЛАРНО ГРЕЕЊЕ

Со поскапувањето на класичните извори на енергија сè повеќе се бараат нови извори на енергија, меѓу кои важно место заема сончевата енергија. Нашето поднебје располага со голем број на сончеви денови во годината, па според тоа и примената на сончевата енергија е оправдана.

Сончевата енергија претежно се користи за загревање на санитарна вода во домаќинствата (сл.4.17). Доколку се изврши притоплување со топла вода од парниот котел може да се искористи и за загревање на станбените простории (сл.4.18).



Сл.4.17 Соларен систем за затоплување на санитарна вода



Сл.4.18 Соларно-воден систем за централно греење

4.3.4 ПАРНО ГРЕЕЊЕ

Ако загревањето на просториите се врши со помош на водена пара, тогаш греењето се вика парно греење. Притоа треба да се истакне дека грејниот флуид при оддвањето на топлината ја менува својата агрегатна состојба.

Според притисокот кој владее во инсталацијата, парното греење се дели на:

- парно греење со низок притисок до 0,5 bar,
- парно греење со висок притисок над 0,5 bar и
- вакуумско парно греење кое кај нас не се користи.

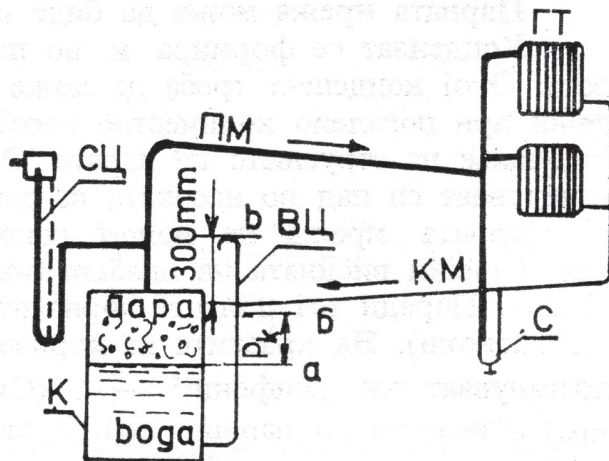
4.3.4.1 ПАРНО ГРЕЕЊЕ СО НИЗОК ПРИТИСОК

Кај ова греење пареата ја произведува парниот котел (К) од каде преку парната мрежа (ПМ) се доведува до грејните тела (ГТ). Во грејните тела пареата оддава топлина на околниот воздух во просторијата и притоа кондензира. Добиениот кондензат со помош на кондензната мрежа (КМ) се враќа назад во котелот.

За да се спречи доаѓање на пареа од парната во кондензната мрежа, а притоа да не кондензира, на излезот од радијаторите се поставуваат сопирачи на пареа кои ја задржуваат пареата додека истата не кондензира.

Со цел да се оезбеди правилна и сигурна работа на системот за нископритисно парно греење, во инсталацијата се поставува:

- **водопоказно стакло** со кое се контролира нивото на водата во котелот,
- **манометар** – со кој се контролира натпритисокот на пареата во котелот,
- **сигурносна цевка (СЦ)** – во која се наоѓа столб на вода повисок од работниот притисок во котелот,
- **сифон (С)** – што има задача создадениот кондензат во парната мрежа да го префрли во кондензната мрежа.



- К – котел,
- ПМ - парна мрежа,
- ГТ - грејни тела,
- КМ - кондензна мрежа,
- ВЦ – вентилациона цевка,
- СЦ - сигурносна цевка и
- С - сифон

Сл.4.19 Основна шема на нископритисно парно греење

4.3.5 ВОЗДУШНО ГРЕЕЊЕ

Кај ова греење носител на топлината е воздухот.

Според начинот на загревање на воздухот, воздушното греење може да биде:

1. **Директно** – кај кое воздухот се загрева од изворот на топлина откаде што се уфрлува директно или преку канали во просторијата која се загрева. Ова загревање може да се изведува со цврсто, течно или гасовито гориво, како и со електрични печки,
2. **Инди­ректно** – кај кое воздухот се загрева со помош на грејачи кои од друга страна се загреани со вода или пареа.

Според начинот на циркулацијата на воздухот, воздушното греење може да биде:

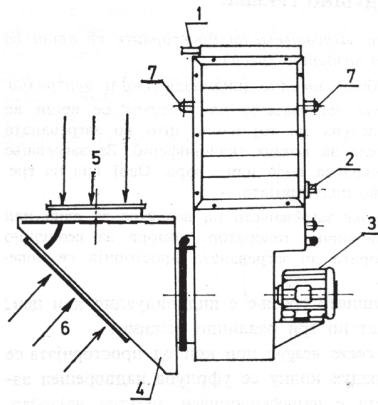
1. **Природно** – кај кое воздухот циркулира поради разликата во специфичните тежини, односно температурите и
2. **Присилно** – кај кое циркулацијата на воздухот се оставрува со помош на вентилатор

Според местото на загревањето на воздухот тоа може да биде:

1. **Индивидуално загревање** – кај кое секоја просторија има свој загревач на воздух и
2. **Централно загревање** – кај кое повеќе простории се загреваат со топол воздух кој се загрева на едно место во централна комора и

Според составот на воздухот, воздушното греење може да биде со:

1. **Свеж воздух** – кога во загревачот или во комората се доведува само свеж воздух од атмосферата,
2. **Рециркулационен воздух** – кога во загревачот се доведува целото количество на воздух од загреаната просторија и
3. **Мешан воздух** – кога во загревачот се доведува свеж воздух од атмосферата и воздух кој се извлекува од загреаната просторија и заедно се мешаат, загреваат и повторно се враќаат во просторијата.



1. влез на носителот на топлина (вода, пара),
2. излез на носителот на топлина,
3. електромотор со вентилатор,
4. кутија за мешање,
5. влез на надворешен воздух,
6. влез на рециркулационен воздух кој се извлекува од загреаната просторија,
7. куки за обесување на калориферот и
8. излез на загреан воздух од калориферот и влез во просторијата што се загрева.

Сл.4.20 Сиден калорифер

Прашања за повторување:

- Кои флуиди се применуваат за централно греење ?
- Според начинот на циркулацијата на водата во системот како се делат системите за водно греење?
- Наброј ги предностите и недостатоците на централното греење?
- Колкава е температурата кај вреловодното греење?
- Од што зависи бројот на елементите на радијаторот?
- Кој систем е наречен систем со горен развод?
- Каде најчесто се поставуваат радијаторите?
- Кога ќе се примене пумпа во системот за греење?
- Која е задачата на експанзиониот сад во системот за водното греење?
- Што е карактеристично за грејниот флуид кај парното греење?

5. ПАРНИ ТУРБИНИ

ЦЕЛИ

Ученикот треба да:

- ја познава трансформацијата на енергијата во парната турбина;
- го сфати дејството на пареата врз роторските лопатки;
- сознае за млазниците и каналите помеѓу статорските и роторските лопатки;
- разликува акционо и реакционо дејство на пареата врз лопатките;
- применува дијаграм за водена пареа при пресметките на брзината на истекување на пареата;
- врши класификација на парните турбини според бројот на степени и начинот на испуштање на искористената пареа;
- проценува ефикасност на парната турбина во однос на другите погонски машини;
- објаснува потреба и начини на регулација на моќта на парните турбини;
- ја согледува улогата на кондензаторот и притисокот кој владее во него и
- ја истакне зависноста на моќта на турбината од притисокот кој владее во кондензаторот.

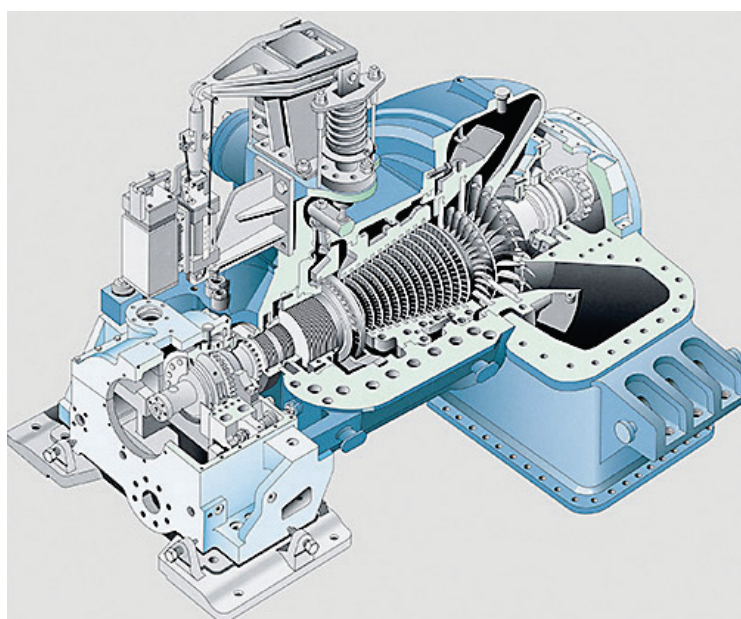
5. ПАРНИ ТУРБИНИ

Во термоенергетските постројки со водена параа како работен медиум, доаѓа до претворање на хемиски врзаната енергија во горивото во топлинска, топлинската во механичка енергија и механичката во електрична енергија.

Како примарни форми на енергија најчесто се применуваат:

- јагленот,
- течни горива и
- гасни горива.

Со оглед на изворот на енергијата, се разликуваат и деловите и уредите во кои се ослободува топлина. Вообичаено името **котел** одговара за помали единици, а за големите единици посоодветен е поимот **парогенератор** кој ги вклучува и помошните уреди.



Сл.5.1 Пресек на парна турбина

Во парните постројки работен медиум е водената параа. Во текот на процесот агрегатната состојба на водата се менува од течна во гасовита и обратно, па затоа покрај парната турбина се потребни парогенератор, напојна пумпа, загревач на напојната вода и кондензатор. Процесите со водена параа најчесто се применуваат во постројките за производство на електрична или топлинска енергија или за погон на бродови

5.1 ОПШТ ПОИМ ЗА ПАРНИТЕ ТУРБИНИ

Парните турбини се погонски топлински машини со посредно или индиректно претворање на топлинската енергија во механичка работа.

Од ова произлегува дека работниот процес во парната турбина се состои од два дела:

1. Претворање на потенцијалната енергија на пареата со висок притисок и висока температура во кинетичка, што се врши во млазници (кај акционите) или статорски лопатки (кај реакционите) турбини, во кои

- пареата експандира и притоа притисокот на пареата се смалува, а за сметка на тоа брзината на истекување на пареата се зголемува и
2. Претворање на кинетичката енергија во механичка работа во лопатките на роторот на турбината, што се врши на тој начин што млазот на пареа струи со голема брзина во меѓупросторот на роторските лопатки. Поради закривеноста на лопатките, млазот на пареа скршнува и притоа дејствува врз лопатките со што ги задвижува.

5.1.1 ГЛАВНИ ДЕЛОВИ НА ПАРНИТЕ ТУРБИНИ

Парните турбини се составени од следниве делови:

1. **Млазници** – кои имаат за задача потенцијалната енергија на пареата да ја претворат во кинетичка и млазот на пареата да го насочат во просторот помеѓу роторските лопатки,
2. **Ротор со лопатки** – ја презема работата од пареата и ја предава на вратилото. Роторот во топла состојба е навлечен и со клин прицврстен за вратилото,
3. **Вратило** – ја пренесува моќта и вртежниот момент. Се потпира на лежишта кои се наоѓаат надвор од куќиштето на турбината,
4. **Куќиште (статор)** – е неподвижен дел на турбината кој го затвора работниот простор на турбината. Се состои од два дела кои преку прирабници меѓусебно се сврзуваат со завртки и навртки. Над куќиштето се поставува изолационен материјал и се покрива со бел лим,
5. **Лопатки** – кои можат да бидат:
 - **статорски** – што имаат задача да ја насочат пареата во меѓупросторот на роторските лопатки (кај акционите), а кај реакционите покрај насочувањето и за експанзија на пареата и
 - **роторски** – во кои кинетичката енергија со скршнувањето на млазот на пареа се претвора во механичка енергија со вртење на роторот,
6. **Лежишта** – кои го носат вратилото, а се поставуваат на темелна плоча надвор од куќиштето за да не се загреваат. Од нив се бара да бидат бесшумни во работата, точно центрирани, долготрајни и да можат да се подесуваат,
7. **Затинки** – кои се поставуваат на местата каде вратилото излегува од куќиштето, а со цел да го спречат излезот на пареата од турбината или влезот на надворешниот воздух во оние делови на турбината во кои владее потпритисок.

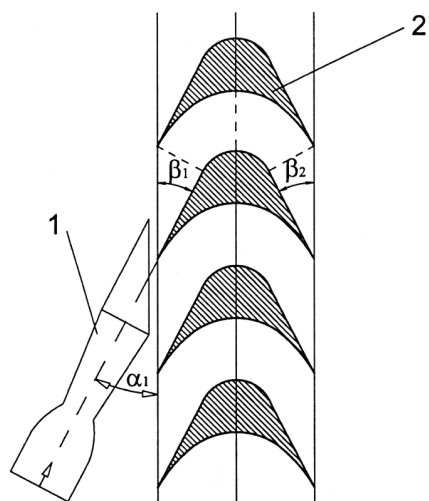
5.1.2 ПОДЕЛБА НА ПАРНИТЕ ТУРБИНИ

Парните турбини се делат според:

- начинот на искористување на пареата,
- бројот на степени,
- начинот на испуштање на искористената пареа,
- насоката на струење на пареата во однос на вратилото,
- намената.

- I. Според начинот на искористување на пареата се делат на:

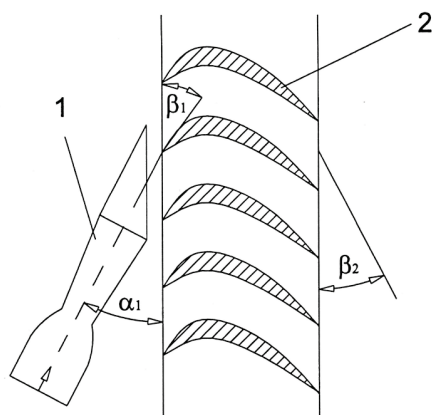
1. Акциони – кај кои пареата експандира само во млазниците формирани од статорски лопатки и затоа притисокот на пареата пред роторските лопатки е еднаков на притисокот зад нив.



1 - млазница,
2 - роторска лопатка,
 α_1 - агол на влезната брзина на пареата во млазницата,
 β_1 - агол на влезната брзина на пареата во лопатките и
 β_2 - агол на излезната брзина на пареата од лопатките
 $\beta_1 = \beta_2$

Сл.5.1 Акциона турбина и облик на лопатките

2. Реакциони – кај кои пареата експандира во млазниците формирани од статорските лопатки и во меѓулопатичките канали формирани од роторските лопатки, затоа притисокот на пареата пред роторските лопатки е поголем од притисокот зад нив.



1 – млазница,
2 – роторска лопатка,
 α_1 – агол на излезната брзина од млазницата,
 β_1 – агол на влезната брзина во лопатките и
 β_2 – агол на излезната брзина од лопатките

Сл.5.2 Реациона турбина и облик на лопатките

3. Комбинирани – кои се составени од акциони и реакциони турбински степени поставени на исто вратило.

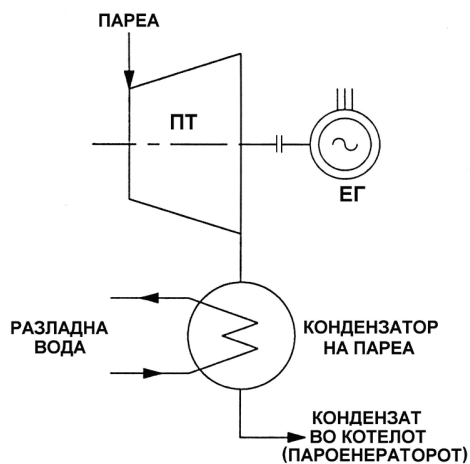
II. Според бројот на степените се делат на:

1. Едностепенни – кај кои пареата експандира само еднаш и нејзината енергија се искористува во еден ред на роторски лопатки и

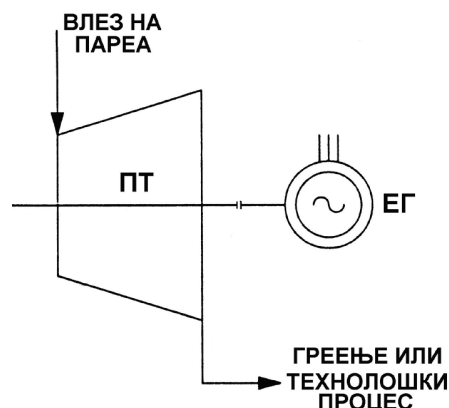
2. Повеќестепенни – кај кои пареата експандира во повеќе турбински степени (степенот го сочинува еден ред статорски или неподвижни лопатки и еден ред роторски или подвижни лопатки).

III. Според начинот на испуштање на искористената пара се делат на:

1. **Кондензациски** – кај кои искористената пара се одведува во кондензатор каде се претвора во вода и повторно се враќа во парогенераторот,



Сл.5.3 Кондензациска турбина
односно котелот (сл.5.3).

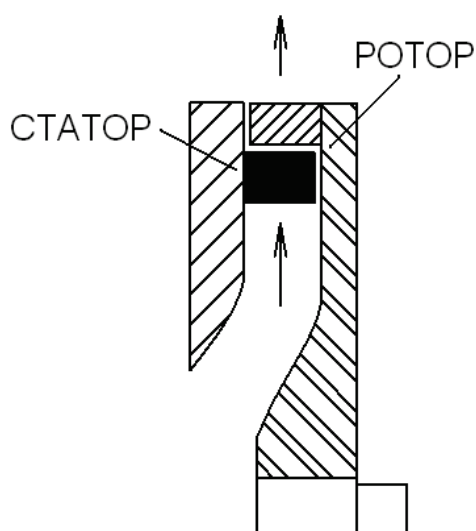


Сл.5.4 Противпритисна турбина

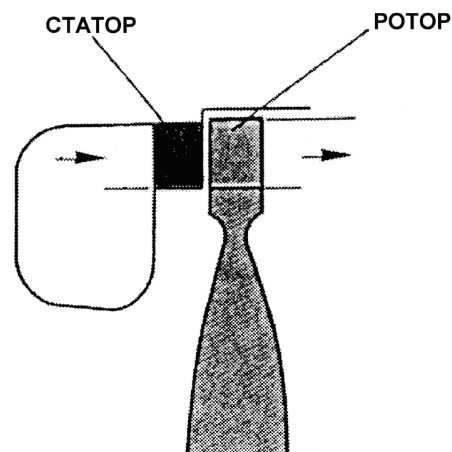
2. **Противпритисни турбини** – кај кои пареата делумно експандира во парната турбина и добиената механичка енергија се користи за производство на електрична енергија, а преостанатата енергија на пареата се користи за други цели: греење или во некој технолошки процес. (сл.5.4)

IV. Според насоката на струењето на пареата во однос на вратилото се делат на:

1. **Радијални** - кај кои пареата струи нормално на оската на вратилото на турбината (сл.5.5),



Сл.5.5 Струење на пареата низ
радијална турбина

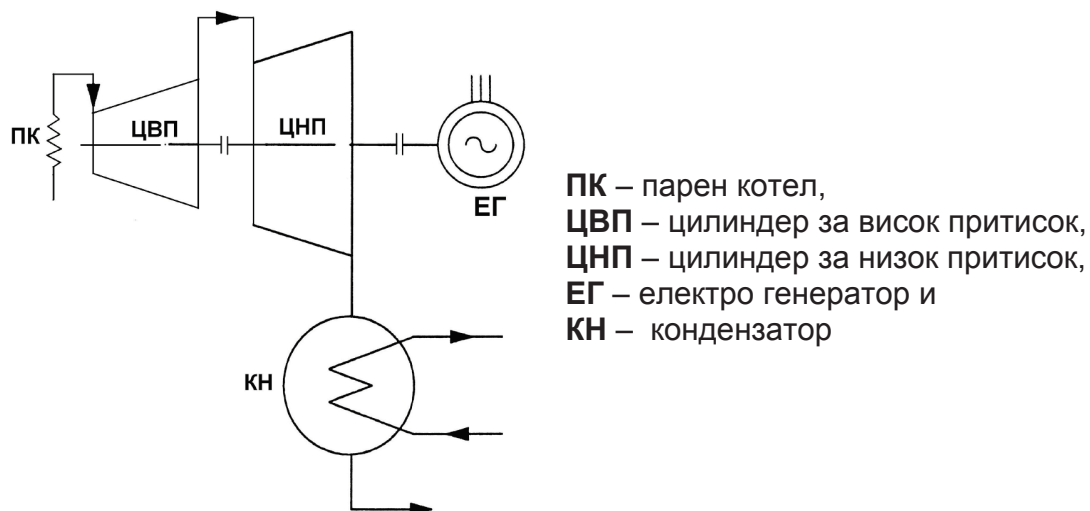


Сл.5.6 Струење на пареата низ
аксијална турбина

2. Аксијални - кај кои пареата струи паралелно со оската на вратилото на турбината и овие турбини денес исклучиво се применуваат (сл.5.6)

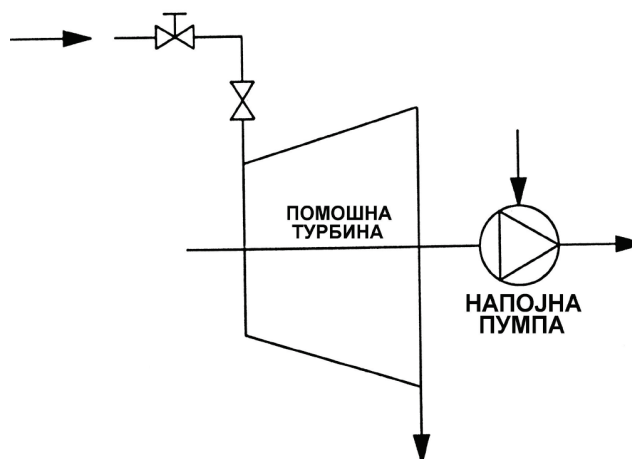
V. Според намената се делат на:

1. Главни турбини – кои се основните погонски машини кај термоелектраните, топланите и др.

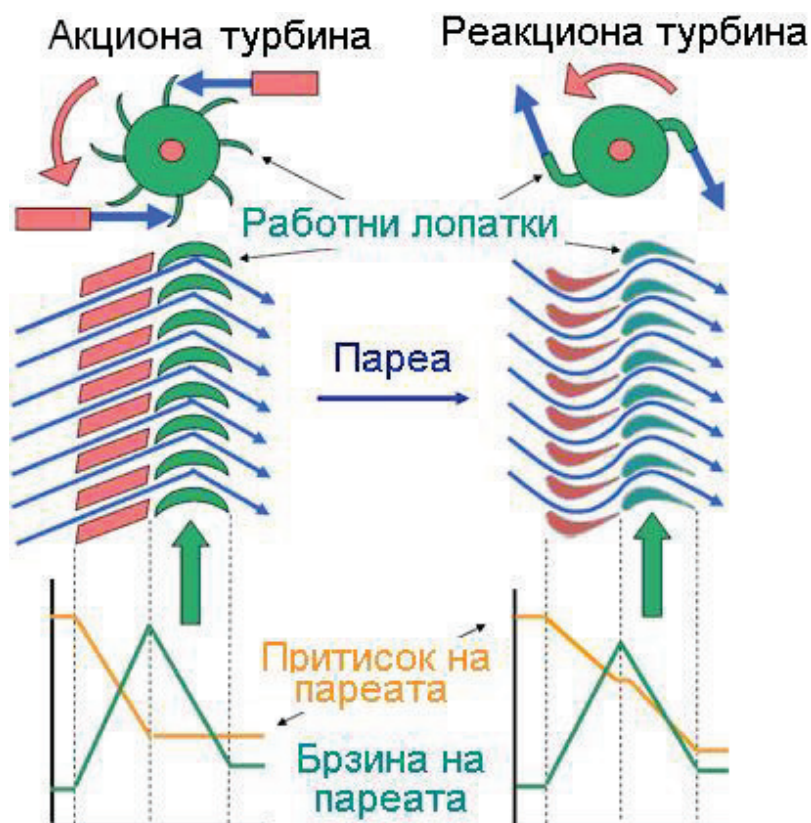


Сл.5.7 Главна турбина

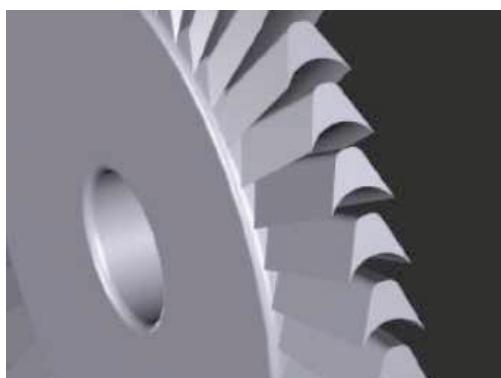
2. Помошни турбини - се користат во процес во кој погонска машина е парната турбина. Помошната турбина се користи за погон на напојната пумпа на котелот и слично.



Сл.5.8 Помошна турбина за погон на напојната пумпа на котелот



Дијаграм на притисок и брзина на пареата кај акциона и реактивна турбина



Работни лопатки кај акциона турбина



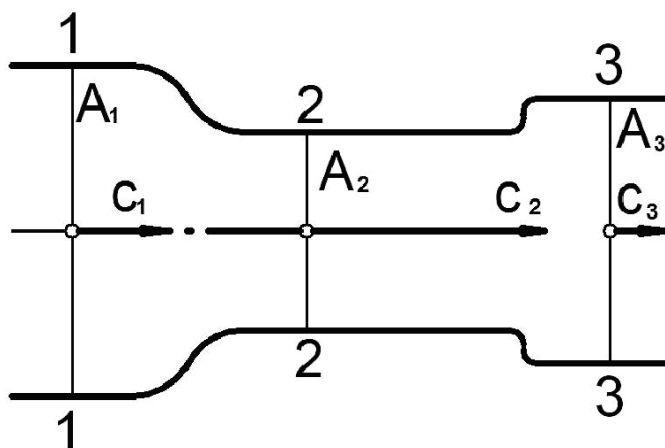
Работни лопатки кај реактивна турбина

5.2 ОСНОВНИ РАВЕНКИ НА СТРУЕЊЕТО

Под струење се подразбира движење на пареата низ цевки, канали и млазници. Ако брзината на струењето не се менува, тогаш струењето е стационарно, за разлика од нестационарното струење каде брзината постојано се менува.

5.2.1 РАВЕНКА НА КОНТИНУИТЕТОТ

На долната слика прикажана е цевка со променлив пресек. Во пресекот 1-1 брзината е c_1 , во пресекот 2-2 c_2 и во пресекот 3-3 c_3 .



Сл.5.9 Средна брзина на пареата

Средните брзини на пареата во соодветните пресеци се:

$$c_1 = \frac{m_1 v_1}{A_1} \left[\frac{m}{s} \right]; \quad c_2 = \frac{m_2 v_2}{A_2} \left[\frac{m}{s} \right]; \quad c_3 = \frac{m_3 v_3}{A_3} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Каде е:

$m_1, m_2, m_3 \left[\frac{kg}{s} \right]$ – масен проток на пареа во соодветниот пресек

$v_1, v_2, v_3 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$ – специфичен волумен на пареата во соодветниот пресек

$A_1, A_2, A_3 \left[m^2 \right]$ – површини на напречните пресеци на цевката

Бидејќи низ секој пресек протекува исто количество на пареа, може да се напише дека е:

$$m_1 = m_2 = m_3 = m = const$$

Па равенките ќе гласат:

$$c_1 = \frac{m v_1}{A_1} \left[\frac{m}{s} \right]; \quad c_2 = \frac{m v_2}{A_2} \left[\frac{m}{s} \right]; \quad c_3 = \frac{m v_3}{A_3} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Од равенките произлегува дека протокот на пареа ќе биде:

$$m = \frac{A_1 c_1}{v_1} = \frac{A_2 c_2}{v_2} = \frac{A_3 c_3}{v_3} = const$$

Општата форма на равенката е:

$$m = \frac{Ac}{v} = const$$

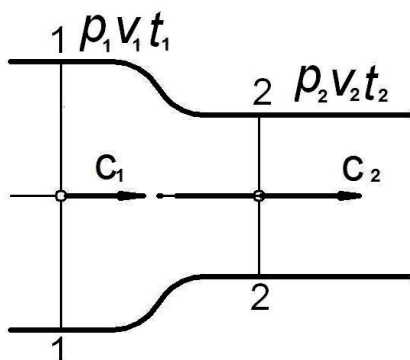
Најчесто равенката на континуитетот се пишува во оваа форма:

$$mv = Ac$$

5.2.2 ЕНЕРГИЈА НА СТРУЕЊЕТО

Секое тело кое се движи содржи енергија на движењето или кинетичка енергија.

Набљудуваме струење на пареата низ цевка со променлив пресек. Во пресекот 1 - 1 големините на состојбата на пареата се: $p_1, v_1, i_1, u_1, i_1, c_1$, а во пресекот 2 - 2 големините се $p_2, v_2, i_2, u_2, i_2, c_2$,



Сл.5.10 Струење на пареата низ цевка со променлив пресек

Вкупната енергија на пареата се состои од: внатрешна (u), потенцијална (pv) и кинетичка енергија ($\frac{c^2}{2}$):

- во пресекот 1-1 ќе биде:

$$E_1 = u_1 + p_1 v_1 + \frac{c_1^2}{2}$$

а во пресекот 2 - 2 ќе биде:

$$E_2 = u_2 + p_2 v_2 + \frac{c_2^2}{2}$$

Бидејќи при струењето на 1 kg пареа низ каналот чиј пресек кон излезот се стеснува, не се доведува ниту одведува топлина, ниту пак пареата врши работа, бидејќи каналот низ кој струи е неподвижен, а вкупните енергии на пареата во соодветните пресеци остануваат исти:

$$E_1 = E_2$$

$$u_1 + p_1 v_1 + \frac{c_1^2}{2} = u_2 + p_2 v_2 + \frac{c_2^2}{2}$$

збирот: $u + pv = i$ претставува енталпија на пареата,

$$u_1 + p_1 v_1 = i_1$$

$$u_2 + p_2 v_2 = i_2$$

Според тоа ќе биде:

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} = i_2 + \frac{c_2^2}{2}, \text{ или}$$

$$i_1 - i_2 = \frac{c_2^2}{2} - \frac{c_1^2}{2}$$

$$i_1 - i_2 = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$$

Од равенката произлегува дека прирастот или зголемувањето на кинетичката енергија на пареата $\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$ е еднаков на смалувањето на енталпијата $(i_1 - i_2)$, помеѓу почетната и крајната состојба.

Топлинскиот пад уште се обележува со h_0 :

$$h_0 = i_1 - i_2 = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$$

5.2.3 БРЗИНА НА ИСТЕКУВАЊЕ НА ПАРЕАТА

5.2.3.1 ПРИКАЖУВАЊЕ НА ЕКСПАНЗИЈАТА НА ПАРЕАТА ВО $i - s$ ДИЈАГРАМ

Бидејќи експанзијата на пареата во млазницата, во случај да нема отпори при струењето се врши без размена на топлина односно адијабатски, таа промена во $i - s$ дијаграм се прикажува со вертикална линија.

Почетната состојба на пареата на влезот во млазницата е определена со притисокот (p_0) и температурата на прегреаност (t_0). Крајната состојба по експанзијата, што значи на излезот од млазницата се добива со повлекување на вертикална линија до дадениот излезен притисок (p_1). Овој процес на експанзија значи претворање на потенцијалната енергија на пареата во кинетичка.

Ако во равенката за енергијата на струењето се внесат ознаките од овој дијаграм ќе се добие:

$$i_0 - i_{1t} = \frac{c_{1t}^2 - c_0^2}{2} \left[\frac{J}{kg} \right], \text{ или}$$

$$h_0 = i_0 - i_{1t} = \frac{c_{1t}^2 - c_0^2}{2 \cdot 10^3} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

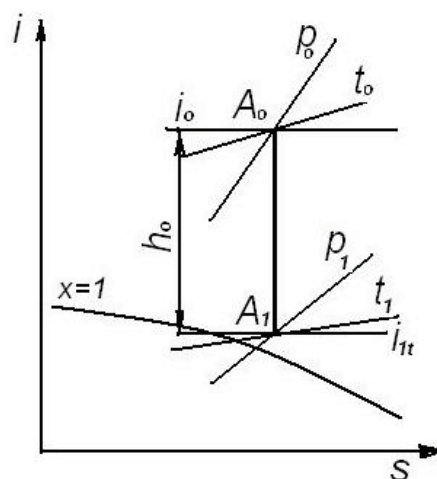
каде е:

$h_0 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – топлински пад на пареата во млазницата,

$c_0 \left[\frac{m}{s} \right]$ – апсолутна брзина на пареата на влезот во млазницата и

$c_{1t} \left[\frac{m}{s} \right]$ – теоретска апсолутна брзина на пареата на излезот од млазницата

Од горната равенка теоретската апсолутна брзина на пареата на излезот од млазницата ќе биде:



Сл.5.11 Процес на експанзија на пареа во $i - s$ дијаграм

$$c_{1t}^2 - c_0^2 = 2 \cdot 10^3 h_0$$

$$c_{1t}^2 = 2 \cdot 10^3 h_0 + c_0^2$$

$$c_{1t} = \sqrt{2 \cdot 10^3 h_0 + c_0^2}$$

Бидејќи влезната брзина на пареата во млазницата е многу мала во однос на излезната, таа во пресметките се запоставува и изразот добива форма:

$$c_{1t} = 44,72 \sqrt{h_0} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Меѓутоа, постојат отпори кои се јавуваат при струењето на пареата низ млазницата поради триењето на честичките од пареата со ѕидовите на млазницата, затоа реалната излезна брзина на пареата од млазницата ќе биде:

$$c_1 = \phi \cdot c_{1t} = 44,72 \phi \sqrt{h_0} \left[\frac{m}{s} \right]$$

каде е: $\phi = 0,95 \div 0,98$

ϕ – коефициент на брзината со кој се опфатени загубите во млазниците.

Количеството на пареа кое истекува од млазниците се пресметува од равенката на континуитетот:

$$mv_1 = A_1 c_{1t}$$

од каде е:

$$m = \frac{A_1}{v_1} c_{1t}$$

Ако во горната равенка се замени изразот за теоретската брзина на истекнување на пареата ќе се добие:

$$m = 44,72 \frac{A_1}{v_1} \sqrt{h_0} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

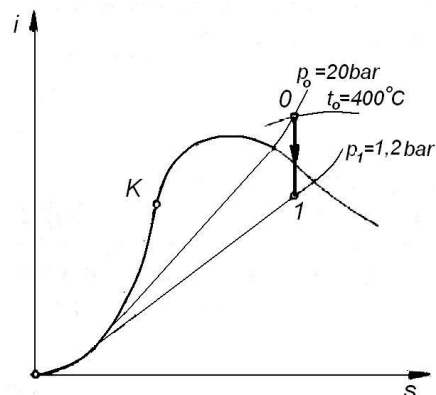
Пример 5.1: Водена пареа со $p_0 = 20 \text{ bar} = 2 \text{ MPa}$ и температура 400°C , адијабатски експандира во проширена млазница до $p_1 = 1,2 \text{ bar} = 0,12 \text{ MPa}$. Да се определи теоретската брзина на истекнување на пареата со користење на $i - s$ дијаграм и да се прикаже во истиот дијаграм.

Од дијаграм читаме:

$$i_0 = 3245 \frac{kJ}{kg} \quad i_1 = 2795 \frac{kJ}{kg} \quad c_{1t} = ?$$

$$c_{1t} = 44,72 \sqrt{h_0} = 44,72 \sqrt{450} = 44,72 \cdot 21,2 = 948 \frac{m}{s}$$

$$h_0 = i_0 - i_1 = 3245 - 2795 = 450 \frac{kJ}{kg}$$

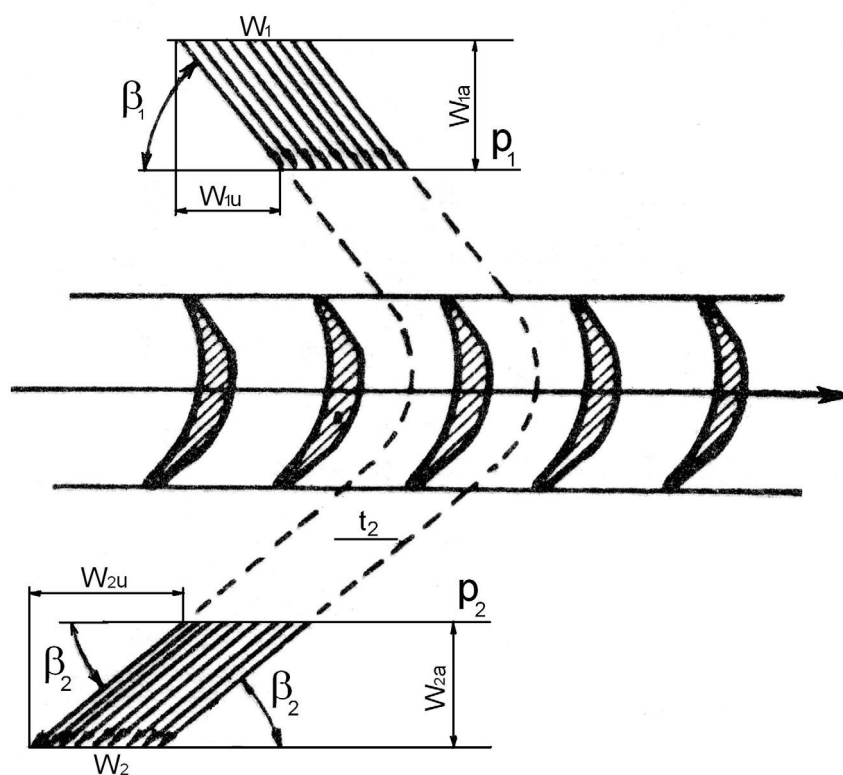


Задача за вежби: Водена пара со почетна состојба 1 ($p_1 = 15\text{bar}, t_1 = 350^\circ\text{C}$) адијабатски експандира во Делавалов млазник до крајна состојба 2 ($p_2 = 2\text{bar}$). Да се определи:

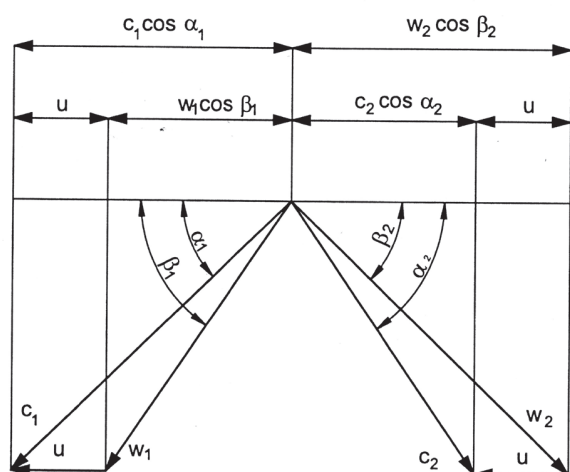
- топлинскиот пад (h_0)
- теоретската брзина на истекување (c_{1t})
- стварната брзина на истекување (c_1) ако е $\varphi = 0,95$
- задачата да се реши со помош на $i - s$ дијаграм и да се прикаже во истиот.

5.2.3.2 ДЕЈСТВО НА ПАРЕАТА ВРЗ РАБОТНИТЕ ЛОПАТКИ

Бидејќи млазницата претставува неподвижен канал, пареата истекува од неа со апсолутна брзина (c_1). Меѓутоа, бидејќи каналот меѓу роторските лопатки е подвижен, пареата влегува во него со релативна брзина (w_1). Лопатките на роторот се вртат со обемна или периферна брзина (u). Ако векторски се соберат трите брзини ќе се добијат триаголници на брзините на влезот и излезот од роторските лопатки.



Сл.5.12 Протекување на пара низ канали формирани од работни (роторски) лопатки



α_1 – агол на влез на пареата во лопатките,
 α_2 – агол на излез на пареата од лопатките,
 β_1 – агол на закривување на лопатките на влезот на пареата,
 β_2 – агол на закривување на лопатките на излезот на пареата и
 u – обемна брзина на роторот

Сл.5.13 Триаголници на брзините на влезот и излезот од роторските лопатки

Каде е:

$c_1 \left[\frac{m}{s} \right]$ - апсолутна брзина на пареата на влезот во роторските лопатки,

$c_2 \left[\frac{m}{s} \right]$ - апсолутна брзина на пареата на излезот од роторските лопатки,

$w_1 \left[\frac{m}{s} \right]$ - релативна брзина на пареата на влезот во роторските лопатки,

$w_2 \left[\frac{m}{s} \right]$ - релативна брзина на пареата на излезот од роторските лопатки,

$w_{1u} = w_1 \cos \beta_1$ – релативна обемна брзина на пареата на влезот во лопатките,

$w_{2u} = w_2 \cos \beta_2$ – релативна обемна брзина на пареата на излезот од лопатките,

$w_{1a} = w_1 \sin \beta_1$ – аксијална компонента на релативната брзина на влезот во роторските лопатки и

$w_{2a} = w_2 \sin \beta_2$ – аксијална компонента на релативната брзина на излезот од роторските лопатки

Силата која предизвикува вртење на лопатките изнесува:

$$F_u = m(w_{1u} + w_{2u})[N]$$

Силата со која пареата дејствува во насока на вратилото и ја примаат лежиштата на турбината изнесува:

$$F_a = m(w_{1a} - w_{2a}) + t^2(p_1 - p_2)[N]$$

Каде е:

$t[m]$ – чекор (растојание) меѓу две роторски лопатки,

$p_1[Pa]$ – притисок на пареата пред роторските лопатки и

$p_2[Pa]$ – притисок на пареата зад роторските лопатки

Вртежниот момент што пареата го предизвикува врз роторските лопатки е:

$$M_u = F_u r = m(w_{1u} + w_{2u})r \text{ [Nm]}$$

$r[m]$ – радиус (растојание) од средината на вратилото до средината на роторските лопатки

Работата што ја врши пареата струејќи низ каналите помеѓу роторските лопатки изнесува:

$$W_u = M_u \omega = m(w_{1u} + w_{2u})r\omega \text{ [J]},$$

$\omega = \frac{\pi n}{30} [s^{-1}]$ - аголна брзина на лопатките

$u = r\omega \left[\frac{m}{s} \right]$ – обемна (периферна) брзина на лопатките

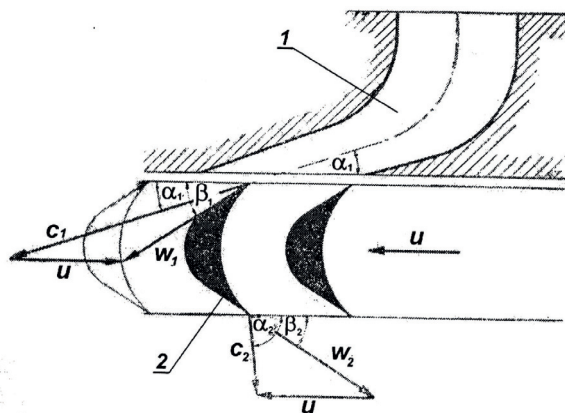
$$W_u = m(w_{1u} + w_{2u})u \text{ [J]}$$

5.2.4 АКЦИОНО ДЕЈСТВО НА ПАРЕАТА

Кога млазот на пареата струи низ каналот помеѓу роторските лопатки со константен пресек, тогаш поради промената на правецот на струење на пареата се јавува сила која дејствува врз ѕидовите на лопатките и предизвикува вртење на истите. Притоа притисокот на пареата не се менува, а брзината на пареата се намалува бидејќи се добива вртење на роторот.

Турбините кои работаат според овој принцип се наречени **акциони парни турбини**, а тие ги имаат следниве карактеристики:

- експанзијата на пареата се врши само во млазницата или млазниците (ако ги има повеќе) на статорот или куќиштето,
- при струењето на пареата низ роторот се смалува брзината,
- притисокот на пареата низ роторот останува непроменет и
- степенот на искористување зависи од аголот под кој пареата излегува од млазницата односно влегува во роторските лопатки.

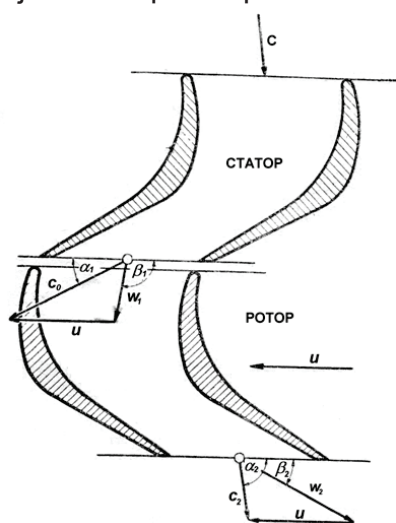


1. млазница,
 2. роторски лопатки
- $u[m/s]$ – обемна или периферна брзина на роторските лопатки

Сл.5.14 Акционо дејство на пареата

5.2.5 РЕАКЦИОНО ДЕЈСТВО НА ПАРЕАТА

Статорските и роторските лопатки имаат форма така што каналот помеѓу нив кон излезот се стеснува. Притоа пареата е присилена да експандира и нејзината брзина расте.



Според тоа, дејството на пареата врз роторските лопатки кое произлегува од свртувањето на млазот на пареа поради закривеноста на лопатките и поради забрзувањето на пареата при експанзијата, се нарекува реакционно дејство на пареата. Турбините кои работаат според ова дејство се наречени **реакциони турбини**, а тие ги имаат следниве карактеристики:

- експанзијата на пареата се врши во статорските и роторските лопатки,
- притисокот на пареата се смалува и во статорските и во роторските лопатки и
- степенот на искористување зависи од аголот под кој пареата излегува од статорот.

Сл.5.15 Реакционно дејство на пареата

Топлинскиот процес кој се изведува помеѓу роторските лопатки кај акционото и реакционото дејство на пареата прикажан е во $i-s$ дијаграм на сл.5.16. На сликата се прикажани следните состојби и параметри на пареата:

A_0 – состојба на пареата на влезот во млазницата (акционо дејство) или на влезот во статорските лопатки (реакцио дејство),

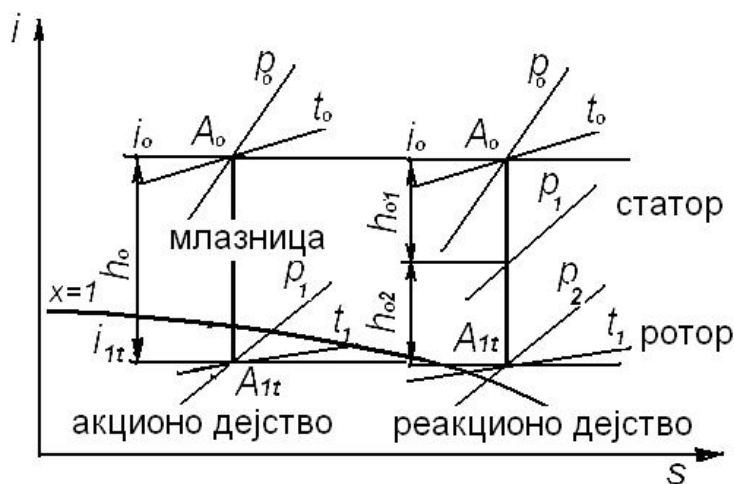
A_{1t} – состојба на пареата на излезот од млазницата или роторските лопатки (реакционо дејство),

p_0, t_0, i_0 – почетни параметри на пареата,

h_0 – теоретски топлински пад што се преработува во кинетичка енергија во млазницата,

h_{01} – топлински пад што се претвора во кинетичка енергија во статорските лопатки

h_{02} – топлински пад што се претвора во кинетичка енергија во роторските лопатки

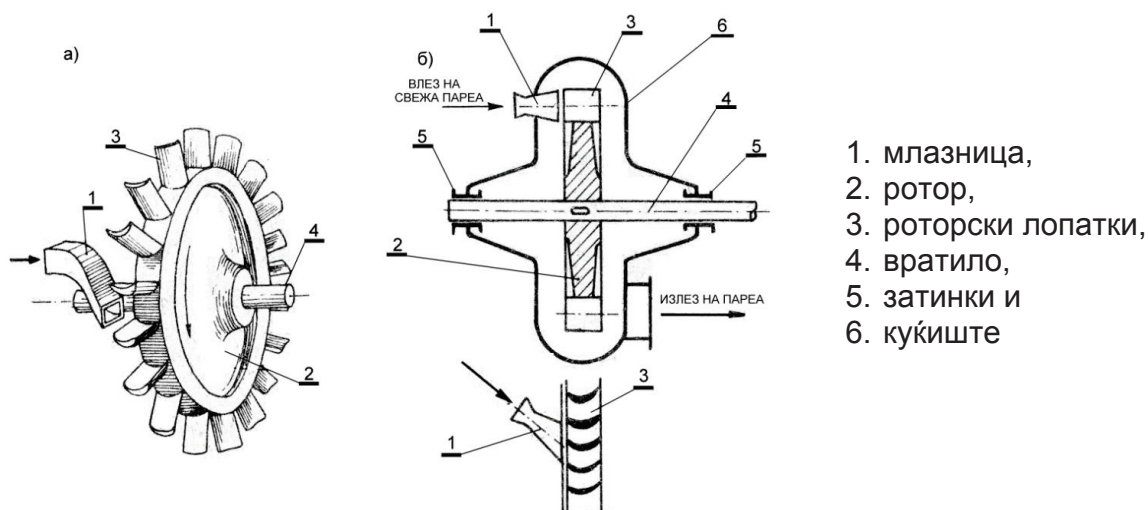


Сл.5.16 Топлински процес во лопатките на акционен и реакционен турбински степен

5.3 ВИДОВИ ПАРНИ ТУРБИНИ

5.3.1 ДЕЛАВАЛОВА ПАРНА ТУРБИНА

Оваа турбина е едностепена, акциона и аксијална парна турбина. Неа ја конструирал шведскиот инженер Густав де Лавал во 1883 год.

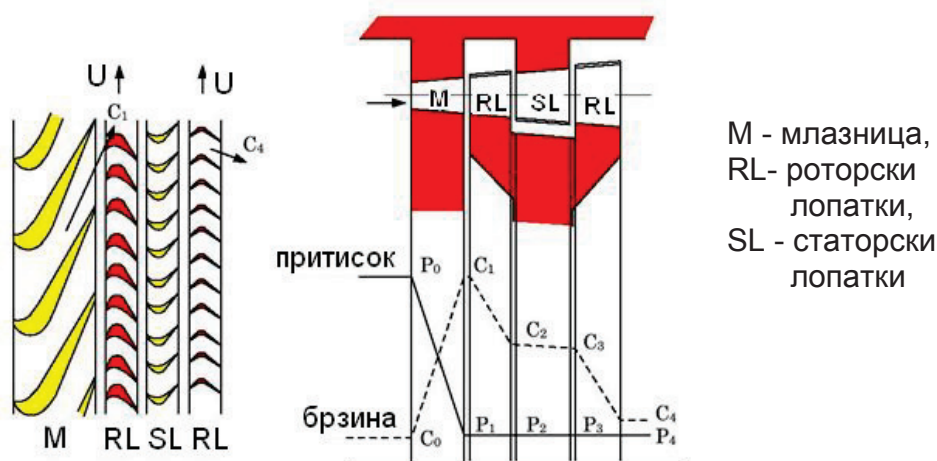


Сл.5.17 Делавалова парна турбина

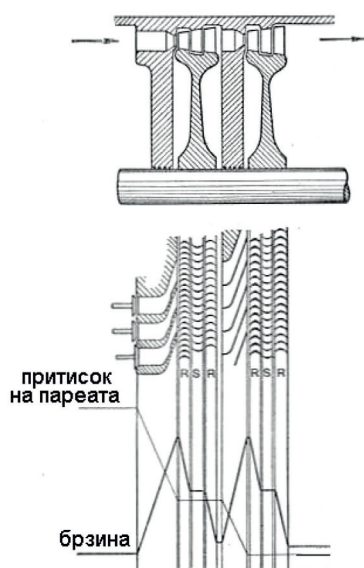
Кај оваа турбина пареата се доведува со повеќе млазници (1) во каналите помеѓу роторските лопатки (3). Млазниците се така изработени така да нивниот пресек прво се стеснува, а потоа проширува за да се добие што поголема брзина. Млазниците се прицврстени за куќиштето на турбината (6). Куќиштето обично се изработува од челик или леано железо. Лопатките се поставени по обемот на роторот (2), така да пареата удира во каналите помеѓу нив и ги задвижува. Каналите помеѓу лопатките имаат постојан пресек бидејќи притисокот на пареата во нив треба да остане константен. Ваквите турбини се градат за моќ од $2 \div 350 kW$. Бидејќи енергијата на пареата се искористува во еден ред на роторски лопатки, турбината работи со голем број на вртежи до 30 000 vrt/min. и затоа помеѓу неа и работната машина се поставува редуктор за да го смали бројот на вртежи.

5.3.2 КЕРТИСОВА ПАРНА ТУРБИНА

Во настојување да се смали обемната брзина на роторот како и бројот на вртежи на вратилото, на истото вратило се поставени повеќе ротори, од кои секој ротор користи само дел од енергијата на пареата. Тоа го направил Американецот Кертис според кој овие турбини и го добиле името.



Сл.5.18 Кертисова парна турбина



Сл. 5.19 Кертисова парна турбина

Кертисовата парна турбина работи на следниов принцип:

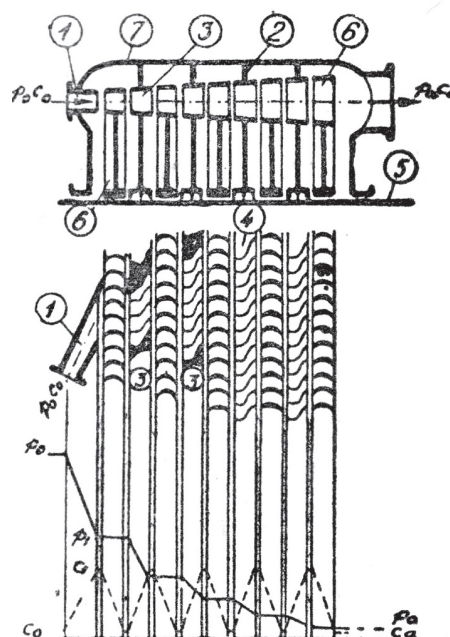
Пареата влегува во млазницата со притисок p_0 и брзина c_0 . Во млазниците експандира при што притисокот се смалува на p_1 и потоа не се менува, а брзината се зголемува на c_1 . Оваа брзина постепено се искористува и тоа така што во првиот ред на роторски лопатки се смалува од c_1 на c_2 , а во вториот ред од c_2 на c_4 , што е наречено **степенување на брзината**. Статорските лопатки се поставуваат во преградни ѕидови или дијафрагми кои се прицврстени за куќиштето на турбината, а служат за насочување на пареата во роторските лопатки. Притисокот и брзината на пареата во статорските или спроводни лопатки не се менуваат.

5.3.3 ПАРНА ТУРБИНА СО СТЕПЕНУВАЊЕ НА ПРИТИСОКОТ

Оваа турбина е акциона, аксијална и повеќестепена парна турбина со степенување на притисокот. Тоа значи дека притисокот на пареата се смалува од степен до степен, а за сметка на тоа брзината на пареата се зголемува од c_0 на c_1 .

Ваквите турбини работат на следниов принцип:

Свежата пара од парниот котел доаѓа во млазниците со притисок p_0 и брзина c_0 . Во млазниците пареата експандира и притоа притисокот се смалува на p_1 , а брзината се зголемува на c_1 . Овој процес се повторува од степен до степен поради што турбината е наречена **турбина со степенување на притисокот**.



1. млазници,
2. преградни сидови (дијфрагми),
3. статорски лопатки,
4. спроводно коло од статорски лопатки,
5. вратило,
6. роторски лопатки и
7. куќиште на турбината

Сл.5.19 Целиева турбина со пет степени на притисок

Во каналите помеѓу роторските лопатки брзината на пареата се смалува бидејќи доаѓа до претворање на кинетичката енергија во механичка енергија. На исто вратило се наглавени сите ротори. Висината на лопатките од влезот кон излезот се зголемува бидејќи со експанзијата се зголемува волуменот на пареата и за да може да биде опфатена таа пара со лопатките, нивната височина треба да биде поголема.

5.4 КОНСТРУКТИВНА ИЗВЕДБА НА ПАРНИТЕ ТУРБИНИ

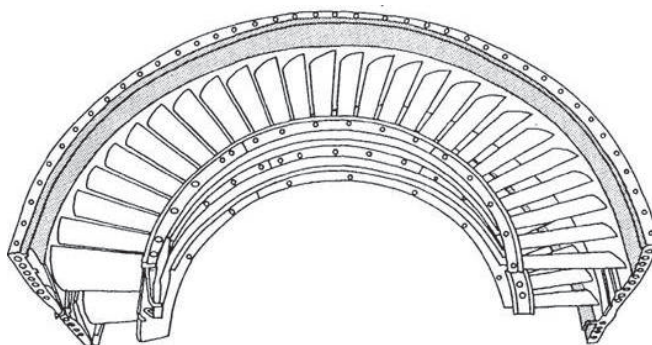
5.4.1 МЛАЗНИЦИ

Проширени млазници редовно се применуваат кај едностепените акциони турбини и пред Кертисовото коло или диск. Во останатите случаи се применуваат непроширени млазници.

Можат да бидат изработени со:

- глодање,
- леење,
- копирање и
- извлекување.

Внатрешните сидови на млазниците фино се обработуваат со цел да се смалат загубите поради триењето на пареата со сидовите.



Сл.5.20 Поглед на млазници

5.4.2 СПРОВОДНИ ЛОПАТКИ КАЈ АКЦИОНИТЕ ТУРБИНИ

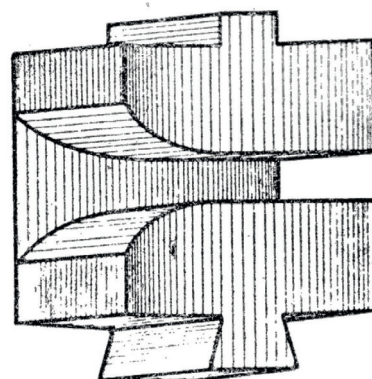
Кај акционите турбини помеѓу одделни ротори се наоѓаат преградни ѕидови или дијафрагми. Во нив се поставуваат статорски лопатки кои се наречени **спроводни лопатки**. На сл.5.15 прикажано е поставувањето на лопатките во преградите, на сл.5.16 прикажан е профилот на лопатките, а на сл.5.17 прикажан е поглед на овие лопатки.



Сл.5.21 Поставување на спроводните лопатки



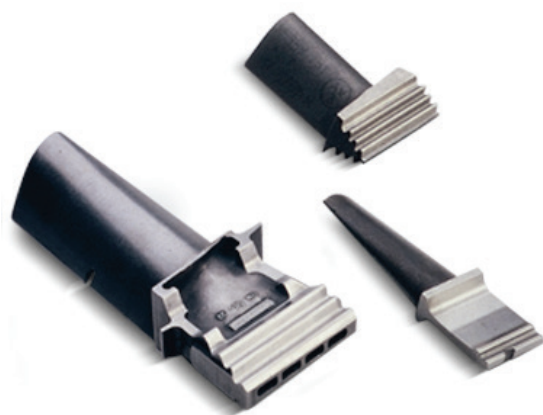
Сл.5.22 Профил на спроводна лопатка



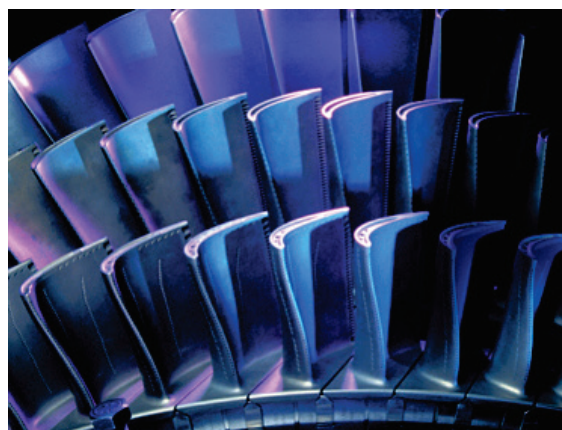
Сл.5.23 Поглед на спроводна лопатка

5.4.3 РАБОТНИ ЛОПАТКИ КАЈ АКЦИОНИТЕ ТУРБИНИ

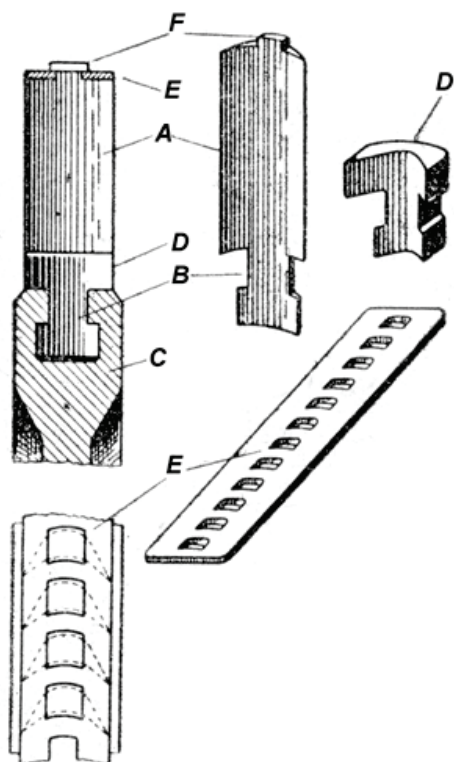
Работни лопатки се нарекуваат лопатките на роторот. Во каналите кои ги формираат овие лопатки доаѓа до претворање на кинетичката енергија во механичка работа. Овие лопатки работаат под тешки услови бидејќи се изложени на високи температури, а исто така се оптоварени и од дејството на центрифугалната сила поради големиот број на вртежи.



Сл.5.24 Работни лопатки



Сл.5.25 Ротор со работни лопатки



- A - работен дел,
 B – корен,
 C - венец на роторот,
 D - влошка која се вметнува помеѓу две соседни лопатки и со тоа се определува растојанието меѓу лопатките,
 E - лента со која се поврзуваат неколку лопатки заедно за да се добие поголема крутоост на лопатките,
 F - испусти кои влегуваат во дупките на лентите и се превиткуваат

Должината на лентите изнесува 150 до 250 mm. Помеѓу две соседни ленти се остава растојание од 1 до 2 mm, така што лентите при загревањето можат слободно да се шират.

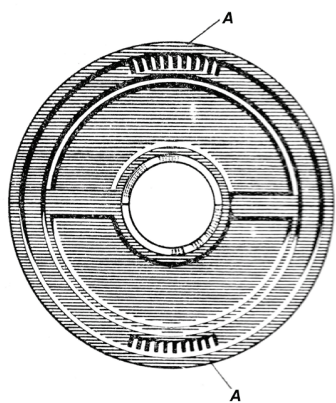
Сл.5.25 Работни лопатки со нормална конструкција

5.4.4 СПРОВОДНИ И РАБОТНИ ЛОПАТКИ КАЈ РЕАКЦИОНИТЕ ТУРБИНИ

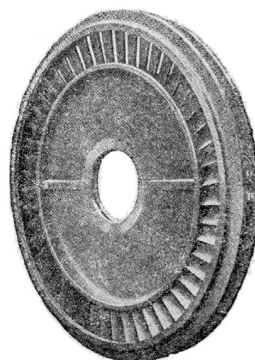
Кај реакционите турбини лопатките на роторот и статорот се еднакви. Бидејќи реакционите турбини не работаат со голем број на вртежи и со големи обемни брзини, лопатките редовно се изработуваат од профил со влечење со посебни влошки меѓу нив заради добивање на еднакво растојание.

5.4.5 ПРЕГРАДНИ СИДОВИ (ДИЈАФРАГМИ)

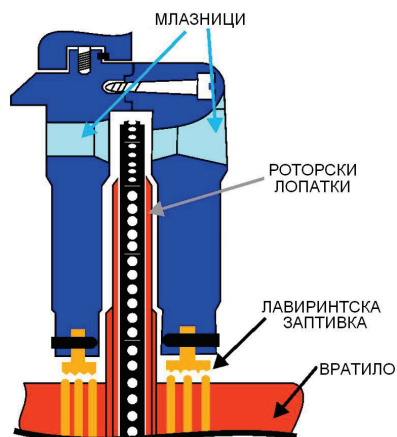
Кај акционите турбини помеѓу два реда роторски лопатки се наоѓаат преградни сидови во кои се сместени спроводните лопатки.



Сл.5.27 Дијафрагма за парцијален довод на пара



Сл.5.28 Дијафрагма за потполн довод на пара



Сл.5.29 Поставување на спроводни лопатки

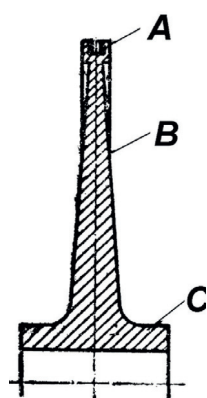
Тие се составени од две половини: горна и долна, кои се прицврстени за двата дела на турбинското кукиште (сл.5.29). За притисоци до 20 bar и 250°C се изработуваат од леано железо, а за повисоки притисоци и температури од кован челик.

Низ средината на дијфрагмата минува вратилото на турбината. На местото на допир со вратилото се наоѓа затинка, која го спречува преминот на пареата.

5.4.6 ТУРБИНСКИ РОТОРИ

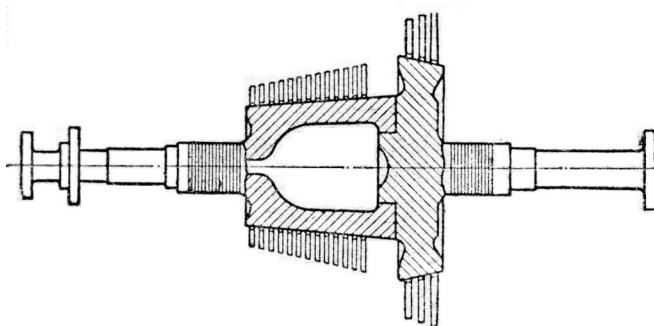
Кај парните турбини разликуваме две сосема различни конструкции на ротори:

- **ротор во вид на диск или плоча** – кој се применува кај акционите турбини и по чиј обем се поставени работните лопатки и
- **ротор во вид на тапан** – кој се применува кај реакционите турбини.



Сл.5.30 Ротор во вид на диск

А - венец
В - диск или плоча
С - главина



Сл.5.31 Ротор во вид на тапан

5.5 КОЕФИЦИЕНТИ НА КОРИСНО ДЕЈСТВО И СПЕЦИФИЧНА ПОТРОШУВАЧКА

Како и кај парните котли, така и кај парните турбини се јавуваат загуби кои влијаат на степенот на претворање на топлинската енергија на пареата во механичка работа.

1. **Термодинамичкиот коефициент на корисното дејство на кружниот процес** се пресметува според равенката.

$$\eta_t = \frac{i_0 - i_1}{i_0 - i_2}$$

каде е:

- i_0 – енталпија на пареата на влезот во турбината
- i_1 – енталпија на пареата на излезот од турбината
- i_2 – енталпија на водата на влезот во котелот

2. Коефициент на корисно дејство на парниот котел (η_k)

Овој коефициент на корисно дејство се пресметува според равенката:

$$\eta_k = \frac{i_0 - i_2}{B_1 H_d}$$

каде е:

$B_1 \left[\frac{kg}{s} \right]$ – вкупна потрошувачка на гориво

$H_d \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – долна топлинска моќ на горивото

3. Вкупниот или економски коефициент на корисно дејство на парно-турбинската постројка изнесува:

$$\eta_{ek} = \frac{P_E}{B_1 H_d}$$

каде е:

$P_E [kW]$ – моќ на електричниот генератор,

$B_1 \left[\frac{kg}{s} \right]$ – вкупна потрошувачка на гориво и

$H_d \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ – долна топлинска моќ на горивото

4. Специфичната потрошувачка на пареа (m_s)

Претставува количество на пареа што треба да се произведе за да се добие 1 kW електрична енергија.

$$m_s = \frac{m}{P_E} \left[\frac{kg}{skW} \right]$$

5. Специфична потрошувачка на топлина (q_E)

Покажува кое количество на топлина треба да се вложи за да се добие 1 kW електрична енергија.

$$q_E = \frac{Q}{P_E} \left[\frac{kJ}{skW} \right]$$

6. Специфична потрошувачка на гориво (b)

Претставува количество на потрошено гориво за да се добие 1 kW електрична енергија.

$$b = \frac{B_1}{P_E} \left[\frac{kg}{skW} \right]$$

Задачи за вежби:

1. Да се определи специфичната и вкупната потрошувачка на пареа на турбинската постројка со моќ $P=10 \text{ MW}$, а работи со прегреана пареа со притисок 20 bar и температура 400°C . Пареата излегува од турбината и влегува во кондензатор каде владее притисок $0,05 \text{ bar}$. Ефективниот коефициент на корисно дејство изнесува $0,8$.

2. Парна турбина изведува кружен процес со прегреана пареа со притисок $p_1=10 \text{ bar}$ и температура 450°C . Притисокот кој владее во кондензаторот изнесува $0,1 \text{ bar}$. Да се пресмета:

- извршената работа по 1 kg пареа
- термодинамичкиот коефициент на корисно дејство на кружниот процес
- специфичната потрошувачка на пареа и
- специфичната потрошувачка на топлина
- задачата да се прикаже и да се реши со помош на i -s дијаграм

5.6 РЕГУЛАЦИЈА КАЈ ТУРБИНИТЕ

Од неподвижните копнени турбини се бара да работаат со константен број на вртежи и при променето оптоварување на турбината. Константен број на вртежи може да се постигне ако секогаш постои рамнотежа помеѓу моќта што ја развива турбината и надворешното оптоварување.

Според тоа, регулацијата има задача да ја прилагоди моќта на турбината според надворешното оптоварување и притоа да одржи константен број на вртежи на вратилото од турбината.

Моќта на турбината изразена е со равенката:

$$P_e = m h_0 \eta_e \text{ [kW]}$$

Од равенката се гледа дека моќта на парната турбина може да се смали:

- ако се смали топлинскиот пад (h_0) со придушување на пареата што преставува неекономичен начин, но е многу едноставен,
- ако се смали количеството на пареата што се пушта во турбината (m), а топлинскиот пад да остане ист или малку да се смали и
- истовремено со придушување да се смали топлинскиот пад и количеството на пареа.

Според тоа постои:

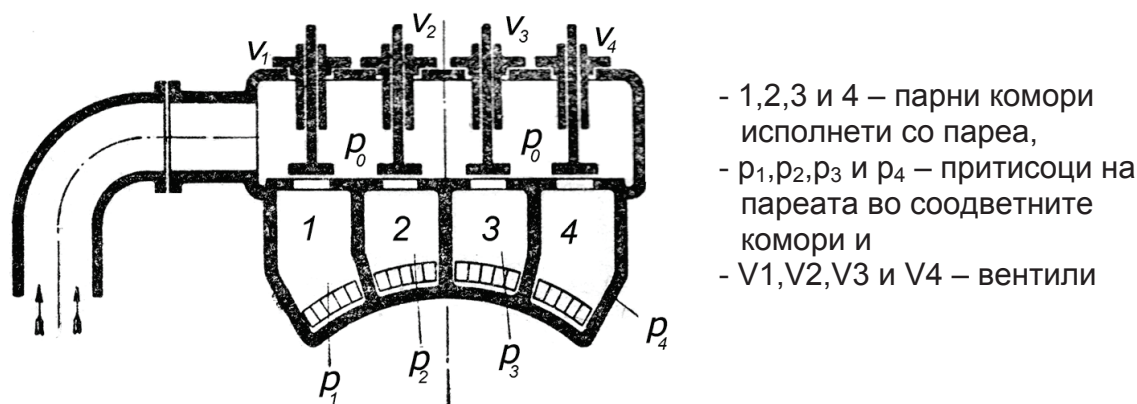
- **количинска регулација** – што се изведува со промена на количеството на пареа кое се пушта во турбината,
- **регулација со придушување** – што се изведува со придушување на пареата на влезот во турбината при што притисокот и температурата на пареата се смалуваат, а енталпијата останува иста и
- **комбинирана регулација** – со истовремено придушување и промена на количеството на пареа.

Секоја парна турбина заради сигурност во работата мора да биде снабдена со посебен сигурносен регулатор, кој при надминување на бројот на вртежи над дозволениот, ќе го запре доводот на свежа пара во турбината.

5.6.1 КОЛИЧИНСКА РЕГУЛАЦИЈА

Чиста регулација на количеството на пара може да се постигне на тој начин што при константен притисок на влезната пара да се вклучат во работа онолку млазници колку ќе одговара на оптоварувањето на турбината. Меѓутоа, таква регулација не се применува, бидејќи механизмот би бил премногу комплициран.

Количинската регулација која денес се применува посебно кај турбините со голема моќ е комбинација на количинска со регулација со придушување.



Сл.5.32 Количинска регулација кај парните турбини

Принцип на работа:

Кај парните турбини вентилите не ја затвораат парата истовремено, туку еден после друг. При полно оптоварување на турбината сите вентили се отворени, сите комори се исполнети со пара и сите млазници пуштаат пара во турбината. Ако дојде до смалување на оптоварувањето на турбината, прво ќе дојде до постепено затворање на вентилот (V_4) и тој ќе дејствува како придушен вентил. Групата на млазници во комората (4) ќе работи со мал притисок, додека останатите групи на млазници и понатаму ќе добиваат свежа пара со полн притисок. Значи притисокот на парата во комората (4) ќе биде понизок од притисокот во останатите комори. При натамошното смалување на оптоварувањето на турбината, постепено ќе се затвора вентилот (V_3), потоа (V_2) и (V_1).

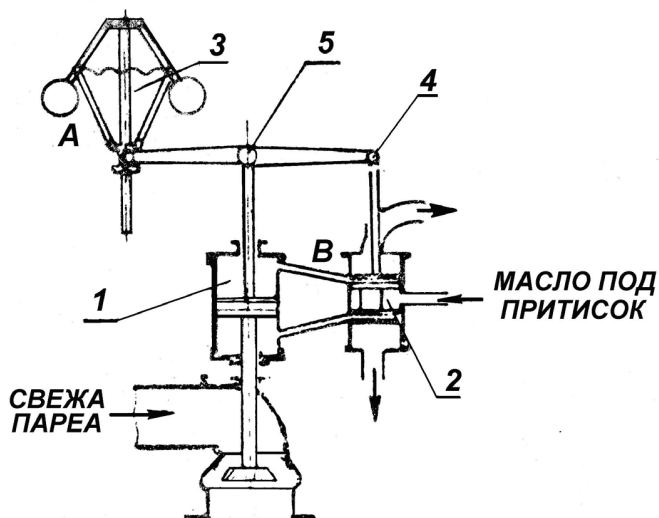
5.6.2 РЕГУЛАЦИЈА СО ПРИДУШУВАЊЕ

За автоматска регулација со придушување служи центрифугален регулатор со сервомотор.

Принцип на работа:

Центрифугалниот регулатор со лстови е врзан за сервомоторот и разводникот на масло. Топките на регулаторот при определено оптоварување на турбината заземаат определена положба. Поместувањето на центрифугалните

маси или топки преку лостовите (5) и (4) се пренесува на разводникот, а со тоа се регулира влезот на маслото под или над клипот на сервомоторот (1).



1. сервомотор со клип,
2. разводник на масло,
3. центрифугален регулатор со топки,
4. лост за сервомоторот и
5. лост за разводникот на масло

Сл.5.33 Центрифугален регулатор со сервомотор

Во нормална рамнотежна положба клиповите на разводникот го затвораат доводот или одводот на масло од сервомоторот. Ако дојде до недозволено зголемување на бројот на вртежи на вратилото на турбината (заради смалување на оптоварувањето на турбината), топките на центрифугалниот регулатор ќе се рашират, а со тоа ќе се подигнат и лостовите (4) и (5). Со тоа ќе се спуштат клиповите на разводникот за масло надолу и маслото под притисок ќе доаѓа од долната страна на клипот на сервомоторот. Под дејство на маслото клипот на сервомоторот се подигнува нагоре и притоа го подигнува регулациониот или придушен вентил нагоре со што се смалува пресекот на протокот на пареа и доаѓа до придушување на пареата. Со тоа се смалува притисокот и температурата на пареата на влезот на пареата, се смалува топлинскиот пад и содржината на топлина на пареата што е причина за смалување на бројот на вртежи на вратилото. Тоа движење на клипот нагоре ќе трае сè додека клиповите на разводникот не се вратат во почетна положба и ги затворат каналите за довод и одвод на масло од разводникот за масло и повторно се воспостави рамнотежна положба.

Со зголемување на оптоварувањето на турбината се смалува бројот на вртежи на вратилото, а со тоа и центрифугалната сила. Во тој случај клиповите на разводникот ќе се подигнат нагоре и маслото под притисок ќе доаѓа од горната страна на клипот на сервомоторот и клипот ќе се движи надолу со што регулациониот вентил ќе оди надолу и ќе го отвори пресекот на протокот на пареата. Притоа ќе дојде до зголемување на притисокот и температурата на пареата и до зголемување на бројот на вртежи на вратилото. Ова движење на вентилот ќе трае сè додека повторно не се постигне рамнотежна положба и клиповите на разводникот го затворат доводот и одводот на масло кон сервомоторот.

5.7 КОНДЕНЗАЦИЈА И КОНДЕНЗАТОРИ

Зголемување на коефициентот на корисното дејство на парно-турбинската постројка може да се постигне на два начина:

- со зголемување на притисокот и температурата на пареата што ја произведува парогенераторот или
- со смалување на излезниот притисок на пареата од турбина кој начин е поефикасен и денес се применува.

Смалување на излезниот притисок на пареата се постигнува со поставување на кондензатор. Во кондензаторот се одржува притисок кој е понизок од атмосферскиот. Преминот од гасна во течна агрегатна состојба го нарекуваме **кондензација**, а уредите во кои се врши тој процес при $p=\text{const.}$ и $t=\text{const.}$ се наречени **кондензатори**.

5.7.1 ПОДЕЛБА НА КОНДЕНЗАТОРИТЕ

Во зависност од средството што врши ладење на пареата, се делат на:

- воздушни кондензатори кај кои разладно средство е атмосферскиот воздух и
- кондензатори разладувани со вода – кај кои разладно средство е водата.

Во зависност од тоа дали разладното средство е во директен допир со пареата или не, кондензаторите се делат на:

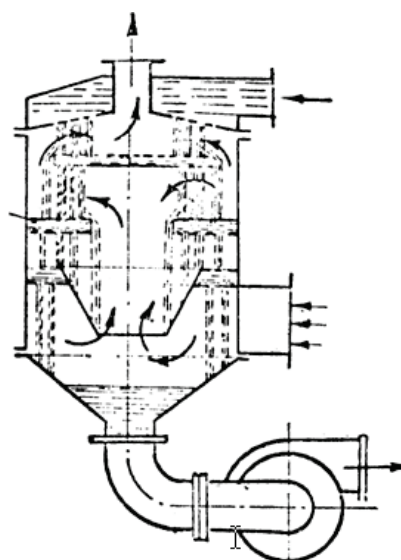
- кондензатори со мешање на пареата и разладната вода и
- површински кондензатори – кај кои нема мешање на пареата со разладната вода и затоа добиениот кондензат може повторно да се примени за напојување на парниот котел.

5.7.1.1 КОНДЕНЗАТОРИ СО МЕШАЊЕ НА ПАРЕАТА И РАЗЛАДНАТА ВОДА

Овој кондензатор се состои од цилиндричен сад во кој одозгора надолу преку прагови паѓа разладната вода, а пареата струи противнасочно одоздола нагоре. Притоа доаѓа до директно мешање и ладење на парета и до премин во течна агрегатна состојба.

Недостаток на добиената мешавина е тој што не е чиста и не може да се примени за напојување на парниот котел бидејќи разладната вода не е хемиски подготвена.

Воздухот кој ќе навлезе во кондензаторот со помош на вакуум пумпи се извлекува од горниот дел на кондензаторот.



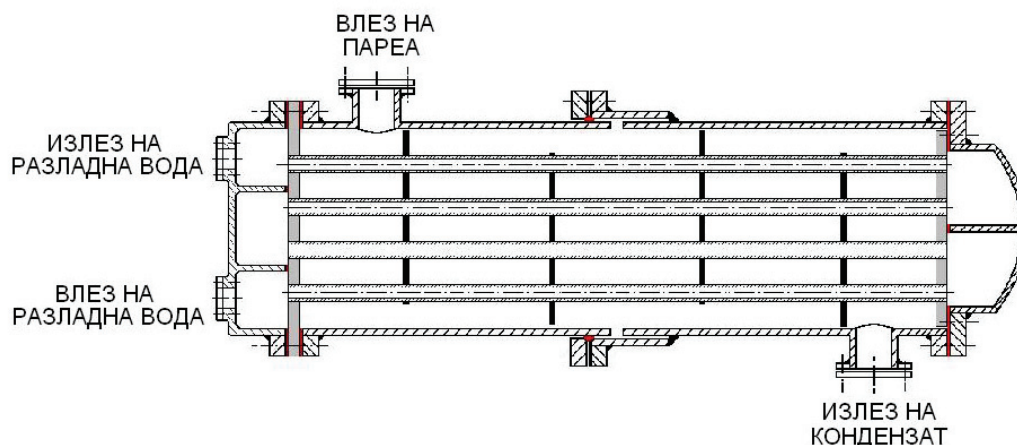
Сл.5.34 Кондензатор со мешање на пареата и разладната вода

5.7.1.2 ПОВРШИНСКИ КОНДЕНЗАТОРИ

Овој конензатор наоѓа примена кај парните постројки. По излезот од парната турбина пареата влегува во цилиндерот на кондензаторот, каде се сместени кондензаторските цевки низ кои со помош на пумпа циркулира разладната вода. На тој начин ја кондензира пареата. Воздухот кој навлегува во кондензаторот се извлекува со вакуум пумпи, а кондензатот се собира на дното од кондензаторот.

На самото грло на кондензаторот се наоѓа вакуумметар и термометар со помош на кои се определува состојбата на пареата на излезот од турбината. Кога овие податоци ќе се споредат со оние на влезот во турбината, може да се определи топлинскиот пад кој се искористува во турбината.

За поголемите парни турбини потребни се големи количества на разладна вода. Ако има доволно разладна вода која се црпи од реки, езера или море, тогаш циркулационата пумпа постојано потиснува вода во кондензаторот која по извршеното ладење се враќа во нејзиниот извор. Ако разладна вода нема доволно, тогаш разладната вода која се загреала во кондензаторот се лади во ладилни кули и изладена повторно доѓа во кондензаторот.



Сл.5.35 Површински кондензатор

5.8 ПОГОН НА ПАРНИТЕ ТУРБИНИ

5.8.1 ПОСТАВУВАЊЕ НА ПАРНИТЕ ТУРБИНИ

Поставувањето на парната турбина од било која големина бара голема вештина и искуство. Поставувањето на турбината го вршат специјализирани монтери на фабриката која ја произвела турбината. За да може да се постави кондензаторот под турбината, турбината се поставува на столбови од армиран бетон. Во столбовите се поставуваат железни греди, при тоа горните греди ја носат самата турбина, а долните го носат кондензаторот. Сите цевки за пареа и вода се поставуваат под турбината. Столбовите се потпираат на бетонски темел, кој мора да биде одделен од темелот на зградата за да не се пренесуваат вибрациите.

При поставувањето на турбината првенствено се води сметка турбината да лежи потполно хоризонтално, а парната турбина и генераторот да се наоѓаат во правилна меѓусебна положба. После поставувањето и центрирањето на турбината и генераторот, се монтираат сите помошни уреди и цевки.

5.8.2 ЗАГРЕВАЊЕ НА ТУРБИНАТА

Пред пуштањето во работа, турбината е изладена на температура на надворешниот воздух. Кога ќе се пушти пареа во турбината, таа се лади при допирот со ладните делови на турбината и притоа кондензира. Во турбината се собира значително количество на кондензат, додека истовремено деловите на турбината се загреваат. Загревањето на турбината се врши постепено и еднакво, а покрај тоа кондензатот се отстранува преку специјални водови, низ т.н. дренажа. Дренажата е приклучена на најниските делови од куќиштето на турбината, каде се собира кондензатот. Со загревањето се настојува да се постигне онаа температура на деловите на турбината, која ја имаат тие делови за време на нормалната работа.

Загревањето секогаш се врши со ротор во движење, со цел сите делови на роторот и статорот еднакво да се загреат.

5.8.3 ЗАДВИЖУВАЊЕ НА ТУРБИНАТА

Постапката за ставање на турбината во погон зависи од конструкцијата на самата турбина и од помошните уреди. Фабриката која ја изградила таа турбина дава упатства во врска со тоа и кон нив треба да се придржува.

Принципиелната постапка при задвижувањето на турбината е следната:

- се известува котларницата дека претстои пуштање на турбината и дека ќе биде потребна пареа,
- се отстранува целиот алат кој бил во и околу турбината,
- се проверува нивото на маслото во резервоарот за масло и се испушта водата од него,
- се прегледува и подмачкува механизмот за регулација,
- се пристапува кон загревање на пароводните цевки, а кондензатот се одведува,
- се става во движење помошната пумпа за масло која мора да произведе притисок,
- се ставаат во погон циркулационата, кондензатната и ејекторската пумпа,
- се отвораат вентилите на дренажните цевки,
- се отвора главниот парен вентил и се загрева турбината при што роторот врти со број на вртежи околу 10 % од нормалниот,
- за време на загревањето се прислушнува дали во турбината има стружење,
- при завршено загревање бројот на вртежи се зголемува на нормален број. Регулациониот механизам почнува да дејствува штом главната пумпа за масло ќе го постигне потребниот притисок на маслото и главниот парен вентил се отвора до крај,
- се пристапува кон постепено оптоварување на турбината и
- се регулира дејството на лавиринтските затинки и се затвора дренажниот систем.

5.8.4 ЗАПИРАЊЕ НА ТУРБИНАТА

Активностите при запирање на турбината се:

- пред запирањето се проверува работата на помошната пумпа за масло,
- се исклучува оптоварувањето на турбината,

- се затвора главниот парен вентил, а се отвора дренажниот систем, се задвижува помошната маслена пумпа и затвора пареата за лавиринтските затинки,
- работата на кондензатните уреди се запира кога бројот на вртежи на вратилото од турбината ќе падне на половина. Помошната маслена пумпа се остава уште извесно време да работи по запирањето на турбината,
- ако турбината останува подолго време вонработа во ладна состојба, внатрешноста мора да се исуши да не дојде до корозија. Топлината што ја содржат деловите на турбината се користи за испарување на влагата. Влагата се отстранува со проветрување на турбината,
- се запираат кондензатните пумпи,
- се отвораат сите вентили за одвод на кондензатот со цел внатрешноста на турбината да биде во врска со атмосферата.

5.8.5 КОНТРОЛА НА ПОГОНОТ

За време на работата на турбината постојано се контролира температурата на лежиштата, која не смее да биде повисока од 65°C. Температурата на маслото кое влегува во лежиштата мора да се движи од 35-40°C.

Во посебен дневник се запишуваат главните податоци од инструментите. Главни податоци се:

- температурата и притисокот на парета кај главниот парен вентил,
- притисокот на пареата зад регулационите вентили и во првиот степен,
- вакуумот во кондензаторот,
- температурата на парета на излезот од турбината,
- атмосферскиот притисок,
- температурата на кондензатот на излезот од кондензаторот,
- температурата на разладната вода на влезот и излезот од кондензаторот,
- притисокот на маслото во разни лежишта и
- потрошувачката на пареа.

При секое отстапување на вредностите од нормалните, треба да се испита причината за тие промени. Искусен турбинист ја познава правилната работа на турбината според звукот. При претерано загревање на лежиштата и при престанок на циркулација на разладната вода, турбината веднаш се запира. Секоја неправилност во работата на турбината веднаш се пријавува кај дежурниот инженер.

Прашања за повторување:

1. Какви машини се парните турбини?
2. Што значи кондензациона турбина?
3. Кај кои турбини каналот помеѓу роторските лопатки се стеснува?
4. Која турбина е т.н. *турбина со степенување на брзината* и зошто?
5. Зошто се одржува константен број на вртежи на вратилото на турбината?
6. Каков притисок владее во кондензаторот на парната турбина?
7. Од каде доаѓа разладната вода во кондензаторот?

<i>I.</i>	<i>ПРИЛОЗИ</i>
-----------	----------------

СРЕДНА СПЕЦИФИЧНА ТОПЛИНА $c_p \Big|_0^t$ НА ГАСОВИТЕ

Табела I/1-1

$t [^{\circ}C]$	H₂	N₂	O₂	CO
	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$
0	14,195	1,039	0,915	1,040
100	14,353	1,040	0,923	1,042
200	14,421	1,043	0,935	1,046
300	14,446	1,049	0,950	1,054
400	14,477	1,057	0,965	1,063
500	14,509	1,066	0,979	1,075
600	14,542	1,076	0,993	1,086
700	14,581	1,087	1,005	1,098
800	14,641	1,097	1,016	1,109
900	14,706	1,108	1,026	1,120
1000	14,776	1,118	1,035	1,130
1100	14,853	1,121	1,043	1,140
1200	14,934	1,136	1,051	1,149
1300	15,023	1,145	1,058	1,158
1400	15,113	1,153	1,065	1,166
1500	15,202	1,160	1,071	1,173
1600	15,294	1,167	1,077	1,180
1700	15,383	1,174	1,083	1,187
1800	15,472	1,180	1,089	1,192
1900	15,561	1,186	1,094	1,198
2000	15,649	1,191	1,099	1,203
2100	15,836	1,197	1,104	1,208
2200	15,819	1,201	1,109	1,213
2300	15,902	1,206	1,114	1,218
2400	15,983	1,210	1,118	1,222
2500	16,064	1,214	1,123	1,226
2600	16,141	-	1,127	-
2700	16,215	-	1,131	-

СРЕДНА СПЕЦИФИЧНА ТОПЛИНА $c_p \Big|_0^t$ НА ГАСОВИТЕ

Табела I/1-2

$t [^{\circ}C]$	CO₂	Воздух	H₂O	SO₂
	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_p \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$
0	0,815	1,004	1,859	0,607
100	0,866	1,006	1,873	0,636
200	0,910	1,012	1,894	0,662
300	0,949	1,019	1,919	0,687
400	0,983	1,028	1,948	0,708
500	1,013	1,039	1,978	0,724
600	1,040	1,050	2,009	0,737
700	1,064	1,061	2,042	0,754
800	1,085	1,071	2,075	0,762
900	1,104	1,081	2,110	0,775
1000	1,122	1,091	2,144	0,783
1100	1,138	1,100	2,177	0,791
1200	1,153	1,108	2,211	0,795
1300	1,166	1,117	2,243	-
1400	1,178	1,124	2,274	-
1500	1,189	1,131	2,305	-
1600	1,200	1,138	2,335	-
1700	1,209	1,144	2,363	-
1800	1,218	1,150	2,391	-
1900	1,226	1,156	2,417	-
2000	1,233	1,161	2,442	-
2100	1,241	1,166	2,466	-
2200	1,247	1,171	2,489	-
2300	1,253	1,176	2,512	-
2400	1,259	1,180	2,533	-
2500	1,264	1,184	2,554	-
2600	-	-	2,574	-
2700	-	-	2,594	-
2800	-	-	2,612	-
2900	-	-	2,630	-

СРЕДНА СПЕЦИФИЧНА ТОПЛИНА $c_v \Big|_0^t$ НА ГАСОВИТЕ

Табела I/2-1

$t [^{\circ}C]$	H₂	N₂	O₂	CO
	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$
0	1,0071	0,742	0,655	11,743
100	1,0228	0,744	0,663	0,745
200	1,0297	0,747	0,675	0,749
300	1,0322	0,752	0,690	0,757
400	1,0353	0,760	0,705	0,767
500	1,0384	0,769	0,719	0,777
600	1,0417	0,779	0,722	0,789
700	1,0463	0,790	0,745	0,801
800	1,0517	0,801	0,756	0,812
900	1,0581	0,811	0,766	0,823
1000	1,0652	0,821	0,775	0,834
1100	1,0729	0,830	0,783	0,843
1200	1,0809	0,839	0,791	0,857
1300	1,0899	0,848	0,798	0,861
1400	1,0988	0,856	0,805	0,869
1500	1,1077	0,863	0,811	0,876
1600	1,1169	0,870	0,817	0,883
1700	1,1258	0,877	0,823	0,889
1800	1,1347	0,883	0,829	0,896
1900	1,1437	0,889	0,834	0,901
2000	1,1524	0,893	0,839	0,906
2100	1,1611	0,900	0,844	0,911
2200	1,1694	0,905	0,849	0,916
2300	1,1798	0,909	0,854	0,921
2400	1,1885	0,914	0,858	0,925
2500	1,1939	0,918	0,863	0,929
2600	1,2016	-	0,868	-
2700	1,2091	-	0,872	-

СРЕДНА СПЕЦИФИЧНА ТОПЛИНА $c_v \Big|_0^t$ НА ГАСОВИТЕ

Табела I/2-2

$t [^{\circ}C]$	CO₂	Воздух	H₂O	SO₂
	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$	$c_v \Big _0^t \left[\frac{kJ}{kgK} \right]$
0	0,626	0,716	1,398	0,477
100	0,677	0,719	1,411	0,507
200	0,721	0,724	1,432	0,532
300	0,760	0,732	1,457	0,557
400	0,794	0,741	1,486	0,578
500	0,824	0,752	1,516	0,595
600	0,851	0,762	1,547	0,807
700	0,875	0,773	0,581	0,624
800	0,896	0,784	1,614	0,632
900	0,916	0,794	1,648	0,645
1000	0,933	0,804	1,682	0,653
1100	0,950	0,813	1,716	0,662
1200	0,964	0,821	1,749	0,666
1300	0,977	0,829	1,781	-
1400	0,989	0,837	1,813	-
1500	1,001	0,844	1,843	-
1600	1,011	0,851	1,873	-
1700	1,020	0,857	1,902	-
1800	1,029	0,863	1,929	-
1900	1,037	0,869	1,955	-
2000	1,045	0,874	1,980	-
2100	1,052	0,879	2,005	-
2200	1,058	0,884	2,028	-
2300	1,064	0,889	2,050	-
2400	1,070	0,893	2,072	-
2500	1,075	0,897	2,093	-
2600	-	-	2,113	-
2700	-	-	2,132	-

СРЕДНА СПЕЦИФИЧНА ТОПЛИНА НА ПРЕГРЕАНА ВОДЕНА ПАРЕА

Табела 1/3-1

P [MPa]	Температура [°C]																			
	100	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	540
0,0981	1,976	1,980	1,985	1,989	1,997	2,005	2,014	2,026	2,039	2,047	2,060	2,072	2,085	2,098	2,110	2,123	2,135	2,148	2,165	2,165
0,4903	2,181	2,139	2,106	2,085	2,077	2,072	2,072	2,077	2,081	2,085	2,093	2,102	2,110	2,119	2,131	2,144	2,152	2,165	2,186	2,177
0,981	2,500	2,361	2,278	2,223	2,190	2,169	2,152	2,144	2,139	2,135	2,135	2,139	2,144	2,148	2,556	2,165	2,173	2,186	2,194	2,194
1,961	-	-	2,943	2,667	2,495	2,382	2,328	2,290	2,261	2,240	2,227	2,215	2,211	2,206	2,211	2,211	2,215	2,219	2,227	2,227
2,942	-	-	-	3,421	2,948	2,692	2,554	2,458	2,395	2,353	2,324	2,299	2,282	2,273	2,265	2,257	2,257	2,257	2,257	2,261
3,923	-	-	-	-	3,634	3,128	2,847	2,671	2,550	2,479	2,428	2,386	2,357	2,336	2,319	2,307	2,303	2,299	2,299	2,294
4,903	-	-	-	-	-	3,756	3,224	2,935	2,734	2,621	2,541	2,483	2,437	2,403	2,378	2,361	2,349	2,340	2,340	2,332
5,884	-	-	-	-	-	4,622	3,718	3,249	2,956	2,780	2,667	2,587	2,525	2,474	2,441	2,416	2,395	2,382	2,382	2,370
6,865	-	-	-	-	-	-	4,409	3,626	3,220	2,968	2,809	2,700	2,617	2,550	2,508	2,470	2,441	2,424	2,424	2,407
7,845	-	-	-	-	-	-	5,485	4,124	3,542	3,186	2,968	2,826	2,713	2,633	2,575	2,529	2,441	2,466	2,466	2,445
8,826	-	-	-	-	-	-	-	4,811	3,940	3,442	3,153	2,964	2,818	2,721	2,646	2,587	2,541	2,512	2,512	2,483
9,81	-	-	-	-	-	-	-	5,761	4,434	3,743	3,362	3,115	2,935	2,814	2,721	2,654	2,600	2,558	2,525	2,525
10,79	-	-	-	-	-	-	-	7,097	5,053	4,099	3,596	3,278	3,056	2,914	2,805	2,721	2,654	2,604	2,567	2,567
11,77	-	-	-	-	-	-	-	-	5,862	4,522	3,856	3,458	3,190	3,019	2,889	2,788	2,713	2,654	2,608	2,608
12,75	-	-	-	-	-	-	-	-	6,996	5,028	4,145	3,655	3,341	3,128	2,977	2,864	2,776	2,709	2,654	2,654
13,73	-	-	-	-	-	-	-	-	8,755	5,652	4,476	3,873	3,500	3,241	3,069	2,939	2,839	2,759	2,700	2,700
14,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,494	4,873	4,116	3,668	3,358	3,169	3,019	2,906	2,818	2,747	2,747
15,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,746	5,364	4,392	3,848	3,483	3,278	3,102	2,973	2,872	2,797	2,797
16,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,776	5,991	4,714	4,040	3,626	3,395	3,190	3,044	2,931	2,847	2,847
17,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,795	5,095	4,271	3,785	3,517	3,282	3,119	2,998	2,897	2,897
18,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,854	5,568	4,534	3,961	3,647	3,383	3,199	3,061	2,952	2,952
19,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,441	6,150	4,832	4,157	3,785	3,488	3,278	3,123	3,006	3,006
20,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,849	6,850	5,171	4,375	3,931	3,596	3,366	3,195	3,061	3,061
21,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,670	5,556	4,614	4,091	3,714	3,454	3,266	3,119	3,119

ВРЕЛА ВОДА И ЗАСИТЕНА ВОДЕНА ПАРЕА (СО ПРОМЕНА НА ТЕМПЕРАТУРАТА)

Табела II/1-1

Температура на заситување		Притисок	Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување	Ентропија	
T_z	t_z		v'	v''	i'	i''		s'	s''
K	$^{\circ}\text{C}$	bar	m^3 / kg	m^3 / kg	kJ / kg	kJ / kg	$\text{kJ} / \text{kg K}$	$\text{kJ} / \text{kg K}$	
273	0	0.006102	0.0010002	206.3	0	2501	0.0000	9.1544	
274	1	0.00657	0.0010001	192.6	4.23	2502	0.0155	9.1281	
276	3	0.00757	0.0010001	168.2	12.6	2506	0.0456	9.0757	
278	5	0.00872	0.0010001	147.2	21.1	2510	0.0762	9.0242	
280	7	0.01001	0.0010001	129.1	29.4	2514	0.1063	8.9736	
282	9	0.01147	0.0010003	113.4	37.8	2518	0.1365	8.9237	
284	11	0.01312	0.0010005	99.91	46.2	2521	0.1658	8.8752	
286	13	0.01497	0.0010007	88.18	54.6	2525	0.1951	8.8274	
288	15	0.01704	0.0010010	77.97	63.0	2528	0.2244	8.7806	
290	17	0.01936	0.0010013	69.10	71.3	2532	0.2533	8.7341	
292	19	0.02196	0.0010016	61.34	79.7	2536	0.2822	8.6889	
294	21	0.02486	0.0010021	54.56	88.1	2539	0.3101	8.6441	
296	23	0.02808	0.0010025	48.62	96.5	2543	0.3391	8.6001	
298	25	0.03167	0.0010030	43.40	104.5	2546	0.3672	8.5570	
300	27	0.03564	0.0010036	38.82	113.2	2550	0.3952	8.5147	
302	29	0.04004	0.0010041	34.77	121.5	2554	0.4229	8.4708	
304	31	0.04491	0.0010047	31.00	129.9	2558	0.4505	8.4318	
306	33	0.05029	0.0010054	28.04	138.2	2561	0.4777	8.3916	
308	35	0.05622	0.0010061	25.24	146.6	2565	0.5049	8.3518	
310	37	0.06274	0.0010068	22.77	155.0	2569	0.5321	8.3129	
312	39	0.06991	0.0010076	20.56	163.3	2572	0.5589	8.2748	
314	41	0.07778	0.0010083	18.59	171.7	2575	0.5857	8.2371	
316	43	0.08639	0.0010091	16.84	180.0	2579	0.6121	8.2003	
318	45	0.09582	0.0010099	15.28	188.4	2582	0.6385	8.1638	
320	47	0.1061	0.0010108	13.88	196.8	2586	0.6649	8.1278	
322	49	0.1174	0.0010116	12.62	205.1	2590	0.6908	8.0927	
324	51	0.1296	0.0010126	11.99	213.5	2593	0.7168	8.0579	
326	53	0.1429	0.0010135	10.49	221.9	2597	0.7423	8.0236	

Табела III/1-2

Температура на заситување		Притисок P	Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување		Ентропија	
Tz	tz °C		v' m ³ / kg	v'' m ³ / kg	i' kJ / kg	i'' kJ / kg	r = i'' - i' kJ / kg	s' kJ / kg K	s'' kJ / kg K	
K		bar								
328	55	0.1574	0.0010145	9.578	230.2	2600	2370	0.7679	7.9901	
330	57	0.1731	0.0010155	8.757	238.6	2604	2366	0.7934	7.9570	
332	59	0.1902	0.0010166	8.020	246.9	2608	2361	0.8185	7.9248	
334	61	0.2086	0.0010177	7.353	255.3	2611	2355	0.8436	7.8925	
336	63	0.2285	0.0010188	6.749	263.7	2614	2350	0.8688	7.8607	
338	65	0.2501	0.0010199	6.201	272.1	2618	2345	0.8935	7.8297	
340	67	0.2733	0.0010210	5.705	280.4	2621	2341	0.9182	7.7992	
342	69	0.2984	0.0010222	5.255	288.8	2625	2336	0.9429	7.7694	
344	71	0.3254	0.0010234	4.846	297.2	2628	2331	0.9672	7.7391	
346	73	0.3543	0.0010246	4.473	305.6	2631	2326	0.9919	7.7104	
348	75	0.3855	0.0010252	4.299	314.0	2635	2321	1.0157	7.6815	
350	77	0.4189	0.0010270	3.824	322.3	2638	2316	1.0396	7.6535	
352	79	0.4547	0.0010283	3.540	330.8	2641	2311	1.0634	7.6254	
354	81	0.4931	0.0010297	3.282	339.1	2645	2306	1.0873	7.5978	
356	83	0.5342	0.0010310	3.045	347.5	2648	2301	1.1108	7.5706	
358	85	0.5780	0.0010324	2.828	356.0	2651	2296	1.1342	7.5438	
360	87	0.6249	0.0010338	2.629	364.4	2655	2291	1.1577	7.5174	
362	89	0.6749	0.0010352	2.447	372.8	2658	2285	1.1807	7.4914	
364	91	0.7280	0.0010366	2.279	381.2	2661	2280	1.2041	7.4659	
366	93	0.7849	0.0010381	2.124	389.6	2664	2275	1.2272	7.4408	
368	95	0.8452	0.0010396	1.982	398.0	2668	2270	1.2502	7.4157	
370	97	0.9095	0.0010412	1.851	406.5	2671	2265	1.2732	7.3905	
372	99	0.9778	0.0010427	1.730	414.9	2674	2259	1.2958	7.3667	
374	101	1.050	0.0010443	1.618	423.3	2677	2254	1.3184	7.3428	
376	103	1.127	0.0010468	1.515	431.7	2680	2249	1.3410	7.3194	
378	105	1.208	0.0010474	1.419	440.2	2683	2243	1.3632	7.2959	
380	107	1.294	0.0010490	1.331	448.7	2687	2238	1.3854	7.2725	
382	109	1.385	0.0010507	1.249	457.1	2690	2232	1.4076	7.2499	
384	111	1.481	0.0010523	1.173	465.5	2693	2227	1.4294	7.2273	
386	113	1.583	0.0010540	1.102	474.0	2696	2222	1.4516	7.2051	
388	115	1.691	0.0010558	1.036	482.5	2699	2216	1.4733	7.1833	
390	117	1.804	0.0010576	0.9754	491.0	2702	2211	1.4951	7.1615	

Табела II/1-3

Температура на заситување		Притисок		Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување		Ентропија	
T_z	t_z	p	v'	v''	i'	i''	$r = i'' - i'$	s'	s''	kJ / kg K	kJ / kg K
K	$^{\circ}\text{C}$	bar	m^3 / kg	m^3 / kg	kJ / kg	kJ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	kJ / kg K		
392	119	1.923	0.0010594	0.9186	499.5	2705	2205	1.5169	7.1402		
394	121	2.049	0.0010612	0.8657	507.9	2708	2200	1.5386	7.1197		
396	123	2.181	0.0010630	0.8164	516.7	2711	2194	1.5600	7.0983		
398	125	2.321	0.0010649	0.7704	525.0	2713	2188	1.5814	7.0778		
400	127	2.467	0.0010668	0.7276	533.4	2716	2183	1.6027	7.0573		
405	132	2.864	0.0010717	0.6321	554.8	2723	2168	1.6555	7.0074		
410	137	3.317	0.0010767	0.5512	576.1	2730	2154	1.7078	6.9589		
415	142	3.823	0.0010819	0.4824	597.9	2737	2139	1.7597	6.9116		
420	147	4.389	0.0010873	0.4237	619.2	2743	2124	1.8112	6.8655		
425	152	5.020	0.0010928	0.3733	641.0	2749	2108	1.8623	6.8203		
430	157	5.723	0.0010986	0.3299	662.1	2754	2092	1.9125	6.7768		
435	162	6.502	0.0011044	0.2925	684.1	2760	2076	1.9628	6.7336		
440	167	7.362	0.0011106	0.2600	705.9	2765	2059	2.0122	6.6918		
445	172	8.311	0.0011169	0.2318	728.1	2771	2043	2.0616	6.6499		
450	177	9.354	0.0011234	0.2071	749.9	2775	2026	2.1101	6.6097		
455	182	10.50	0.0011303	0.1856	772.0	2780	2008	2.1585	6.5699		
460	187	11.75	0.0011372	0.1666	794.2	2784	1990	2.2069	6.5306		
465	192	13.11	0.0011445	0.1499	816.4	2788	1971	2.2550	6.4921		
470	197	14.60	0.0011519	0.1352	839.0	2791	1952	2.3023	6.4544		
475	202	16.21	0.0011596	0.1222	861.2	2794	1932	2.3496	6.4167		
480	207	17.96	0.0011676	0.1106	884.3	2797	1913	2.3965	6.3798		
485	212	19.85	0.0011760	0.1003	906.9	2799	1892	2.4434	6.3430		
490	217	21.90	0.0011846	0.09110	929.9	2801	1871	2.4899	6.3066		
495	222	24.10	0.0011937	0.08288	952.9	2802	1849	2.5364	6.2706		
500	227	26.47	0.0012029	0.07552	976.4	2803	1826	2.5824	6.2346		
505	232	29.02	0.0012126	0.06891	999.8	2804	1804	2.6285	6.1994		
510	237	31.75	0.0012228	0.06296	1023	2803	1780	2.6745	6.1638		
515	242	34.67	0.0012334	0.05759	1047	2803	1756	2.7206	6.1282		
520	247	37.80	0.0012443	0.05274	1071	2802	1731	2.7658	6.1006		
525	252	41.14	0.0012558	0.04835	1096	2801	1705	2.8119	6.0579		
530	257	44.70	0.0012680	0.04436	1120	2798	1678	2.8579	6.0223		
535	262	48.48	0.0012804	0.04074	1145	2796	1650	2.9035	5.9871		
540	267	52.51	0.0012940	0.03744	1170	2792	1622	2.9488	5.9511		

Табела III/1-4

Температура на заситување	Т _z	Притисок		Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување r = i'' - i'	Ентропија					
		P	bar	v'	m ³ / kg	i'	kJ / kg		i''	kJ / kg	s'	kJ / kg K	s''	kJ / kg K
	°C													
545	272	56.79	0.0013080	0.03443	1195	2788	1593	2.9952	5.9155					
550	277	61.34	0.0013228	0.03176	1221	2783	1562	3.0405	5.8791					
555	282	66.16	0.0013385	0.02915	1247	2778	1530	3.0869	5.8427					
560	287	71.24	0.0013550	0.02684	1274	2770	1497	3.1330	5.8054					
565	292	76.64	0.0013727	0.02471	1301	2763	1462	3.1799	5.7673					
570	297	82.35	0.0013916	0.02275	1328	2755	1427	3.2263	5.7288					
575	302	88.37	0.001412	0.02094	1356	2745	1389	3.2741	5.6890					
580	307	94.72	0.001434	0.01926	1385	2734	1350	3.3218	5.6484					
585	312	101.4	0.001457	0.01771	1414	2722	1308	3.3704	5.6061					
590	317	108.5	0.001483	0.01627	1444	2709	1265	3.4194	5.5626					
595	322	115.9	0.001511	0.01493	1475	2694	1220	3.4696	5.5169					
600	327	123.7	0.001542	0.01368	1506	2677	1170	3.5207	5.4701					
605	332	132.0	0.001577	0.01251	1539	2658	1119	3.5734	5.4215					
610	337	140.7	0.001615	0.01141	1573	2636	1063	3.6270	5.3692					
615	342	149.8	0.001658	0.01037	1609	2612	1002	3.6835	5.3130					
620	347	159.4	0.001707	0.009379	1647	2584	937	3.7417	5.2519					
625	352	169.5	0.001764	0.008425	1688	2551	863	3.8037	5.1837					
630	357	180.1	0.001840	0.007499	1732	2509	777	3.8780	5.1058					
635	362	191.3	0.001943	0.00656	1783	2460	677	3.9322	5.0145					
640	367	203.1	0.00208	0.00559	1844	2390	546	4.0411	4.8940					
645	372	215.6	0.00238	0.00440	1937	2273	336	4.1809	4.7018					
647	374	221.3	0.00318	0.00318	2100	2100	0	4.4296	4.4296					

ВРЕЛА ВОДА И ЗАСИТЕНА ВОДЕНА ПАРЕА (СО ПРОМЕНА НА ПРИТИСОКОТ)

Табела II/2-1

Притисок p	Температура на заситување		Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување		Ентропија	
	Tz K	tz °C	v' m ³ / kg	v'' m ³ / kg	i' kJ / kg	i'' kJ / kg	r = i'' - i' kJ / kg	s' kJ / kg K	s'' kJ / kg K	
0.0098	279.9	6.7	0.0010001	131.60	28.2	2513	2485	0.1017	8.9811	
0.014	285.9	12.7	0.0010006	89.63	53.5	2524	2471	0.1913	8.8341	
0.0196	290.4	17.2	0.0010013	68.25	72.2	2533	2460	0.2562	8.7299	
0.0245	294.0	20.8	0.0010020	55.27	87.2	2539	2452	0.3073	8.6487	
0.0294	297.0	23.8	0.0010027	46.57	99.7	2545	2445	0.3496	8.5834	
0.0343	299.6	26.4	0.0010034	40.22	110.5	2549	2439	0.3860	8.5281	
0.0392	301.8	28.6	0.0010040	35.46	120.0	2553	2433	0.4178	8.4884	
0.0441	303.9	30.7	0.0010046	31.71	128.6	2557	2428	0.4463	8.4381	
0.0490	305.8	32.6	0.0010052	28.72	136.4	2560	2424	0.4714	8.4008	
0.0588	309.0	35.8	0.0010063	24.19	150.0	2566	2416	0.5158	8.3355	
0.0686	311.9	38.7	0.0010074	20.91	161.9	2571	2409	0.5543	8.2811	
0.0785	314.4	41.2	0.0010084	18.45	172.3	2576	2403	0.5878	8.2342	
0.0883	316.6	43.4	0.0010093	16.50	181.7	2579	2398	0.6176	8.1927	
0.0981	318.7	45.5	0.0010101	14.95	190.3	2583	2393	0.6443	8.1559	
0.108	320.5	47.3	0.0010109	13.66	198.1	2587	2389	0.6691	8.1224	
0.118	322.3	49.1	0.0010117	12.59	205.4	2560	2384	0.6917	8.0914	
0.127	323.9	50.7	0.0010124	11.67	212.1	2593	2381	0.7126	8.0638	
0.137	325.4	52.2	0.0010131	10.89	218.4	2595	2377	0.7319	8.0374	
0.147	326.8	53.6	0.0010138	10.20	224.4	2598	2373	0.7499	8.0135	
0.157	328.1	54.9	0.0010145	9.603	230.0	2600	2371	0.7670	7.9909	
0.167	329.4	56.2	0.0010151	9.073	235.3	2603	2367	0.7834	7.9700	
0.177	330.6	57.4	0.0010157	8.601	240.3	2605	2364	0.7984	7.9503	
0.186	331.8	58.6	0.0010163	8.182	245.1	2607	2361	0.8131	7.9315	
0.196	332.9	59.7	0.0010169	7.789	249.2	2609	2359	0.8269	7.9139	
0.245	337.7	54.5	0.0010196	6.318	270.2	2617	2347	0.8880	7.8369	
0.294	341.9	68.7	0.0010220	5.324	287.5	2624	2337	0.9387	7.7741	
0.343	345.4	72.2	0.0010241	4.612	302.4	2630	2328	0.9822	7.7213	
0.392	348.6	75.4	0.0010261	4.066	315.7	2636	2320	1.0207	7.6757	

Табела II/2-2

Притисок p	Температура на заситување		Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување		Ентропија	
	T_z K	t_z °C	v' m ³ / kg	v'' m ³ / kg	i' kJ / kg	i'' kJ / kg	r = i'' - i' kJ / kg	s' kJ / kg K	s'' kJ / kg K	
0.441	351.5	78.3	0.0010279	3.641	327.7	2640	2312	1.0547	7.6355	
0.490	354.0	80.8	0.0010296	3.299	338.5	2644	2306	1.0852	7.5999	
0.539	356.4	83.2	0.0010312	3.017	348.5	2649	2300	1.1137	7.5672	
0.588	358.6	85.4	0.0010327	2.782	357.8	2655	2294	1.1396	7.5379	
0.637	360.7	87.5	0.0010341	2.581	366.5	2656	2289	1.1635	7.5107	
0.686	362.6	89.4	0.0010355	2.408	379.7	2659	2284	1.1861	7.4856	
0.735	364.4	91.2	0.0010368	2.257	382.3	2662	2279	1.2071	7.4626	
0.785	366.2	93.0	0.0010381	2.125	389.6	2664	2275	1.2272	7.4408	
0.834	367.8	94.6	0.0010392	2.008	396.1	2667	2271	1.2460	7.4203	
0.883	369.4	96.2	0.0010405	1.905	403.0	2670	2266	1.2636	7.4010	
0.932	370.8	97.6	0.0010417	1.810	409.3	2670	2263	1.2803	7.3826	
0.981	372.3	99.1	0.0010428	1.725	415.3	2675	2259	1.2967	7.3658	
1.08	374.9	101.7	0.0010448	1.578	426.5	2679	2252	1.3268	7.3340	
1.18	377.4	104.2	0.0010468	1.455	437.0	2682	2245	1.3548	7.3047	
1.27	379.7	106.5	0.0010487	1.350	446.8	2686	2240	1.3804	7.2775	
1.37	381.9	108.7	0.0010505	1.259	456.0	2689	2233	1.4047	7.2528	
1.47	384.0	110.8	0.0010522	1.181	464.7	2693	2228	1.4273	7.2298	
1.57	385.9	112.7	0.0010538	1.111	472.9	2695	2222	1.4486	7.2084	
1.67	387.7	114.5	0.0010554	1.050	480.7	2698	2218	1.4687	7.1879	
1.77	389.5	116.3	0.0010570	0.9954	488.2	2701	2213	1.4880	7.1691	
1.86	391.2	118.0	0.0010585	0.9462	495.3	2703	2208	1.5060	7.1511	
1.96	392.8	119.6	0.0010600	0.9018	502.1	2706	2204	1.5236	7.1339	
2.16	395.8	122.6	0.0010627	0.8248	515.0	2710	2195	1.5562	7.1021	
2.35	398.6	125.4	0.0010653	0.7603	527.1	2714	2187	1.5864	7.0732	
2.55	401.3	128.1	0.0010678	0.7055	538.0	2718	2180	1.6002	7.0464	
2.75	403.7	130.5	0.0010703	0.6581	548.9	2721	2173	1.6404	7.0217	
2.94	406.1	132.9	0.0010726	0.6166	558.5	2724	2165	1.6647	6.9991	
3.43	411.4	138.2	0.0010779	0.5338	581.5	2731	2150	1.7204	6.9476	

Табела III/2-3

Притисок p	Температура на заситување		Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување		Ентропија	
	T_z K	t_z °C	v' m³ / kg	v'' m³ / kg	i' kJ / kg	i'' kJ / kg	r = i'' - i' kJ / kg	s' kJ / kg K	s'' kJ / kg K	
3.92	416.1	142.9	0.0010829	0.4709	601.5	2738	2136	1.7693	6.9032	
4.41	420.4	147.2	0.0010875	0.4215	620.0	2743	2123	1.8133	6.8638	
4.90	424.3	151.1	0.0010918	0.3817	636.8	2748	2111	1.8531	6.8283	
5.88	431.3	158.1	0.0010998	0.3214	667.0	2756	2089	1.9234	6.7675	
6.86	437.3	164.1	0.0011071	0.2778	693.8	2763	2069	1.9837	6.7152	
7.85	442.8	169.6	0.0011139	0.2448	717.2	2767	2050	2.0381	6.6700	
8.83	447.7	174.5	0.0011202	0.2189	739.0	2773	2034	2.0863	6.6294	
9.81	452.2	179.0	0.0011262	0.1980	759.1	2777	2018	2.1302	6.5934	
10.8	456.4	183.2	0.0011319	0.1808	777.5	2780	2003	2.1704	6.5607	
11.8	460.3	187.1	0.0011373	0.1663	794.7	2784	1989	2.2077	6.5302	
12.7	463.9	190.7	0.0011426	0.1540	810.6	2787	1876	2.2425	6.5021	
13.7	467.3	194.1	0.0011476	0.1434	825.9	2789	1963	2.2751	6.4761	
14.7	470.5	197.3	0.0011525	0.1342	840.3	2791	1951	2.3057	6.4519	
15.7	473.6	200.4	0.0011572	0.1261	854.1	2793	1939	2.3350	6.4284	
16.7	476.5	203.3	0.0011618	0.1189	867.5	2795	1927	2.3622	6.4060	
17.7	479.3	206.1	0.0011662	0.1125	880.1	2796	1916	2.3886	6.3861	
18.6	482.0	208.8	0.0011706	0.1067	892.2	2798	1905	2.4133	6.3664	
19.6	484.6	211.4	0.0011749	0.1015	903.9	2799	1895	2.4376	6.3476	
21.6	489.4	216.2	0.0011833	0.09251	926.1	2800	1874	2.4828	6.3124	
23.5	493.9	220.7	0.0011914	0.08486	947.1	2802	1855	2.5251	6.2794	
25.5	498.2	225.0	0.0011992	0.07838	966.7	2803	1836	2.5431	6.2488	
27.5	502.2	229.0	0.0012067	0.07282	985.6	2803	1817	2.6008	6.2203	
29.4	506.0	232.8	0.0012142	0.06797	1003	2803	1800	2.6356	6.1940	
31.4	509.0	236.3	0.0012215	0.06370	1020	2803	1783	2.6687	6.1684	
33.3	513.0	239.8	0.0012286	0.05995	1037	2803	1766	2.7001	6.1441	
35.3	516.2	243.0	0.0012356	0.05654	1052	2803	1751	2.7298	6.1211	
37.3	519.3	246.1	0.0012425	0.05352	1067	2802	1735	2.7587	6.0989	
39.2	522.4	249.2	0.0012493	0.05077	1081	2801	1720	2.7859	6.0780	

Табела III/2-4

Притисок p	Температура на заситување		Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување $r = i'' - i'$	Ентропија	
	Tz K	tz °C	v' m ³ / kg	v'' m ³ / kg	i' kJ / kg	i'' kJ / kg		s' kJ / kg K	s'' kJ / kg K
bar									
41.2	525.2	252.0	0.0012561	0.04829	1096	2800	1704	2.8127	6.0575
43.1	528.0	254.8	0.0012628	0.04601	1110	2799	1689	2.8382	6.0374
45.1	530.7	257.5	0.0012694	0.04394	1123	2798	1675	2.8629	6.0185
47.1	533.3	260.1	0.0012759	0.04203	1136	2796	1660	2.8868	6.0001
49.0	535.9	262.7	0.0012825	0.04026	1148	2795	1646	2.9098	5.9821
51.0	538.3	265.1	0.0012890	0.03863	1161	2793	1633	2.9320	5.9645
53.0	540.7	267.5	0.0012954	0.03711	1173	2791	1619	2.9538	5.9473
54.9	543.0	269.2	0.0013018	0.03569	1184	2790	1605	2.9751	5.9310
56.9	545.3	272.1	0.0013083	0.03437	1196	2788	1592	2.9957	5.9147
58.8	547.5	274.3	0.0013147	0.03313	1207	2786	1579	3.0158	5.8988
60.8	549.6	276.4	0.0013211	0.03197	1218	2783	1565	3.0354	5.8833
62.8	551.7	278.5	0.0013275	0.03089	1229	2781	1552	3.0547	5.8682
64.7	553.7	280.5	0.0013338	0.02986	1240	2779	1539	3.0731	5.8531
66.7	555.7	282.5	0.0013402	0.02889	1250	2777	1527	3.0915	5.8385
68.6	557.7	284.5	0.0013466	0.02798	1260	2774	1514	3.1100	5.8243
70.6	559.6	286.4	0.0013530	0.02754	1271	2771	1501	3.1275	5.8100
72.6	561.4	288.2	0.0013593	0.02711	1280	2769	1488	3.1447	5.7958
74.5	563.3	290.1	0.0013658	0.02629	1290	2766	1478	3.1619	5.7824
76.5	565.0	291.8	0.0013722	0.02550	1300	2763	1463	3.1786	5.7686
78.5	566.8	293.6	0.0013787	0.02476	1310	2760	1451	3.1949	5.7548
80.4	568.5	295.3	0.0013852	0.02405	1319	2757	1439	3.2113	5.7448
82.4	570.2	297.0	0.0013917	0.02273	1328	2754	1426	3.2272	5.7284
84.3	571.9	298.7	0.0013983	0.02212	1338	2752	1414	3.2427	5.7154
86.3	573.5	300.3	0.0014409	0.02153	1346	2749	1402	3.2577	5.7024
88.3	575.1	301.9	0.0014115	0.02096	1356	2745	1390	3.2732	5.6886
90.2	576.7	303.5	0.0014181	0.02042	1364	2742	1378	3.2883	5.6769
92.2	578.2	305.8	0.0014249	0.01990	1373	2739	1366	3.3030	5.6643
94.1	579.7	306.6	0.0014316	0.01940	1382	2735	1353	3.3176	5.6518

Табела II/2-5

Притисок p	Температура на заситување		Специфичен волумен		Енталпија		Топлина на испарување		Ентропија	
	T_z K	t_z °C	v' m ³ / kg	v'' m ³ / kg	i' kJ / kg	i'' kJ / kg	r = i'' - i' kJ / kg	s' kJ / kg K	s'' kJ / kg K	
96.1	581.2	308.0	0.0014384	0.01892	1392	2732	1341	3.3319	5.6392	
98.1	582.7	309.5	0.0014453	0.01846	1399	2729	1329	3.3461	5.6271	
108	589.8	316.6	0.001480	0.01638	1441	2710	1269	3.4156	5.5659	
118	596.3	323.1	0.001517	0.01463	1482	2690	1208	3.4813	5.5061	
127	602.5	329.3	0.001557	0.01313	1521	2668	1146	3.5450	5.4479	
137	608.3	335.1	0.001600	0.01182	1560	2645	1084	3.6065	5.3897	
147	613.7	340.5	0.001644	0.01066	1599	2619	1020	3.6668	5.3290	
157	618.9	345.7	0.001693	0.009625	1637	2591	954	3.7267	5.2670	
167	623.8	350.6	0.001748	0.008681	1676	2560	884	3.7870	5.2008	
177	628.5	355.3	0.001812	0.007803	1717	2524	807	3.8485	5.1322	
186	633.0	359.8	0.001890	0.00697	1760	2483	723	3.9134	5.0577	
196	637.3	364.1	0.001987	0.00618	1806	2434	628	3.9833	4.9685	
206	641.3	368.1	0.00213	0.00535	1861	2369	508	4.0666	4.8592	
216	645.3	372.1	0.00238	0.00436	1938	2270	332	4.1839	4.6976	
221.3	647.3	374.1	0.00318	0.00318	2100	2100	0	4.4296	4.4296	

Табела III/3-1 ВОДА И ПРЕГРЕАНА ВОДЕНА ПАРЕА (вредности под дебелата хоризонтална линија)

Температура		p = 0.0098 bar				p = 0.0196 bar				p = 0.0294 bar				p = 0.0392 bar			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	
273.15	0	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	
293.15	20	137.9	2538	9.0627	68.93	2357	8.7446	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	
313.15	40	147.3	2575	9.1850	73.65	2574	8.8639	49.08	2574	8.6759	36.79	2574	8.6759	36.79	2574	8.5461	
323.15	50	152.0	2594	9.2461	76.01	2593	8.7333	50.65	2593	8.7333	37.98	2593	8.7333	37.98	2593	8.6035	
333.15	60	156.8	2613	9.3035	78.36	2612	8.9798	52.22	2612	8.7906	39.16	2612	8.7906	39.16	2612	8.6600	
353.15	80	166.2	2651	9.4136	83.07	2650	9.0903	55.36	2650	8.9032	41.51	2650	8.9032	41.51	2650	8.7709	
373.15	100	175.6	2688	9.5174	87.78	2688	9.1950	58.50	2688	9.0070	43.87	2688	9.0070	43.87	2688	8.8756	
393.15	120	185.0	2726	9.6162	92.49	2726	9.2938	61.64	2726	9.1058	46.23	2727	9.1058	46.23	2727	8.9748	
413.15	140	194.4	2764	9.7104	97.20	2764	9.3884	64.78	2764	9.2008	48.58	2764	9.2008	48.58	2764	9.0690	
423.15	150	199.1	2783	9.7561	99.55	2783	9.4340	66.35	2783	9.2465	49.76	2783	9.2465	49.76	2783	9.1147	
433.15	160	203.8	2803	9.8009	101.91	2802	9.4788	67.92	2802	9.2912	50.94	2803	9.2912	50.94	2803	9.1595	
453.15	180	213.2	2841	9.8875	106.61	2841	9.5658	71.06	2841	9.3779	53.28	2841	9.3779	53.28	2841	9.2465	
473.15	200	222.7	2880	9.9709	111.32	2879	9.6487	74.20	2879	9.4612	55.64	2880	9.4612	55.64	2880	9.3299	
493.15	220	232.1	2918	10.0513	116.02	2918	9.7287	77.34	2918	9.5416	57.99	2918	9.5416	57.99	2918	9.4103	
513.15	240	241.5	2958	10.1287	120.72	2957	9.8065	80.48	2957	9.6190	60.34	2958	9.6190	60.34	2958	9.4877	
523.15	250	246.2	2977	10.1664	123.07	2977	9.8446	82.05	2977	9.6571	61.52	2977	9.6571	61.52	2977	9.5258	
533.15	260	250.9	2997	10.2037	125.43	2996	9.8819	83.62	2996	9.6944	62.70	2997	9.6944	62.70	2997	9.5631	
553.15	280	260.3	3037	10.2765	130.13	3036	9.9543	86.76	3036	9.7672	65.05	3037	9.7672	65.05	3037	9.6359	
573.15	300	269.7	3077	10.3473	134.84	3076	10.0251	89.90	3076	9.8375	67.41	3077	9.8375	67.41	3077	9.7067	
593.15	320	279.1	3117	10.4155	139.55	3116	10.0937	93.03	3116	9.9069	69.76	3117	9.9069	69.76	3117	9.7749	
613.15	340	288.6	3157	10.4821	144.25	3157	10.1603	96.17	3157	9.9731	72.12	3157	9.9731	72.12	3157	9.8415	
623.15	350	293.3	3178	10.5147	146.60	3177	10.1929	97.73	3177	10.0058	73.30	3178	10.0058	73.30	3178	9.8746	
633.15	360	298.0	3198	10.5470	148.96	3198	10.2251	99.30	3198	10.0388	74.47	3198	10.0388	74.47	3198	9.9072	
653.15	380	307.4	3239	10.6110	153.67	3232	10.2884	102.44	3239	10.1046	76.82	3239	10.1046	76.82	3239	9.9909	
673.15	400	316.8	3280	10.6726	158.37	3280	10.3507	105.58	3280	10.1640	79.18	3280	10.1640	79.18	3280	10.0328	
693.15	420	326.2	3322	10.7333	163.1	3321	10.4114	108.72	3321	10.2247	81.53	3321	10.2247	81.53	3321	10.0940	
713.15	440	335.6	3364	10.7932	167.8	3363	10.4713	111.86	3363	10.2842	83.88	3363	10.2842	83.88	3363	10.1538	
723.15	450	340.3	3385	10.8225	170.2	3384	10.5010	113.42	3384	10.3139	85.06	3384	10.3139	85.06	3384	10.1831	
733.15	460	345.0	3406	10.8518	172.5	3405	10.5303	114.99	3404	10.3432	86.23	3405	10.3432	86.23	3405	10.2120	
753.15	480	354.4	3448	10.9091	177.2	3447	10.5876	118.30	3447	10.4005	88.59	3447	10.4005	88.59	3447	10.2698	
773.15	500	363.8	3491	10.9656	181.9	3490	10.6437	121.26	3489	10.4566	90.94	3447	10.4566	90.94	3447	10.3263	
793.15	520	373.2	3533	11.0213	186.6	3533	10.7028	124.40	3532	10.5123	93.30	3533	10.5123	93.30	3533	10.3816	
813.15	540	381.6	3576	11.0762	191.3	3575	10.7543	127.54	3575	10.5671	95.65	3576	10.5671	95.65	3576	10.4364	
823.15	550	387.3	3598	11.1030	193.6	3598	10.7810	129.11	3597	10.5939	96.83	3598	10.5939	96.83	3598	10.4632	
833.15	560	392.0	3619	11.1294	196.0	3619	10.8074	130.68	3619	10.6203	98.00	3619	10.6203	98.00	3619	10.4900	
853.15	580	401.4	3663	11.1817	200.7	3663	10.8597	133.82	3663	10.6726	100.36	3663	10.6726	100.36	3663	10.5424	
873.15	600	410.8	3707	11.2323	205.4	3707	10.9116	136.95	3707	10.7241	102.71	3707	10.7241	102.71	3707	10.5939	

Табела II/3-2

Температура		p = 0.049 bar			p = 0.0588 bar			p = 0.0686 bar			p = 0.0784 bar		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K
273.15	0	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
293.15	20	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	83.736	0.2964	0.0010018	83.736	0.2964
313.15	40	29.42	2547	8.4423	24.50	2574	8.3598	21.00	2574	8.2886	0.0010079	164.472	0.5715
323.15	50	30.36	2593	8.5005	25.29	2593	8.4163	21.68	2593	8.3460	18.97	2592	8.2827
333.15	60	31.31	2612	8.5574	26.08	2612	8.4728	22.36	2612	8.4025	19.56	2612	8.3397
353.15	80	33.19	2650	8.6679	27.65	2650	8.5829	23.71	2650	8.5122	20.74	2650	8.4502
373.15	100	35.08	2688	8.7726	29.23	2688	8.6880	25.06	2688	8.6169	21.92	2688	8.5545
393.15	120	36.96	2726	8.8718	30.80	2726	8.7873	26.40	2726	8.7161	23.10	2726	8.6537
413.15	140	38.85	2764	8.9660	37.37	2764	8.8819	27.75	2764	8.8111	24.28	2764	8.7487
423.15	150	39.79	2783	9.0117	33.15	2783	8.9275	28.42	2783	8.8568	24.87	2783	8.7944
433.15	160	40.73	2803	9.0565	33.94	2803	8.9723	29.09	2803	8.9016	25.46	2802	8.8392
453.15	180	42.62	2841	9.1436	35.51	2841	9.0594	30.43	2841	8.9882	26.64	2841	8.9258
473.15	200	44.50	2880	9.2273	37.08	2880	9.1431	31.78	2880	9.0715	27.82	2880	9.0092
493.15	220	48.39	2918	9.3077	38.65	2918	9.2235	33.12	2918	9.1519	28.99	2918	9.0900
513.15	240	48.27	2958	9.3847	40.22	2958	9.3006	34.47	2958	9.2298	30.17	2957	9.1678
523.15	250	49.21	2977	9.4224	41.00	2977	9.3382	35.14	2977	9.2675	30.76	2977	9.2055
533.15	260	50.51	2997	9.6601	41.79	2997	9.3755	35.82	2997	9.3047	31.35	2996	9.2428
553.15	280	52.04	3036	9.5329	43.36	3036	9.4488	37.16	3036	9.3776	32.52	3036	9.3152
573.15	300	53.92	3076	9.6037	44.93	3076	9.5195	38.51	3076	9.4484	33.70	3076	9.3860
593.15	320	55.80	3117	9.6723	46.50	3117	9.5878	39.85	3117	9.5170	34.88	3117	9.4546
613.15	340	57.69	3157	9.7389	48.00	3157	9.6543	41.20	3157	9.5836	36.05	3157	9.5216
623.15	350	58.63	3177	9.7720	48.85	3177	9.6874	41.87	3177	9.6168	36.64	3177	9.5547
633.15	360	59.57	3198	9.8046	49.64	3198	9.7201	42.54	3198	9.6489	37.23	3198	9.5869
653.15	380	61.46	3239	9.8679	51.20	3239	9.7837	43.89	3239	9.7125	38.41	3239	9.6502
673.15	400	63.33	3280	9.9298	52.78	3280	9.8457	45.23	3280	9.7745	39.59	3280	9.7125
693.15	420	65.21	3321	9.9910	54.35	3321	9.9068	46.58	3321	9.3852	40.76	3321	9.7732
713.15	440	67.09	3363	10.0508	55.92	3363	9.9667	47.92	3363	9.9851	41.94	3363	9.8331
723.15	450	68.03	3384	10.0801	56.70	3384	9.9960	48.59	3384	9.9248	42.53	3384	9.8624
733.15	460	68.98	3405	10.1094	57.48	3405	10.0253	49.26	3405	9.9541	43.12	3405	9.8917
753.15	480	70.86	3447	10.1668	59.05	3447	10.0827	50.61	3447	10.0115	44.30	3447	9.9495
773.15	500	72.74	3490	10.2229	60.62	3490	10.1392	51.96	3490	10.0680	45.47	3490	10.0060
793.15	520	74.68	3533	10.2786	62.18	3533	10.1944	53.30	3533	10.1233	46.65	3533	10.0613
813.15	540	76.51	3576	10.3334	63.76	3576	10.2493	54.65	3576	10.1781	47.82	3576	10.1161
823.15	550	77.45	3598	10.3602	64.55	3598	10.2761	55.32	3598	10.2049	48.41	3598	10.1429
833.15	560	78.40	3619	10.3866	65.34	3619	10.3025	56.00	3620	10.2313	49.00	3620	10.1697
853.15	580	80.28	3663	10.4394	66.90	3663	10.3558	57.35	3663	10.2840	50.18	3663	10.2225
873.15	600	82.17	3707	10.4909	68.47	3707	10.4067	58.69	3707	10.3355	51.35	3707	10.2740

Табела III/3-3

Температура		p = 0.0883 bar			p = 0.098 bar			p = 0.147 bar			p = 0.196 bar		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ/kgK	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
293.15	20	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	83.736	0.2964	0.0010018	83.736	0.2964
313.15	40	0.0010079	167.472	0.5715	0.0010079	167.472	0.5715	0.0010079	167	0.5715	0.0010079	167.472	0.5715
323.15	50	16.85	2592	8.2283	15.16	2592	8.1798	0.0010121	209	0.7030	0.0010121	209.340	0.7030
333.15	60	17.38	2612	8.2853	15.64	2612	8.2363	10.46	2610	8.0476	7.792	2609	7.9143
353.15	80	18.43	2650	8.3954	16.58	2649	8.3464	11.10	2648	8.1581	8.277	2648	8.0244
373.15	100	19.48	2688	8.5000	17.53	2688	8.4515	11.73	2687	8.2632	8.752	2687	8.1295
393.15	120	20.53	2726	8.5993	18.47	2726	8.5507	12.32	2725	8.3620	8.226	2725	8.2292
413.15	140	21.58	2764	8.6943	19.42	2764	8.6453	12.99	2763	8.4486	9.699	2763	8.3242
423.15	150	22.10	2783	8.7399	19.89	2783	8.6910	13.31	2782	8.5026	9.936	2782	8.3698
433.15	160	22.62	2802	8.7847	20.36	2802	8.7358	13.63	2801	8.5478	10.172	2801	8.4146
453.15	180	23.67	2841	8.8714	21.30	2841	8.8228	14.26	2840	8.6345	10.645	2840	8.5017
473.15	200	24.72	2879	8.9547	22.24	2879	8.9066	14.89	2879	8.7178	11.118	2879	8.5855
493.15	220	25.77	2918	9.0355	23.19	2918	8.9870	15.52	2917	8.7986	11.591	2918	8.6658
513.15	240	26.81	2957	9.1134	24.19	2957	9.0644	16.15	2956	8.8764	12.063	2957	8.7441
523.15	250	27.34	2977	9.1511	24.60	2977	9.1025	16.47	2976	8.9141	12.299	2976	8.7822
533.15	260	27.86	2996	9.1884	25.07	2996	9.1398	16.78	2996	8.9509	12.535	2996	8.8195
553.15	280	28.91	3036	9.2608	26.02	3036	9.2122	17.42	3036	9.0238	13.007	3036	8.8919
573.15	300	29.95	3076	9.3315	26.96	3076	9.2830	18.05	3076	9.0949	13.478	3076	8.9635
593.15	320	31.00	3117	9.4006	27.90	3117	9.3521	18.67	3116	9.1640	13.949	3117	9.0322
613.15	340	32.05	3157	9.4672	28.84	3157	9.4190	19.31	3156	9.2305	14.420	3157	9.0988
623.15	350	32.57	3177	9.4998	29.31	3177	9.4517	19.62	3177	9.2632	14.656	3177	9.1314
633.15	360	33.09	3198	9.5321	29.78	3198	9.4839	19.94	3197	9.2954	14.891	3198	9.1636
653.15	380	34.14	3239	9.5957	30.72	3239	9.5476	20.57	3238	9.3595	15.362	3239	9.2277
673.15	400	35.19	3280	9.6581	31.67	3280	9.6100	21.20	3279	9.4218	15.833	3280	9.2901
693.15	420	36.23	3321	9.7192	32.61	3321	9.6707	21.83	3321	9.4825	16.30	3321	9.3508
713.15	440	37.28	3363	9.7791	33.55	3363	9.7301	22.46	3363	9.5420	16.77	3363	9.4103
723.15	450	37.80	3384	9.8084	34.02	3384	9.7598	22.78	3384	9.5717	17.00	3384	9.4400
733.15	460	38.32	3405	9.8377	34.49	3405	9.7892	23.08	3404	9.6010	17.23	3405	9.4693
753.15	480	39.37	3447	9.8951	35.43	3447	9.8469	23.72	3447	9.6588	17.70	3447	9.5271
773.15	500	40.42	3490	9.9516	36.38	3491	9.9035	24.35	3489	9.7157	18.19	3490	9.5840
793.15	520	41.46	3533	10.0069	37.32	3533	9.9587	24.98	3532	9.7718	18.64	3533	9.6401
813.15	540	42.51	3576	10.0617	38.26	3576	10.0132	25.61	3575	9.8266	19.11	3576	9.6950
823.15	550	43.04	3598	10.0885	38.73	3598	10.0399	25.93	3597	9.8534	19.35	3598	9.7217
833.15	560	43.56	3619	10.1153	39.20	3619	10.0667	26.24	3619	9.8798	19.60	3619	9.7481
853.15	580	44.60	3663	10.1681	40.14	3663	10.1195	26.98	3662	9.9317	20.07	3663	9.8000
873.15	600	45.65	3707	10.2196	41.08	3707	10.1710	27.51	3706	9.9828	20.54	3707	9.8511

Табела II/3-4

Температура		p = 0.294 bar			p = 0.392 bar			p = 0.490 bar			p = 0.589 bar		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
293.15	20	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	88	0.2964
313.15	40	0.0010079	168	0.5715	0.0010079	168	0.5715	0.0010079	168	0.5715	0.0010079	168	0.5715
323.15	50	0.0010121	209	0.7030	0.0010121	209	0.7034	0.0010121	209	0.7034	0.0010121	209	0.7034
333.15	60	0.0010171	251	0.8307	0.0010171	251	0.8307	0.0010171	251	0.8307	0.0010171	251	0.8307
353.15	80	5.507	2646	7.8348	4.123	2645	7.6991	0.0010290	335	1.0748	0.0010290	335	1.0743
373.15	100	5.826	2685	7.9403	4.365	2684	7.8067	3.487	2683	7.7025	2.902	2681	7.6141
393.15	120	6.143	2724	8.0403	4.604	2723	7.9076	3.679	2722	7.8038	3.063	2721	7.7171
413.15	140	6.459	2763	8.1354	4.842	2761	8.0035	3.870	2760	7.8988	3.223	2760	7.8134
423.15	150	6.617	2782	8.1814	4.961	2781	8.0495	3.965	2780	7.9449	3.302	2780	7.8595
433.15	160	6.776	2811	8.2262	5.079	2800	8.0948	4.060	2799	7.9901	3.382	2800	7.9047
453.15	180	7.092	2840	8.3133	5.317	2839	8.1818	4.250	2838	8.0780	3.540	2837	7.9922
473.15	200	7.407	2878	8.3979	5.553	2878	8.2656	4.440	2877	8.1617	3.700	2877	8.0759
493.15	220	7.722	2917	8.4789	5.790	2917	8.3460	4.620	2917	8.2421	3.858	2916	8.1571
513.15	240	8.038	2956	8.5561	6.026	2956	8.4238	4.819	2955	8.3204	4.016	2955	8.2350
523.15	250	8.195	2976	8.5942	6.145	2976	8.4619	4.913	2975	8.3585	4.095	2975	8.2731
533.15	260	8.352	2996	8.6315	6.263	2996	8.4992	5.008	2995	8.3958	4.174	2995	8.3104
553.15	280	8.667	3036	8.7044	6.500	3036	8.5725	5.197	3035	8.4691	4.331	3035	8.3832
573.15	300	8.983	3076	8.7751	6.736	3076	8.6432	5.387	3076	8.5398	4.489	3075	8.4544
593.15	320	9.298	3116	8.8442	6.971	3116	8.7115	5.577	3116	8.6081	4.646	3115	8.5239
613.15	340	9.612	3157	8.9116	7.207	3156	8.7789	5.767	3156	8.6755	4.804	3156	8.5909
623.15	350	9.769	3177	8.9447	7.325	3177	8.8120	5.861	3177	8.7081	4.882	3177	8.6240
633.15	360	9.926	3198	8.9769	7.443	3197	8.8442	5.955	3197	8.7404	4.961	3197	8.6562
653.15	380	10.240	3239	9.0401	7.679	3238	8.9078	6.144	3239	8.8044	5.118	3238	8.7198
673.15	400	10.554	3280	9.1025	7.916	3280	8.9702	6.333	3280	8.8664	5.277	3280	8.7222
693.15	420	10.868	3321	9.1636	8.151	3321	9.0313	6.521	3321	8.9275	5.434	3321	8.8434
713.15	440	11.182	3363	9.2235	8.387	3363	9.0912	6.710	3363	8.9878	5.591	3363	8.9032
723.15	450	11.339	3384	9.2532	8.505	3384	9.1209	6.804	3384	9.0171	5.671	3384	8.9325
733.15	460	11.496	3405	9.2826	8.623	3405	9.1503	6.898	3405	9.0464	5.750	3405	8.9618
753.15	480	11.810	3447	9.3403	8.858	3447	9.2080	7.087	3447	9.1042	5.906	3445	9.0192
773.15	500	12.124	3490	9.3973	9.093	3490	9.2646	7.275	3490	9.1607	6.063	3490	9.0761
793.15	520	12.438	3533	9.4534	9.329	3533	9.3202	7.464	3532	9.2168	6.220	3532	9.1318
813.15	540	12.752	3576	9.5078	9.564	3576	9.3751	7.652	3576	9.2717	6.376	3576	9.1867
823.15	550	12.909	3598	9.5346	9.682	3598	9.4019	7.746	3600	9.2985	6.454	3597	9.2139
833.15	560	13.066	3619	9.5610	9.799	3619	9.4283	7.839	3619	9.3248	6.532	3619	9.2407
853.15	580	13.380	3663	9.6129	10.034	3663	9.4802	8.027	3663	9.3772	6.689	3663	9.2930
873.15	600	13.693	3707	9.6640	10.269	3707	9.5313	8.215	3707	9.4283	6.846	3707	9.3441

Табела II/3-5

Температура		p = 0.686 bar			p = 0.785			p = 0.882 bar			p = 0.98		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
293.15	20	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	83.736	0.2964	0.0010018	84	0.2964
313.15	40	0.0010079	167	0.5715	0.0010079	167	0.5715	0.0010079	167	0.5715	0.0010079	167	0.5715
323.15	50	0.0010121	209	0.7034	0.0010121	209	0.7034	0.0010121	209	0.7034	0.0010121	209	0.7034
333.15	60	0.0010171	251	0.8307	0.0010171	251	0.8307	0.0010171	251	0.8307	0.0010171	251	0.8307
353.15	80	0.0010290	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	334	1.0748
373.15	100	2.484	2680	7.5413	2.169	2679	7.4772	1.925	2677	7.4198	1.730	2676	7.3700
393.15	120	2.623	2720	7.6438	2.292	2719	7.5810	2.035	2718	7.5249	1.830	2717	7.4739
413.15	140	2.760	2759	7.7406	2.413	2758	7.6782	2.143	2757	7.6255	1.926	2757	7.5710
423.15	150	2.828	2779	7.7866	2.472	2778	7.7246	2.196	2777	7.6690	1.975	2776	7.6175
433.15	160	2.896	2798	7.8318	2.532	2798	7.7703	2.249	2797	7.7146	2.023	2796	7.6631
453.15	180	3.033	2837	7.9198	2.652	2837	7.8582	2.356	2835	7.8290	2.119	2835	7.7519
473.15	200	3.169	2876	8.0043	2.771	2876	7.9428	2.462	2875	7.8875	2.214	2875	7.8364
493.15	220	3.304	2916	8.0851	2.890	2915	8.0240	2.568	2914	7.9687	2.310	2914	7.9185
513.15	240	3.440	2955	8.1638	3.009	2955	8.1019	2.673	2954	8.0470	2.405	2954	7.9972
523.15	250	3.508	2975	8.2019	3.068	2974	8.1400	2.726	2974	8.0851	2.452	2973	8.0357
533.15	260	3.576	2995	8.2392	3.127	2994	8.1772	2.779	2994	8.1224	2.500	2993	8.0738
553.15	280	3.711	3035	8.3121	3.246	3035	8.2505	2.884	3034	8.1957	2.595	3033	8.1479
573.15	300	3.847	3075	8.3836	3.364	3075	8.3217	2.989	3074	8.2668	2.690	3073	8.2204
593.15	320	3.982	3115	8.4527	3.482	3115	8.3899	3.095	3115	8.3351	2.784	3113	8.2899
613.15	340	4.117	3156	8.5197	3.601	3156	8.4569	3.200	3155	8.4025	2.880	3153	8.3573
623.15	350	4.184	3177	8.5524	3.660	3176	8.4900	3.252	3176	8.4356	2.927	3174	8.3903
633.15	360	4.252	3197	8.5846	3.720	3197	8.5227	3.305	3196	8.4682	2.975	3194	8.4230
653.15	380	4.388	3238	8.6487	3.838	3238	8.5863	3.410	3237	8.5394	3.068	3235	8.4871
673.15	400	4.522	3279	8.7111	3.956	3279	8.6487	3.515	3279	8.5938	3.163	3277	8.5499
693.15	420	4.657	3321	8.7718	4.074	3321	8.7098	3.620	3321	8.6545	3.257	3318	8.6110
713.15	440	4.792	3362	8.8316	4.191	3362	8.7697	3.725	3362	8.7140	3.352	3360	8.6704
723.15	450	4.859	3383	8.8614	4.250	3383	8.7990	3.778	3383	8.7437	3.399	3381	8.6998
733.15	460	4.927	3404	8.8907	4.309	3404	8.8283	3.830	3404	8.7730	3.446	3402	8.7286
753.15	480	5.061	3447	8.9480	4.427	3447	8.8861	3.936	3447	8.8308	3.540	3445	8.7860
773.15	500	5.196	3490	9.0050	4.545	3490	8.9430	4.040	3489	8.8877	3.635	3488	8.8421
793.15	520	5.331	3532	9.0607	4.663	3532	8.9991	4.145	3532	8.9438	3.729	3530	8.8970
813.15	540	5.465	3576	9.1155	4.781	3576	9.0540	4.249	3576	8.9987	3.824	3574	8.9570
823.15	550	5.532	3597	9.1427	4.840	3597	9.0812	4.302	3597	9.0259	3.871	3596	8.9778
833.15	560	5.598	3619	9.1695	4.898	3619	9.1080	4.354	3619	9.0527	3.918	3617	9.0041
853.15	580	5.733	3663	9.2218	5.016	3663	9.1603	4.458	3663	9.1055	4.012	3661	9.0556
873.15	600	5.867	3707	9.2729	5.134	3707	9.2114	4.563	3707	9.1570	4.107	3704	9.1059

Табела II/3-6

Температура		p = 1.178 bar			p = 1.373			p = 1.471 bar			p = 1.57		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000	0.0010002	0.0	0.0000
293.15	20	0.0010018	85	0.2964	0.0010018	85	0.2964	0.0010018	85	0.2964	0.0010018	85	0.2964
313.15	40	0.0010078	168	0.5115	0.0010078	168	0.5115	0.0010078	168	0.5115	0.0010078	168	0.5115
323.15	50	0.0010121	210	0.7034	0.0010120	210	0.7034	0.0010120	210	0.7034	0.0010120	210	0.7034
333.15	60	0.0010170	252	0.8307	0.0010170	252	0.8307	0.0010170	252	0.8307	0.0010170	252	0.8307
353.15	80	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748
373.15	100	0.0010435	420	1.3067	0.0010435	420	1.3057	0.0010435	420	1.3067	0.0010435	420	1.3067
393.15	120	1.521	2716	7.3855	1.300	2714	7.3106	1.212	2713	7.2771	1.135	2711	7.2457
413.15	140	1.602	2755	7.4839	1.371	2754	7.4106	1.278	2753	7.3780	1.197	2752	7.3470
423.15	150	1.643	2776	7.5308	1.406	2774	7.4584	1.311	2773	7.4257	1.228	2773	7.3943
433.15	160	1.683	2795	7.5769	1.440	2794	7.5044	1.343	2794	7.4722	1.258	2793	7.4404
453.15	180	1.763	2835	7.6660	1.509	2834	7.5932	1.408	2833	7.5614	1.319	2832	7.5295
473.15	200	1.843	2874	7.7514	1.578	2873	7.6786	1.472	2873	7.6459	1.379	2872	7.6150
493.15	220	1.923	2914	7.8335	1.647	2913	7.7607	1.536	2912	7.7284	1.439	2912	7.6979
513.15	240	2.002	2953	7.9122	1.715	2953	7.8398	1.600	2952	7.8080	1.499	2952	7.7774
523.15	250	2.042	2973	7.9503	1.749	2972	7.8787	1.632	2972	7.8465	1.529	2971	7.8159
533.15	260	2.082	2993	7.9880	1.783	2992	7.9268	1.664	2992	7.8846	1.559	2992	7.8540
553.15	280	2.161	3033	8.0629	1.851	3033	7.9909	1.727	3032	7.9587	1.619	3032	7.9281
573.15	300	2.240	3073	8.1354	1.918	3073	8.0634	1.791	3072	8.0311	1.678	3072	8.0006
593.15	320	2.320	3113	8.2053	1.987	3113	8.1333	1.865	3113	8.1006	1.738	3113	8.0705
613.15	340	2.399	3154	8.2727	2.056	3154	8.2007	1.918	3154	8.1680	1.798	3154	8.1387
623.15	350	2.439	3174	8.3058	2.089	3174	8.2338	1.950	3174	8.2011	1.828	3174	8.1718
633.15	360	2.478	3195	8.3384	2.123	3195	8.2664	1.981	3195	8.2342	1.857	3195	8.2045
653.15	380	2.556	3236	8.4025	2.190	3236	8.3309	2.044	3236	8.2991	1.916	3236	8.2685
673.15	400	2.636	3277	8.4649	2.258	3277	8.3937	2.107	3277	8.3619	1.975	3277	8.3313
693.15	420	2.713	3319	8.5260	2.325	3319	8.4548	2.170	3319	8.4226	2.034	3319	8.3929
713.15	440	2.792	3361	8.5869	2.393	3361	8.5147	2.233	3361	8.4825	2.093	3361	8.4527
723.15	450	2.832	3382	8.6152	2.426	3382	8.5448	2.264	3382	8.5118	2.123	3382	8.4820
733.15	460	2.871	3403	8.6441	2.460	3403	8.5729	2.296	3403	8.5407	2.152	3403	8.5109
753.15	480	2.950	3445	8.7041	2.528	3445	8.6303	2.359	3445	8.5980	2.211	3445	8.5679
773.15	500	3.028	3488	8.7579	2.595	3488	8.6868	2.422	3488	8.6545	2.270	3488	8.6244
793.15	520	3.107	3531	8.8128	2.662	3531	8.7416	2.486	3531	8.7094	2.330	3531	8.6792
813.15	540	3.186	3574	8.8668	2.731	3574	8.7956	2.549	3574	8.7634	2.389	3574	8.7332
823.15	550	3.225	3596	8.8936	2.765	3596	8.8224	2.580	3596	8.7902	2.418	3596	8.7600
833.15	560	3.265	3618	8.9200	2.798	3618	8.8488	2.611	3618	8.8166	2.448	3618	8.7864
853.15	580	3.343	3661	8.9715	2.865	3661	8.9003	2.674	3661	8.8681	2.507	3661	8.8379
873.15	600	3.422	3705	9.0217	2.933	3705	8.9505	2.737	3705	8.9183	2.566	3705	8.8882

Табела II/3-7

Температура		p = 1.764 bar				p = 1.96				p = 2.45				p = 2.94			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	
273.15	0	0.0010001	0.0	0.0000	0.0010001	0.0	0.0000	0.0010001	0.0	0.0000	0.0010001	0.0	0.0000	0.0010001	0.0	0.0000	
293.15	20	0.0010018	84	0.2964	0.0010018	84	0.2964	0.0010017	84	0.2964	0.0010017	84	0.2964	0.0010017	84	0.2964	
313.15	40	0.0010078	167	0.5715	0.0010078	167	0.5715	0.0010078	167	0.5715	0.0010078	167	0.5715	0.0010078	167	0.5715	
323.15	50	0.0010120	209	0.7034	0.0010120	209	0.7034	0.0010120	209	0.7034	0.0010120	209	0.7034	0.0010120	209	0.7034	
333.15	60	0.0010170	251	0.8307	0.0010170	251	0.8307	0.0010170	251	0.8307	0.0010170	251	0.8307	0.0010170	251	0.8307	
353.15	80	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	0.0010289	335	1.0748	
373.15	100	0.0010435	419	1.3067	0.0010435	419	1.3067	0.0010435	419	1.3067	0.0010435	419	1.3067	0.0010435	419	1.3067	
393.15	120	1.006	2709	7.1871	0.9027	2707	7.1356	0.0010603	504	1.5269	0.0010602	504	1.5269	0.0010602	504	1.5269	
413.15	140	1.062	2750	7.2888	0.9545	2749	7.2365	0.7597	2745	7.1276	0.6296	2740	7.0347	0.6296	2740	7.0347	
423.15	150	1.089	2771	7.3374	0.9795	2769	7.2855	0.7802	2766	7.1774	0.6472	2762	7.0866	0.6472	2762	7.0866	
433.15	160	1.117	2791	7.3843	1.003	2790	7.3332	0.8003	2786	7.2256	0.6643	2783	7.1360	0.6643	2783	7.1360	
453.15	180	1.171	2831	7.4743	1.052	2829	7.4240	0.8399	2827	7.3164	0.6975	2824	7.2277	0.6975	2824	7.2277	
473.15	200	1.225	2871	7.5597	1.101	2870	7.5090	0.8790	2867	7.4035	0.7304	2865	7.3148	0.7304	2865	7.3148	
493.15	220	1.278	2911	7.6417	1.149	2910	7.5919	0.9179	2907	7.4808	0.7631	2905	7.3985	0.7631	2905	7.3985	
513.15	240	1.332	2950	7.7213	1.197	2950	7.6719	0.9567	2947	7.5664	0.7956	2946	7.4793	0.7956	2946	7.4793	
523.15	250	1.358	2971	7.7602	1.221	2970	7.7108	0.9760	2968	7.6053	0.8119	2966	7.5182	0.8119	2966	7.5182	
533.15	260	1.385	2991	7.7983	1.245	2990	7.7493	0.9953	2988	7.6434	0.8281	2986	7.5563	0.8281	2986	7.5563	
553.15	280	1.438	3031	7.8729	1.293	3030	7.8239	1.033	3029	7.7184	0.8603	3027	7.6313	0.8603	3027	7.6313	
573.15	300	1.491	3071	7.9453	1.341	3070	7.8955	1.077	3070	7.7912	0.8923	3068	7.7045	0.8923	3068	7.7045	
593.15	320	1.545	3112	8.0156	1.389	3111	7.9662	1.111	3110	7.8620	0.9243	3109	7.7757	0.9243	3109	7.7757	
613.15	340	1.598	3153	8.0839	1.437	3153	8.0345	1.149	3151	7.9302	0.9562	3150	7.8448	0.9562	3150	7.8448	
623.15	350	1.624	3173	8.1169	1.461	3173	8.0680	1.168	3172	7.9637	0.9722	3171	7.8783	0.9722	3171	7.8783	
633.15	360	1.650	3194	8.1496	1.485	3194	8.1010	1.187	3192	7.9968	0.9881	3191	7.9114	0.9881	3191	7.9114	
653.15	380	1.702	3235	8.2137	1.532	3235	8.1655	1.225	3234	8.0618	1.020	3233	7.9763	1.020	3233	7.9763	
673.15	400	1.755	3276	8.2765	1.579	3276	8.2274	1.262	3276	8.1241	1.052	3275	8.0387	1.052	3275	8.0387	
693.15	420	1.807	3318	8.3380	1.626	3318	8.2894	1.300	3318	8.1856	1.083	3317	8.1002	1.083	3317	8.1002	
713.15	440	1.860	3360	8.3979	1.673	3360	8.3493	1.338	3360	8.2455	1.115	3359	8.1601	1.115	3359	8.1601	
723.15	450	1.886	3381	8.4272	1.697	3381	8.3786	1.357	3381	8.2748	1.131	3380	8.1898	1.131	3380	8.1898	
733.15	460	1.913	3402	8.4565	1.721	3402	8.4705	1.376	3402	8.3041	1.147	3401	8.2191	1.147	3401	8.2191	
753.15	480	1.965	3445	8.5139	1.768	3445	8.4649	1.414	3444	8.3615	1.179	3444	8.2765	1.179	3444	8.2765	
773.15	500	2.018	3488	8.5700	1.815	3488	8.5214	1.453	3487	8.4176	1.210	3486	8.3330	1.210	3486	8.3330	
793.15	520	2.071	3530	8.6248	1.864	3530	8.5762	1.490	3530	8.4724	1.242	3529	8.3883	1.242	3529	8.3883	
813.15	540	2.124	3574	8.6788	1.911	3574	8.6303	1.528	3573	8.5264	1.273	3572	8.4423	1.273	3572	8.4423	
823.15	550	2.150	3596	8.7056	1.935	3596	8.6570	1.547	3595	8.5532	1.289	3594	8.4691	1.289	3594	8.4691	
833.15	560	2.176	3617	8.7320	1.958	3617	8.6834	1.566	3616	8.5796	1.304	3616	8.4954	1.304	3616	8.4954	
853.15	580	2.228	3661	8.7833	2.005	3661	8.7349	1.604	3660	8.6311	1.336	3666	8.5469	1.336	3666	8.5469	
873.15	600	2.281	3704	8.8337	2.052	3704	8.7852	1.642	3704	8.6813	1.368	3703	8.5972	1.368	3703	8.5972	

Табела II/3-8

Температура		p = 3.4			p = 3.92			p = 4.41			p = 4.9		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.0010001	0.4	0.0000	0.0010000	0.4	0.0000	0.0010000	0.4	0.0000	0.0009999	0.4	0.0000
293.15	20	0.0010017	84	0.2964	0.0010017	84	0.2964	0.0010017	84	0.2964	0.0010016	84	0.2964
313.15	40	0.0010078	168	0.5714	0.0010077	167	0.5715	0.0010077	168	0.5714	0.0010077	168	0.5715
323.15	50	0.0010119	209	0.7028	0.0010119	209	0.7030	0.0010119	209	0.7028	0.0010119	209	0.7030
333.15	60	0.0010169	251	0.8301	0.0010169	251	0.8302	0.0010169	251	0.8301	0.0010168	251	0.8302
353.15	80	0.0010288	335	1.0741	0.0010288	335	1.0743	0.0010288	335	1.0741	0.0010287	335	1.0743
373.15	100	0.0010434	419	1.3060	0.0010433	419	1.3063	0.0010433	419	1.3060	0.0010433	419	1.3063
393.15	120	0.0010602	504	1.5266	0.0010602	504	1.5265	0.0010601	504	1.5262	0.0010601	504	1.5265
413.15	140	0.5369	2736	6.9559	0.0010798	589	1.7375	0.0010797	589	1.7372	0.0010797	589	1.7375
423.15	150	0.5425	2758	7.0074	0.4806	2754	6.9388	0.4251	2750	6.8768	0.0010906	632	1.8401
433.15	160	0.5675	2780	7.0572	0.4940	2776	6.9907	0.4374	2772	6.9291	0.3917	2769	6.8747
453.15	180	0.5964	2821	7.1514	0.5197	2818	7.0870	0.4605	2815	7.0270	0.4129	2812	6.9748
473.15	200	0.6249	2862	7.2397	0.5448	2859	7.1758	0.4821	2857	7.1162	0.4334	2854	7.0652
493.15	220	0.6532	2903	7.3251	0.5694	2901	7.2603	0.5055	2898	7.2267	0.4537	2896	7.1506
513.15	240	0.6812	2944	7.4050	0.5944	2942	7.3416	0.5276	2939	7.2836	0.4736	2937	7.2335
523.15	250	0.6953	2964	7.4440	0.6067	2962	7.3813	0.5386	2960	7.3234	0.4836	2958	7.2737
533.15	260	0.7092	2985	7.4867	0.6190	2983	7.4203	0.5496	2981	7.3623	0.4935	2979	7.3131
553.15	280	0.7370	3026	7.5578	0.6433	3024	7.4960	0.5713	3023	7.4385	0.5131	3021	7.3893
573.15	300	0.7640	3067	7.6311	0.6676	3065	7.5693	0.5929	3065	7.5122	0.5327	3062	7.4634
593.15	320	0.7920	3108	7.7018	0.6917	3107	7.6401	0.6145	3106	7.5834	0.5521	3104	7.5346
613.15	340	0.8195	3149	7.7705	0.7158	3148	7.7092	0.6360	3147	7.6524	0.5715	3146	7.6036
623.15	350	0.8332	3170	7.8040	0.7278	3169	7.7431	0.6467	3168	7.6859	0.5812	3167	7.6376
633.15	360	0.8469	3191	7.8374	0.7398	3189	7.7761	0.6575	3189	7.7194	0.5908	3188	7.6711
653.15	380	0.8743	3232	7.9032	0.7637	3231	7.8410	0.6787	3231	7.7851	0.6101	3230	7.7364
673.15	400	0.9016	3274	7.9664	0.7875	3273	7.9043	0.7000	3273	7.8487	0.6294	3272	7.8000
693.15	420	0.9288	3316	8.0279	0.8114	3315	7.9658	0.7213	3314	7.9107	0.6485	3314	7.8620
713.15	440	0.9561	3358	8.0882	0.8352	3358	8.0261	0.7372	3357	7.9710	0.6676	3356	7.9218
723.15	450	0.9697	3379	8.1179	0.8471	3379	8.0558	0.7532	3378	8.0032	0.6772	3377	7.9516
733.15	460	0.9833	3401	8.1472	0.8590	3400	8.0851	0.7637	3399	8.0300	0.6867	3398	7.9809
753.15	480	1.0110	3443	8.2050	0.8828	3443	8.1425	0.7849	3442	8.0874	0.7058	3441	8.0387
773.15	500	1.0378	3486	8.2615	0.9066	3485	8.1990	0.8060	3485	8.1443	0.7248	3484	8.0952
793.15	520	1.0648	3529	8.3172	0.9304	3529	8.2543	0.8272	3528	8.2000	0.7439	3527	8.1504
813.15	540	1.0918	3572	8.3712	0.9542	3572	8.3083	0.8798	3571	8.2540	0.7629	3570	8.2049
823.15	550	1.1054	3594	8.3980	0.9660	3594	8.3351	0.8588	3593	8.2812	0.7724	3592	8.2317
833.15	560	1.1129	3616	8.4243	0.9779	3616	8.3615	0.8694	3615	8.3075	0.7819	3614	8.2580
853.15	580	1.1470	3660	8.4762	1.0016	3659	8.4130	0.8905	3659	8.3594	0.8009	3657	8.3095
873.15	600	1.1730	3704	8.5277	1.0252	3703	8.4636	0.9116	3703	8.4109	0.8198	3701	8.3602

Табела II/3-9

Температура		p = 5.88			p = 6.86			p = 7.85			p = 8.82		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.0009999	0.4	0.0000	0.0009999	0.8	0.0000	0.0009999	0.8	0.0000	0.0009997	0.8	0.0000
293.15	20	0.0010016	84	0.2964	0.0010015	84	0.2964	0.0010013	84	0.2964	0.0010013	84	0.2960
313.15	40	0.0010077	187	0.5715	0.0010076	168	0.5715	0.0010076	168	0.5715	0.0010075	168	0.5711
323.15	50	0.0010118	209	0.7030	0.0010118	210	0.7030	0.0010118	210	0.7030	0.0010117	210	0.7030
333.15	60	0.0010168	251	0.8302	0.0010168	255	0.8302	0.0010167	252	0.8302	0.0010167	252	0.8302
353.15	80	0.0010287	335	1.0743	0.0010286	335	1.0743	0.0010286	335	1.0743	0.0010285	335	1.0739
373.15	100	0.0010432	419	1.3063	0.0010432	419	1.3063	0.0010431	419	1.3063	0.0010431	419	1.3059
393.15	120	0.0010601	504	1.5265	0.0010600	504	1.5265	0.0010600	503	1.5265	0.0010599	504	1.5261
413.15	140	0.0010797	589	1.7375	0.0010796	589	1.7375	0.0010795	589	1.7371	0.0010795	589	1.7371
423.15	150	0.0010906	632	1.8401	0.0010904	632	1.8397	0.0010904	632	1.8397	0.0010903	632	1.8397
433.15	160	0.3232	2760	6.7768	0.0011020	675	1.9414	0.0011020	675	1.9410	0.0011019	675	1.9410
453.15	180	0.3416	2803	6.8793	0.2906	2800	6.7973	0.2524	2794	6.7253	0.2226	2786	6.6591
473.15	200	0.3591	2849	6.9731	0.3059	2844	6.8944	0.2662	2839	6.8245	0.2353	2833	6.7604
493.15	220	0.3763	2892	7.0606	0.3209	2888	6.9836	0.2795	2883	6.9153	0.2472	2878	6.8534
513.15	240	0.3932	2934	7.1444	0.3356	2930	7.0682	0.2925	2926	7.0012	0.2589	2922	6.9405
523.15	250	0.4016	2955	7.1845	0.3429	2951	7.1092	0.2990	2948	7.0422	0.2647	2944	6.9827
533.15	260	0.4099	2975	7.2939	0.3501	2972	7.1490	0.3054	2969	7.0824	0.2704	2966	7.0238
553.15	280	0.4264	3017	7.3009	0.3644	3014	7.2264	0.3180	3012	7.1603	0.2818	3009	7.1025
573.15	300	0.4428	3059	7.3750	0.3785	3057	7.3009	0.3305	3054	7.2356	0.2930	3051	7.1778
593.15	320	0.4591	3101	7.4466	0.3926	3099	7.3725	0.3429	3096	7.3081	0.3040	3094	7.2507
613.15	340	0.4753	3144	7.5166	0.4066	3141	7.4425	0.3552	3139	7.3784	0.3150	3137	7.3215
623.15	350	0.4834	3165	7.5509	0.4136	3162	7.4768	0.3613	3161	7.4127	0.3205	3158	7.3562
633.15	360	0.4915	3186	7.5844	0.4206	3183	7.5107	0.3674	3182	7.4466	0.3260	3179	7.3901
653.15	380	0.5077	3228	7.6497	0.4345	3226	7.5769	0.3796	3224	7.5132	0.3369	3222	7.4567
673.15	400	0.5237	3270	7.7129	0.4483	3268	7.6409	0.3918	3267	7.5777	0.3477	3265	7.5207
693.15	420	0.5398	3312	7.7753	0.4621	3311	7.7033	0.4039	3310	7.6401	0.3586	3308	7.5840
713.15	440	0.5558	3355	7.8360	0.4759	3354	7.7640	0.4159	3352	7.7008	0.3693	3351	7.6447
723.15	450	0.5637	3376	7.8657	0.4828	3375	7.7937	0.4219	3373	7.7305	0.3747	3372	7.6747
733.15	460	0.5717	3397	7.8950	0.4896	3396	7.8230	0.4280	3395	7.7598	0.3800	3393	7.7045
753.15	480	0.5876	3440	7.9532	0.5033	3439	7.8812	0.4400	3437	7.8180	0.3907	3437	7.7627
773.15	500	0.6036	3482	8.0098	0.5169	3482	7.9378	0.4519	3481	7.8745	0.4014	3480	7.8197
793.15	520	0.6194	3526	8.0650	0.5306	3525	7.9930	0.4639	3524	7.9302	0.4121	3524	7.8754
813.15	540	0.6352	3570	8.1195	0.5442	3569	8.0474	0.4757	3568	7.9846	0.4227	3567	7.9258
823.15	550	0.6432	3591	8.1463	0.5510	3591	8.0749	0.4819	3590	8.0114	0.4280	3589	7.9566
833.15	560	0.6512	3613	8.1726	0.5579	3612	8.1006	0.4879	3611	8.0378	0.4334	3611	7.9830
853.15	580	0.6671	3657	8.2241	0.5715	3656	8.1530	0.4998	3655	8.0902	0.4441	3654	8.0353
873.15	600	0.6829	3701	8.2748	0.5851	3700	8.2036	0.5117	3699	8.1412	0.4546	3699	8.0864

Табела II/3-10

Температура		p = 9.81			p = 11.77			p = 13.73 bar			p = 15.7		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.000997	1	0.0000	0.000996	2	0.0000	0.000995	2	0.0000	0.000994	2	0.0000
293.15	20	0.0010014	54	0.2960	0.0010013	85	0.2960	0.0010012	54	0.2960	0.0010011	86	0.2960
313.15	40	0.0010075	169	0.5711	0.0010074	198	0.5711	0.0010073	169	0.5711	0.0010072	169	0.5711
323.15	50	0.0010117	210	0.7025	0.0010116	210	0.7025	0.0010115	210	0.7025	0.0010114	211	0.7025
333.15	60	0.0010166	252	0.8298	0.0010165	253	0.8298	0.0010164	253	0.8298	0.0010163	253	0.8298
353.15	80	0.0010285	336	1.0739	0.0010284	336	1.0739	0.0010283	336	1.0735	0.0010282	336	1.0735
373.15	100	0.0010430	420	1.3059	0.0010429	420	1.3059	0.0010428	420	1.3054	0.0010427	420	1.3054
393.15	120	0.0010599	505	1.5261	0.0010598	505	1.5261	0.0010596	505	1.5257	0.0010595	505	1.5257
413.15	140	0.0010794	590	1.7371	0.0010793	590	1.7367	0.0010792	590	1.7367	0.0010791	590	1.7363
423.15	150	0.0010902	633	1.8397	0.0010901	633	1.8393	0.0010900	633	1.8388	0.0010899	633	1.8388
433.15	160	0.0011018	676	1.9406	0.0011017	676	1.9406	0.0011015	676	1.9402	0.0011014	676	1.9397
453.15	180	0.1987	2780	6.5984	0.0011273	764	2.1378	0.0011272	764	2.1374	0.0011270	764	2.1369
473.15	200	0.2103	2828	6.7022	0.1728	2818	6.5992	0.1460	2806	6.5084	0.0011565	853	2.3287
493.15	220	0.2214	2875	6.7977	0.1825	2866	6.6989	0.1547	2857	6.6135	0.1338	2847	6.5356
513.15	240	0.2321	2920	6.8869	0.1918	2912	6.7910	0.1629	2904	6.7073	0.1411	2895	6.6331
523.15	250	0.2374	2941	6.9296	0.1963	2934	6.8345	0.1669	2927	6.7516	0.1447	2918	6.6784
533.15	260	0.2426	2963	6.9710	0.2007	2956	6.8768	0.1708	2949	6.7948	0.1482	2941	6.7223
553.15	280	0.2529	3006	7.0502	0.2095	3000	6.9576	0.1784	2982	6.8772	0.1551	2987	6.8065
573.15	300	0.2630	3048	7.1255	0.2181	3043	7.0347	0.1859	3036	6.9551	0.1618	3032	6.8860
593.15	320	0.2731	3092	7.1988	0.2265	3087	7.1088	0.1933	3081	7.0305	0.1683	3077	6.9626
613.15	340	0.2829	3135	7.2704	0.2348	3131	7.1808	0.2005	3126	7.1037	0.1747	3121	7.0368
623.15	350	0.2879	3157	7.3051	0.2390	3152	7.2159	0.2041	3148	7.1393	0.1779	3144	7.0729
633.15	360	0.2929	3178	7.3395	0.2432	3174	7.2503	0.2077	3169	7.1741	0.1811	3166	7.1079
653.15	380	0.3028	3221	7.4064	0.2515	3217	7.3177	0.2150	3213	7.2419	0.1875	3210	7.1762
673.15	400	0.3126	3264	7.4705	0.2598	3261	7.3826	0.2220	3257	7.3076	0.1937	3254	7.2427
693.15	420	0.3223	3307	7.5337	0.2679	3303	7.4458	0.2291	3301	7.3717	0.2000	3297	7.3072
713.15	440	0.3320	3350	7.5944	0.2761	3347	7.5082	0.2361	3345	7.4337	0.2062	3342	7.3688
723.15	450	0.3369	3371	7.6246	0.2801	3369	7.5383	0.2396	3366	7.4638	0.2092	3363	7.3993
733.15	460	0.3417	3393	7.6543	0.2842	3396	7.5681	0.2431	3388	7.4935	0.2123	3385	7.4295
753.15	480	0.3513	3436	7.7125	0.2922	3434	7.6263	0.2501	3432	7.5526	0.2184	3429	7.4885
773.15	500	0.3609	3479	7.7699	0.3003	3478	7.6832	0.2570	3475	7.6103	0.2245	3473	7.5463
793.15	520	0.3706	3523	7.8255	0.3084	3521	7.7389	0.2639	3519	7.6664	0.2306	3517	7.6024
813.15	540	0.3802	3566	7.8800	0.3164	3565	7.7937	0.2709	3562	7.7213	0.2367	3561	7.6572
823.15	550	0.3851	3588	7.9068	0.3205	3586	7.8205	0.2744	3584	7.7481	0.2398	3583	7.6940
833.15	560	0.3899	3610	7.9331	0.3245	3586	7.8469	0.2779	3607	7.7745	0.2429	3605	7.7108
853.15	580	0.3994	3654	8.9855	0.3326	3608	7.8992	0.2848	3651	7.8268	0.2489	3649	7.7636
873.15	600	0.4088	3690	8.0366	0.3405	3697	7.9507	0.2915	3695	7.8783	0.2548	3694	7.8155

Табела III/3-11

Температура		p = 17.65 bar			p = 19.62			p = 21.58 bar			p = 23.52		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
273.15	0	0.000993	2	0.0000	0.000992	3	0.0000	0.000991	2	0.0000	0.000990	2.5	0.0000
293.15	20	0.0010010	86	0.2960	0.0010010	86	0.2960	0.0010009	86	0.2955	0.0010008	86	0.2955
313.15	40	0.0010071	170	0.5711	0.0010070	170	0.5711	0.0010069	169	0.5706	0.0010069	170	0.5706
323.15	50	0.0010113	211	0.7025	0.0010112	212	0.7021	0.0010111	211	0.7020	0.0010110	211	0.7020
333.15	60	0.0010162	253	0.8296	0.0010161	252	0.8294	0.0010161	253	0.8292	0.0010160	253	0.8292
353.15	80	0.0010281	337	1.0735	0.0010280	337	1.0731	0.0010279	336	1.0729	0.0010278	337	1.0725
373.15	100	0.0010425	420	1.3050	0.0010425	421	1.3050	0.0010424	420	1.3043	0.0010423	420	1.3044
393.15	120	0.0010594	505	1.5257	0.0010593	505	1.5253	0.0010592	505	1.5250	0.0010591	505	1.5245
413.15	140	0.0010789	590	1.7363	0.0010788	590	1.7358	0.0010787	590	1.7355	0.0010786	590	1.7355
423.15	150	0.0010897	633	1.8384	0.0010896	633	1.8384	0.0010895	645	1.8377	0.0010893	633	1.8377
433.15	160	0.0011013	676	1.9397	0.0011011	676	1.9393	0.0011010	676	1.9385	0.0011008	676	1.9385
453.15	180	0.0011268	764	2.1365	0.0011267	764	2.1361	0.0011265	763	2.1353	0.0011264	763	2.1353
473.15	200	0.0011563	853	2.3283	0.0011561	853	2.3279	0.0011559	852	2.3270	0.0011557	852	2.3266
493.15	220	0.1175	2835	6.4636	0.1043	2824	6.3974	0.09377	2811	6.3343	0.0011900	944	2.5158
513.15	240	0.1242	2886	6.5653	0.1108	2878	6.5021	0.09978	2867	6.4435	0.09053	2857	6.3891
523.15	250	0.1275	2910	6.6122	0.1138	2902	6.5502	0.10254	2892	6.4933	0.09322	2884	6.4406
533.15	260	0.1307	2934	6.6570	0.1168	2927	6.5967	0.10526	2918	6.5405	0.09580	2910	6.4891
553.15	280	0.1369	2981	6.7424	0.1225	2974	6.6851	0.11058	2967	6.6302	0.10074	2961	6.5812
573.15	300	0.1430	3027	6.8236	0.1281	3020	6.7684	0.11574	3016	6.7148	0.10549	3011	6.6670
593.15	320	0.1490	3072	6.9015	0.1334	3067	6.8471	0.12075	3064	6.7951	0.11014	3059	6.7483
613.15	340	0.1548	3117	6.9765	0.1386	3113	6.9225	0.12564	3109	6.8713	0.11469	3105	6.8257
623.15	350	0.1577	3139	7.0129	0.1412	3136	6.9589	0.12805	3132	6.9082	0.11693	3128	6.8629
633.15	360	0.1605	3162	7.0485	0.1438	3158	6.9949	0.13044	3155	6.9446	0.11915	3151	6.8998
653.15	380	0.1661	3206	7.1176	0.1491	3203	7.0648	0.13517	3200	7.0157	0.12353	3196	6.9718
673.15	400	0.1717	3250	7.1845	0.1542	3247	7.1322	0.13986	3245	7.0840	0.12486	3241	7.0409
693.15	420	0.1773	3294	7.2494	0.1592	3292	7.1971	0.14450	3289	7.1497	0.13214	3286	7.1066
713.15	440	0.1829	3339	7.3122	0.1642	3336	7.2603	0.14909	3333	7.2129	0.13637	3331	7.1702
723.15	450	0.1856	3360	7.3428	0.1667	3358	7.2909	0.15137	3355	7.2439	0.13847	3353	7.2012
733.15	460	0.1884	3382	7.3730	0.1692	3380	7.3210	0.15364	3378	7.2744	0.14056	3375	7.2317
753.15	480	0.1938	3426	7.4320	0.1741	3424	7.3805	0.15817	3422	7.3343	0.14473	3420	7.2920
773.15	500	0.1992	3471	7.4898	0.1790	3468	7.4387	0.1627	3467	7.3933	0.14888	3465	7.3510
793.15	520	0.2047	3514	7.5463	0.1840	3512	7.4952	0.1672	3511	7.4507	0.15300	3509	7.4088
813.15	540	0.2101	3559	7.6011	0.1888	3557	7.5509	0.1716	3556	7.5072	0.15710	3554	7.4653
823.15	550	0.2129	3581	7.6283	0.1913	3579	7.5781	0.1738	3578	7.5348	0.15915	3577	7.4929
833.15	560	0.2156	3603	7.6551	0.1938	3601	7.6049	0.1761	3600	7.5620	0.1612	3599	7.5201
853.15	580	0.2210	3648	7.7079	0.1987	3645	7.6581	0.1805	3645	7.6152	0.1653	3643	7.5733
873.15	600	0.2264	3692	7.7598	0.2035	3690	7.7100	0.1849	3690	7.6679	0.1693	3689	7.6261

Табела II/3-12

Температура		p = 25.5				p = 27.5				p = 29.4				p = 31.4			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	
273.15	0	0.000989	3	0.0000	0.000988	3	0.0000	0.000987	3	0.0000	0.000986	3	0.0000	0.000986	3	0.0000	
293.15	20	0.001007	86	0.2956	0.001006	86	0.2956	0.001005	87	0.2956	0.001004	87	0.2956	0.001004	87	0.2956	
313.15	40	0.0010068	170	0.5702	0.0010067	170	0.5702	0.0010066	170	0.5702	0.0010065	170	0.5702	0.0010065	170	0.5702	
323.15	50	0.0010110	211	0.7020	0.0010109	211	0.7017	0.0010108	212	0.7017	0.0010107	212	0.7017	0.0010107	212	0.7017	
333.15	60	0.0010159	253	0.8290	0.0010158	254	0.8290	0.0010157	254	0.8290	0.0010156	254	0.8290	0.0010156	254	0.8290	
353.15	80	0.0010277	337	1.0725	0.0010276	338	1.0725	0.0010275	338	1.0722	0.0010275	338	1.0722	0.0010275	338	1.0722	
373.15	100	0.0010422	421	1.3044	0.0010420	421	1.3042	0.0010419	421	1.3042	0.0010418	421	1.3042	0.0010418	421	1.3035	
393.15	120	0.0010590	505	1.5245	0.0010589	506	1.5244	0.0010588	506	1.5244	0.0010587	506	1.5244	0.0010587	506	1.5244	
413.15	140	0.0010785	590	1.7351	0.0010783	590	1.7351	0.0010782	591	1.7350	0.0010781	591	1.7350	0.0010781	591	1.7350	
423.15	150	0.0010892	633	1.8372	0.0010891	633	1.8372	0.0010890	634	1.8372	0.0010888	634	1.8372	0.0010888	634	1.8372	
433.15	160	0.0011007	676	1.9381	0.0011006	676	1.9381	0.0011004	677	1.9381	0.0011003	677	1.9381	0.0011003	677	1.9373	
453.15	180	0.0011262	764	2.1349	0.0011260	764	2.1344	0.011259	764	2.1344	0.0011257	764	2.1344	0.0011257	764	2.1336	
473.15	200	0.0011555	853	2.3266	0.0011554	853	2.3262	0.0011552	853	2.3262	0.0011550	853	2.3262	0.0011550	853	2.3253	
493.15	220	0.0011897	944	2.5154	0.0011895	944	2.5149	0.0011892	944	2.5146	0.0011890	944	2.5146	0.0011890	944	2.5137	
513.15	240	0.08264	2847	6.3368	0.07581	2836	6.2844	0.06987	2827	6.2383	0.06464	2815	6.2383	0.06464	2815	6.109	
523.15	250	0.08521	2875	6.3895	0.07830	2865	6.3410	0.07230	2856	6.2961	0.06702	2845	6.2961	0.06702	2845	6.2505	
533.15	260	0.08767	2902	6.4402	0.08067	2893	6.3682	0.07459	2885	6.3501	0.06925	2875	6.3501	0.06925	2875	6.3062	
553.15	280	0.09236	2954	6.5348	0.08515	2947	6.4908	0.07889	2939	6.4498	0.07340	2931	6.4498	0.07340	2931	6.4092	
573.15	300	0.09682	3005	6.6227	0.08939	2999	6.5804	0.08294	2991	6.5415	0.07727	2986	6.5415	0.07727	2986	6.5025	
593.15	320	0.10115	3054	6.7051	0.09348	3048	6.6637	0.08680	3041	6.6264	0.08096	3038	6.6264	0.08096	3038	6.5883	
613.15	340	0.10541	3101	6.7830	0.09747	3096	6.7428	0.09055	3089	6.7068	0.08455	3085	6.7068	0.08455	3085	6.6691	
623.15	350	0.10751	3124	6.8207	0.09943	3119	6.7813	0.09239	3113	6.7458	0.08631	3110	6.7458	0.08631	3110	6.7081	
633.15	360	0.10959	3147	6.8579	0.10137	3142	6.8190	0.09421	3137	6.7835	0.08804	3134	6.7835	0.08804	3134	6.7466	
653.15	380	0.11368	3193	6.9299	0.10520	3188	6.8918	0.09780	3184	6.8563	0.09145	3181	6.8563	0.09145	3181	6.8207	
673.15	400	0.11770	3238	6.9998	0.10898	3235	6.9617	0.1013	3220	6.9258	0.09482	3228	6.9258	0.09482	3228	6.8914	
693.15	420	0.12167	3283	7.0668	0.11271	3280	7.0287	0.1048	3276	6.9932	0.09814	3274	6.9932	0.09814	3274	6.9596	
713.15	440	0.12560	3328	7.1309	0.11639	3325	7.0936	0.1084	3322	7.0581	0.10140	3320	7.0581	0.10140	3320	7.0254	
723.15	450	0.12756	3351	7.1622	0.11821	3348	7.1250	0.1101	3345	7.0899	0.10301	3343	7.0899	0.10301	3343	7.0572	
733.15	460	0.12951	3373	7.1928	0.12003	3371	7.1555	0.1118	3368	7.1209	0.10461	3365	7.1209	0.10461	3365	7.0886	
753.15	480	0.13338	3418	7.2535	0.12364	3416	7.2162	0.1161	3412	7.1816	0.10780	3411	7.1816	0.10780	3411	7.1501	
773.15	500	0.13722	3462	7.3125	0.12722	3461	7.2761	0.1185	3458	7.2411	0.11097	3456	7.2411	0.11097	3456	7.2100	
793.15	520	0.14103	3507	7.3707	0.13078	3505	7.3347	0.1218	3503	7.2984	0.11411	3502	7.2984	0.11411	3502	7.2686	
813.15	540	0.14483	3552	7.4272	0.13332	3550	7.3916	0.1252	3548	7.3545	0.11724	3547	7.3545	0.11724	3547	7.3259	
823.15	550	0.14673	3574	7.4548	0.13609	3573	7.4214	0.1269	3570	7.3822	0.11880	3569	7.3822	0.11880	3569	7.3540	
833.15	560	0.14862	3597	7.4833	0.13785	3595	7.4465	0.1285	3593	7.4094	0.12035	3592	7.4094	0.12035	3592	7.3812	
853.15	580	0.15239	3642	7.5356	0.14136	3641	7.5001	0.1318	3638	7.4630	0.12344	3637	7.4630	0.12344	3637	7.4352	
873.15	600	0.15615	3687	7.5884	0.14486	3686	7.5528	0.1350	3683	7.5153	0.12652	3683	7.5153	0.12652	3683	7.4883	

Табела II/3-13

Температура		p = 33.4				p = 35.3				p = 37.3				p = 39.2			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	
273.15	0	0.000985	3	0.0000	0.000984	4	0.0000	0.000983	4	0.0000	0.000983	4	0.0000	0.000982	5	0.0004	
293.15	20	0.001003	87	0.2955	0.001003	87	0.2955	0.001002	88	0.2955	0.001002	88	0.2955	0.001001	88	0.2952	
313.15	40	0.0010064	170	0.5702	0.0010063	170	0.5702	0.0010063	171	0.5702	0.0010063	171	0.5702	0.0010062	171	0.5702	
323.15	50	0.0010106	212	0.7016	0.0010105	212	0.7013	0.0010104	212	0.7013	0.0010104	212	0.7013	0.0010103	213	0.7013	
333.15	60	0.0010155	254	0.8284	0.0010154	254	0.8284	0.0010153	255	0.8284	0.0010153	255	0.8284	0.0010152	255	0.8281	
353.15	80	0.0010274	337	1.0720	0.0010273	337	1.0720	0.0010272	338	1.0718	0.0010272	338	1.0718	0.0010271	338	1.0718	
373.15	100	0.0010417	421	1.3035	0.0010416	422	1.3034	0.0010415	422	1.3034	0.0010415	422	1.3034	0.0010414	422	1.3034	
393.15	120	0.0010586	506	1.5237	0.0010585	506	1.5237	0.0010583	506	1.5236	0.0010583	506	1.5236	0.0010582	507	1.5236	
413.15	140	0.0010780	591	1.7343	0.0010779	592	1.7343	0.0010777	591	1.7342	0.0010777	591	1.7342	0.0010776	592	1.7342	
423.15	150	0.0010887	633	1.8364	0.0010885	634	1.8364	0.0010884	634	1.8363	0.0010884	634	1.8363	0.0010883	634	1.8363	
433.15	160	0.0011002	676	1.9369	0.0011000	676	1.9369	0.0010999	677	1.9364	0.0010999	677	1.9364	0.0010997	678	1.9360	
453.15	180	0.0011255	764	2.1332	0.0011254	764	2.1328	0.0011252	764	2.1328	0.0011252	764	2.1328	0.0011251	765	2.1323	
473.15	200	0.0011548	853	2.3249	0.0011546	853	2.3245	0.0011544	853	2.3241	0.0011544	853	2.3241	0.0011542	853	2.3236	
493.15	220	0.0011888	944	2.5133	0.0011885	944	2.5129	0.0011883	944	2.5124	0.0011883	944	2.5124	0.0011880	944	2.5120	
513.15	240	0.005999	2803	6.1446	0.0012288	1037	2.6991	0.0012285	1037	2.6983	0.0012285	1037	2.6983	0.0012282	1038	2.6979	
523.15	250	0.06234	2836	6.2074	0.05816	2826	6.1656	0.05438	2815	6.1237	0.05438	2815	6.1237	0.05096	2804	6.0834	
533.15	260	0.06452	2867	6.2656	0.06026	2858	6.2250	0.05646	2849	6.1857	0.05646	2849	6.1857	0.05302	2839	6.1479	
553.15	280	0.06853	2924	6.3703	0.06419	2917	6.3326	0.06030	2909	6.2966	0.06030	2909	6.2966	0.05679	2902	6.2622	
573.15	300	0.07227	2980	6.4657	0.06782	2973	6.4301	0.06383	2967	6.3962	0.06383	2967	6.3962	0.06022	2959	6.3644	
593.15	320	0.07581	3032	6.5532	0.07121	3026	6.5197	0.06710	3021	6.4875	0.06710	3021	6.4875	0.06338	3013	6.4573	
613.15	340	0.07923	3081	6.6356	0.07449	3077	6.6034	0.07025	3072	6.5724	0.07025	3072	6.5724	0.06636	3065	6.5444	
623.15	350	0.08090	3106	6.6750	0.07669	3101	6.6432	0.07178	3097	6.6130	0.07178	3097	6.6130	0.06782	3090	6.5854	
633.15	360	0.08255	3153	6.7135	0.07767	3125	6.6821	0.07329	3121	6.6524	0.07329	3121	6.6524	0.06927	3115	6.6248	
653.15	380	0.08580	3177	6.7880	0.08077	3173	6.7583	0.07625	3170	6.7286	0.07625	3170	6.7286	0.07212	3164	6.7001	
673.15	400	0.08899	3224	6.8600	0.08380	3221	6.8303	0.07916	3218	6.8014	0.07916	3218	6.8014	0.07490	3212	6.7730	
693.15	420	0.09212	3271	6.9287	0.08677	3268	6.8994	0.08202	3264	6.8709	0.08202	3264	6.8709	0.07763	3260	6.8433	
713.15	440	0.09521	3317	6.9944	0.08972	3314	6.9655	0.08482	3311	6.9370	0.08482	3311	6.9370	0.08030	3307	6.9103	
723.15	450	0.09674	3340	7.0262	0.09118	3337	6.9973	0.08620	3335	6.9693	0.08620	3335	6.9693	0.08162	3331	6.9430	
733.15	460	0.09826	3363	7.0576	0.09263	3360	7.0287	0.08757	3358	7.0007	0.08757	3358	7.0007	0.08293	3354	6.9748	
753.15	480	0.10128	3409	7.1191	0.09549	3406	7.0902	0.09030	3404	7.0626	0.09030	3404	7.0626	0.08555	3400	7.0372	
773.15	500	0.10428	3454	7.1794	0.09833	3452	7.1505	0.09301	3450	7.1233	0.09301	3450	7.1233	0.08816	3446	7.0979	
793.15	520	0.10726	3500	7.2380	0.10115	3497	7.2100	0.09570	3495	7.1828	0.09570	3495	7.1828	0.09074	3492	7.1569	
813.15	540	0.11021	3545	7.2954	0.10395	3543	7.2673	0.09838	3541	7.2409	0.09838	3541	7.2409	0.09330	3538	7.2139	
823.15	550	0.11168	3568	7.3234	0.10534	3566	7.2954	0.09968	3564	7.2690	0.09968	3564	7.2690	0.09457	3561	7.2415	
833.15	560	0.11315	3591	7.3510	0.10673	3589	7.3230	0.10100	3587	7.2966	0.10100	3587	7.2966	0.09584	3584	7.2687	
853.15	580	0.11607	3636	7.4055	0.10949	3634	7.3774	0.10363	3632	7.3515	0.10363	3632	7.3515	0.09835	3630	7.3227	
873.15	600	0.11897	3682	7.4590	0.11225	3680	7.4314	0.10624	3678	7.4055	0.10624	3678	7.4055	0.1008	3675	7.3759	

Табела II/3-14

Температура		p = 41.2				p = 43.2				p = 45.1				p = 47.1			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	
273.15	0	0.000981	4	0.0004	0.000980	5	0.0004	0.000979	5	0.0004	0.000978	5	0.0004	0.000978	5	0.0004	
293.15	20	0.001000	88	0.2951	0.000999	88	0.2951	0.000998	88	0.2951	0.000997	88	0.2951	0.000997	88	0.2951	
313.15	40	0.0010064	171	0.5701	0.0010060	171	0.5697	0.0010059	171	0.5697	0.0010058	171	0.5697	0.0010058	171	0.5697	
323.15	50	0.0010103	213	0.7012	0.0010102	213	0.7007	0.0010101	213	0.7007	0.0010100	213	0.7007	0.0010100	213	0.7007	
333.15	60	0.0010152	255	0.8280	0.0010151	255	0.8280	0.0010150	255	0.8280	0.0010149	255	0.8280	0.0010149	255	0.8276	
353.15	80	0.0010270	338	1.0712	0.0010269	338	1.0712	0.0010268	338	1.0712	0.0010267	338	1.0712	0.0010267	338	1.0708	
373.15	100	0.0010413	422	1.3027	0.0010412	422	1.3027	0.0010411	422	1.3027	0.0010410	422	1.3027	0.0010410	422	1.3023	
393.15	120	0.0010581	506	1.5233	0.0010580	506	1.5229	0.0010579	507	1.5229	0.0010578	507	1.5229	0.0010578	507	1.5224	
413.15	140	0.0010775	591	1.7334	0.0010774	591	1.7334	0.0010772	591	1.7330	0.0010771	592	1.7330	0.0010771	592	1.7330	
423.15	150	0.0010882	634	1.8356	0.0010880	634	1.8356	0.0010879	634	1.8351	0.0010878	635	1.8351	0.0010878	635	1.8351	
433.15	160	0.0010996	677	1.9360	0.0010994	677	1.9356	0.0010993	677	1.9356	0.0010992	677	1.9356	0.0010992	677	1.9352	
453.15	180	0.0011249	764	2.1319	0.0011247	764	2.1315	0.0011246	764	2.1311	0.0011244	765	2.1311	0.0011244	765	2.1311	
473.15	200	0.0011540	853	2.3232	0.0011538	853	2.3228	0.0011536	853	2.3224	0.0011534	853	2.3224	0.0011534	853	2.3224	
493.15	220	0.0011878	944	2.5116	0.0011875	944	2.5112	0.0011873	944	2.5108	0.0011871	944	2.5108	0.0011871	944	2.5103	
513.15	240	0.0012279	1037	2.6975	0.0012275	1037	2.6970	0.0012272	1037	2.6966	0.0012270	1037	2.6966	0.0012270	1037	2.6958	
523.15	250	0.0012510	1085	2.7904	0.0012506	1085	2.7900	0.0012502	1085	2.7887	0.0012499	1085	2.7887	0.0012499	1085	2.7887	
533.15	260	0.04988	2828	6.1086	0.04701	2817	6.0710	0.04437	2806	6.0345	0.0012755	1135	6.0345	0.0012755	1135	2.8825	
553.15	280	0.05360	2893	6.2271	0.05069	2884	6.1936	0.04804	2875	6.1614	0.04538	2867	6.1614	0.04538	2867	6.1287	
573.15	300	0.05696	2952	6.3297	0.05398	2944	6.3016	0.05127	2937	6.2715	0.04877	2931	6.2715	0.04877	2931	6.2422	
593.15	320	0.06004	3008	6.4268	0.05698	3002	6.3983	0.05419	2996	6.3694	0.05163	2990	6.3694	0.05163	2990	6.3418	
613.15	340	0.06296	3062	6.5138	0.05981	3056	6.4862	0.05694	3051	6.4590	0.05430	3047	6.4590	0.05430	3047	6.4326	
623.15	350	0.06439	3088	6.5553	0.06119	3038	6.5281	0.05827	3078	6.5017	0.05560	3073	6.5017	0.05560	3073	6.4757	
633.15	360	0.06579	3113	6.5959	0.06254	3108	6.5687	0.05958	3104	6.5427	0.05687	3099	6.5427	0.05687	3099	6.5172	
653.15	380	0.06853	3162	6.6733	0.06519	3158	6.6469	0.06214	3154	6.6218	0.05934	3150	6.6218	0.05934	3150	6.5967	
673.15	400	0.07121	3211	6.7462	0.06777	3207	6.7210	0.06462	3204	6.6968	0.06174	3200	6.6968	0.06174	3200	6.6729	
693.15	420	0.07382	3258	6.8165	0.07028	3255	6.7918	0.06705	3253	6.7683	0.06409	3249	6.7683	0.06409	3249	6.7449	
713.15	440	0.07639	3306	6.8839	0.07275	3303	6.8600	0.06943	3300	6.8370	0.06638	3297	6.8370	0.06638	3297	6.8144	
723.15	450	0.07766	3329	6.9169	0.07397	3326	6.8931	0.07060	3324	6.8705	0.06751	3337	6.8705	0.06751	3337	6.8479	
733.15	460	0.07892	3353	6.9496	0.07518	3350	6.9257	0.07177	3347	6.9031	0.06863	3345	6.9031	0.06863	3345	6.8809	
753.15	480	0.08142	3399	7.0124	0.07758	3397	6.9889	0.07408	3394	6.9668	0.07085	3392	6.9668	0.07085	3392	6.9450	
773.15	500	0.08389	3445	7.0731	0.07995	3443	7.0501	0.07635	3441	7.0316	0.07305	3439	7.0316	0.07305	3439	7.0065	
793.15	520	0.08634	3491	7.1329	0.08230	3489	7.1099	0.07860	3487	7.0882	0.07522	3485	7.0882	0.07522	3485	7.0672	
813.15	540	0.08877	3537	7.1911	0.08462	3535	7.1681	0.08084	3534	7.1463	0.07737	3532	7.1463	0.07737	3532	7.1254	
823.15	550	0.08997	3561	7.2196	0.08577	3559	7.1966	0.08195	3557	7.1748	0.07844	3555	7.1748	0.07844	3555	7.1539	
833.15	560	0.09117	3584	7.2476	0.08692	3582	7.2246	0.08305	3580	7.2003	0.07950	3578	7.2003	0.07950	3578	7.1819	
853.15	580	0.09336	3630	7.3025	0.08921	3628	7.2799	0.08525	3626	7.2581	0.08167	3624	7.2581	0.08167	3624	7.2372	
873.15	600	0.09594	3675	7.3565	0.09150	3674	7.3339	0.08743	3672	7.3121	0.08371	3671	7.3121	0.08371	3671	7.2912	

Табела II/3-15

Температура		p = 49				p = 53.9				p = 58.8				p = 63.7			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	
273.15	0	0.000977	5	0.0004	0.000975	5	0.0004	0.000972	5	0.0004	0.000970	6	0.0004	0.000970	6	0.0004	
293.15	20	0.000997	88	0.2952	0.000995	89	0.2947	0.000992	89	0.2947	0.000990	90	0.2947	0.000990	90	0.2947	
313.15	40	0.0010057	172	0.5698	0.0010056	172	0.5693	0.0010053	172	0.5693	0.0010051	173	0.5693	0.0010051	173	0.5693	
323.15	50	0.0010099	213	0.7009	0.0010097	214	0.7003	0.0010093	214	0.7000	0.0010093	214	0.7000	0.0010093	214	0.6999	
333.15	60	0.0010148	255	0.8277	0.0010146	255	0.8272	0.0010144	255	0.8273	0.0010142	256	0.8267	0.0010142	256	0.8267	
353.15	80	0.0010266	339	1.0710	0.0010264	339	1.0704	0.0010262	339	1.0701	0.0010260	339	1.0695	0.0010260	339	1.0695	
373.15	100	0.0010409	422	1.3025	0.0010407	423	1.3018	0.0010404	423	1.3017	0.0010402	423	1.3006	0.0010402	423	1.3006	
393.15	120	0.0010577	507	1.5227	0.0010575	507	1.5220	0.0010572	507	1.5218	0.0010569	508	1.5208	0.0010569	508	1.5208	
413.15	140	0.0010770	592	1.7333	0.0010768	592	1.7322	0.0010764	592	1.7321	0.0010761	593	1.7313	0.0010761	593	1.7313	
423.15	150	0.0010877	635	1.8351	0.0010874	635	1.8343	0.0010870	635	1.8342	0.0010867	635	1.8335	0.0010867	635	1.8335	
433.15	160	0.0010990	677	1.9351	0.0010987	679	1.9344	0.0010984	678	1.9339	0.0010981	678	1.9331	0.0010981	678	1.9331	
453.15	180	0.0011243	764	2.1311	0.0011239	765	2.1298	0.0011235	765	2.1294	0.0011231	765	2.1282	0.0011231	765	2.1282	
473.15	200	0.0011532	853	2.3224	0.0011527	854	2.3211	0.0011522	854	2.3207	0.0011518	854	2.3190	0.0011518	854	2.3190	
493.15	220	0.0011868	944	2.5104	0.0011863	944	2.5091	0.0011857	944	2.5083	0.0011850	944	2.5066	0.0011850	944	2.5066	
513.15	240	0.0012266	1037	2.6959	0.0012259	1037	2.6945	0.0012251	1037	2.6934	0.0012243	1037	2.6916	0.0012243	1037	2.6916	
523.15	250	0.0012459	1086	2.7888	0.0012448	1086	2.7870	0.0012478	1086	2.7863	0.0012468	1086	2.7845	0.0012468	1086	2.7845	
533.15	260	0.0012751	1135	2.8826	0.0012741	1134	2.8804	0.0012729	1134	2.8797	0.0012719	1134	2.8775	0.0012719	1134	2.8775	
553.15	280	0.04330	2858	6.0977	0.03831	2829	6.0182	0.03405	2809	5.9402	0.03055	2782	5.8633	0.03055	2782	5.8633	
573.15	300	0.04646	2924	6.2140	0.04140	2905	6.1430	0.03711	2885	6.0759	0.03357	2863	6.0082	0.03357	2863	6.0082	
593.15	320	0.04927	2983	6.3166	0.04411	2968	6.2518	0.03976	2952	6.1914	0.03617	2936	6.1308	0.03617	2936	6.1308	
613.15	340	0.05186	3039	6.4092	0.04659	3028	6.3477	0.04213	3013	6.2923	0.03836	2995	6.2363	0.03836	2995	6.2363	
623.15	350	0.05310	3065	6.4527	0.04776	3056	6.3929	0.04324	3041	6.3388	0.03943	3031	6.2849	0.03943	3031	6.2849	
633.15	360	0.05432	3090	6.4946	0.04891	3083	6.4347	0.04432	3069	6.3832	0.04153	3060	6.3309	0.04153	3060	6.3309	
653.15	380	0.05671	3143	6.5745	0.05115	3137	6.5176	0.04642	3124	6.4678	0.04247	3116	6.4176	0.04247	3116	6.4176	
673.15	400	0.05904	3194	6.6507	0.05332	3188	6.5950	0.04845	3176	6.5461	0.04489	3169	6.4988	0.04489	3169	6.4988	
693.15	420	0.06130	3243	6.7227	0.05543	3238	6.6687	0.05052	3228	6.6206	0.04624	3221	6.5754	0.04624	3221	6.5754	
713.15	440	0.06352	3292	6.7918	0.05748	3287	6.7399	0.05233	3277	6.6918	0.04805	3272	6.6474	0.04805	3272	6.6474	
723.15	450	0.06462	3316	6.8253	0.05849	3311	6.7696	0.05327	3301	6.7261	0.04898	3297	6.6825	0.04898	3297	6.6825	
733.15	460	0.06571	3400	6.8580	0.05948	3435	6.8073	0.05420	3325	6.7600	0.04980	3322	6.7169	0.04980	3322	6.7169	
753.15	480	0.06786	3387	6.9216	0.06146	3384	6.8722	0.05604	3374	6.8253	0.05152	3371	6.7826	0.05152	3371	6.7826	
773.15	500	0.06999	3434	6.9840	0.06341	3431	6.9354	0.05785	3422	6.8885	0.05321	3420	6.8466	0.05321	3420	6.8466	
793.15	520	0.07208	3481	7.0435	0.06534	3478	6.9969	0.05962	3470	6.9493	0.05487	3468	6.9094	0.05487	3468	6.9094	
813.15	540	0.07416	3528	7.1012	0.06724	3525	7.0563	0.06138	3518	7.0087	0.05641	3516	6.9571	0.05641	3516	6.9571	
823.15	550	0.07519	3551	7.1297	0.06818	3549	7.0852	0.06227	3541	7.0376	0.05722	3540	6.9990	0.05722	3540	6.9990	
833.15	560	0.07622	3575	7.1578	0.06912	3572	7.1141	0.06315	3568	7.0661	0.05814	3564	7.0283	0.05814	3564	7.0283	
853.15	580	0.07827	3621	7.2126	0.07098	3619	7.1694	0.06488	3615	7.1213	0.05974	3611	7.0852	0.05974	3611	7.0852	
873.15	600	0.08029	3667	7.2666	0.07283	3665	7.2238	0.06658	3661	7.1753	0.06132	3658	7.1401	0.06132	3658	7.1401	

Табела II/3-16

Температура		p = 68.7				p = 73.6				p = 78.5				p = 83.4			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	
273.15	0	0.0009967	7	0.0004	0.0009965	8	0.0004	0.0009962	8	0.0004	0.0009960	9	0.0004	0.0009960	9	0.0004	
293.15	20	0.0009988	90	0.2948	0.0009986	91	0.2943	0.0009983	91	0.2943	0.0009982	92	0.2943	0.0009982	92	0.2943	
313.15	40	0.0010049	173	0.5690	0.0010047	174	0.5690	0.0010045	174	0.5690	0.0010043	175	0.5690	0.0010043	175	0.5683	
323.15	50	0.0010090	215	0.6996	0.0010089	216	0.6996	0.0010086	216	0.6996	0.0010184	216	0.6992	0.0010184	216	0.6986	
333.15	60	0.0010139	257	0.8265	0.0010137	257	0.8265	0.0010135	257	0.8261	0.0010133	258	0.8255	0.0010133	258	0.8255	
353.15	80	0.0010257	340	1.0697	0.0010255	341	1.0691	0.0010252	341	1.0689	0.0010251	341	1.0683	0.0010251	341	1.0683	
373.15	100	0.0010399	424	1.3008	0.0010397	424	1.3002	0.0010394	424	1.3000	0.0010392	425	1.2993	0.0010392	425	1.2993	
393.15	120	0.0010566	508	1.5211	0.0010564	509	1.5204	0.0010561	509	1.5202	0.0010559	509	1.5195	0.0010559	509	1.5195	
413.15	140	0.0010758	593	1.7312	0.0010755	594	1.7305	0.0010752	594	1.7304	0.0010750	594	1.7297	0.0010750	594	1.7297	
423.15	150	0.0010864	636	1.8330	0.0010861	636	1.8322	0.0010858	636	1.8321	0.0010855	637	1.8314	0.0010855	637	1.8314	
433.15	160	0.0010977	679	1.9330	0.0010974	679	1.9323	0.0010970	679	1.9318	0.0010967	679	1.9310	0.0010967	679	1.9310	
453.15	180	0.0011226	766	2.1277	0.0011223	766	2.1269	0.0011219	766	2.1265	0.0011215	766	2.1257	0.0011215	766	2.1257	
473.15	200	0.0011513	854	2.3191	0.0011508	854	2.3178	0.0011504	854	2.3174	0.0011499	854	2.3161	0.0011499	854	2.3161	
493.15	220	0.0011845	944	2.5062	0.0011839	944	2.5049	0.0011833	945	2.5045	0.0012213	945	2.5032	0.0012213	945	2.5032	
513.15	240	0.0012236	1037	2.6913	0.0012229	1037	2.6895	0.0012221	1037	2.6892	0.0012270	1038	2.6874	0.0012270	1038	2.6874	
523.15	250	0.0012460	1086	2.7838	0.0012452	1086	2.7824	0.0012443	1086	2.7813	0.0012433	1086	2.7799	0.0012433	1086	2.7799	
533.15	260	0.0012709	1134	2.8768	0.0012699	1134	2.8749	0.0012689	1134	2.8738	0.0012679	1134	2.8720	0.0012679	1134	2.8720	
553.15	280	0.0013308	1236	3.0635	0.0013293	1236	3.0612	0.0013279	1235	3.0597	0.0013264	1235	3.0575	0.0013264	1235	3.0575	
573.15	300	0.03029	2841	5.9432	0.02749	2818	5.8755	0.02503	2792	5.8092	0.02276	2763	5.7390	0.02276	2763	5.7390	
593.15	320	0.03287	2919	6.0750	0.03004	2900	6.0165	0.02757	2880	5.9616	0.02536	2859	5.9035	0.02536	2859	5.9035	
613.15	340	0.03512	2985	6.1852	0.03226	2971	6.1333	0.02976	2955	6.0851	0.02754	2940	6.0358	0.02754	2940	6.0358	
623.15	350	0.03615	3016	6.2354	0.03326	3003	6.1865	0.03076	2989	6.1399	0.02853	2975	6.0931	0.02853	2975	6.0931	
633.15	360	0.03714	3045	6.2831	0.03425	3035	6.2359	0.03171	3021	6.1910	0.02946	3008	6.1463	0.02946	3008	6.1463	
653.15	380	0.03903	3102	6.3723	0.03608	3094	6.3271	0.03348	3081	6.2852	0.03118	3072	6.2426	0.03118	3072	6.2426	
673.15	400	0.04084	3170	6.4548	0.03784	3150	6.4104	0.03514	3138	6.3711	0.03280	3131	6.3305	0.03280	3131	6.3305	
693.15	420	0.04260	3210	6.5322	0.03954	3204	6.4891	0.03674	3193	6.4510	0.03435	3187	6.4121	0.03435	3187	6.4121	
713.15	440	0.04430	3262	6.6051	0.04053	3256	6.5636	0.03828	3246	6.5268	0.03583	3242	6.4900	0.03583	3242	6.4900	
723.15	450	0.04513	3287	6.6403	0.04133	3283	6.5996	0.03903	3272	6.5632	0.03654	3268	6.5272	0.03654	3268	6.5272	
733.15	460	0.04596	3312	6.6750	0.04269	3308	6.6356	0.03977	3298	6.5988	0.03690	3294	6.5636	0.03690	3294	6.5636	
753.15	480	0.04759	3362	6.7420	0.04422	3359	6.7035	0.04122	3349	6.6675	0.03863	3346	6.6344	0.03863	3346	6.6344	
773.15	500	0.04918	3411	6.8063	0.04572	3409	6.7692	0.04265	3399	6.7332	0.04003	3397	6.6997	0.04003	3397	6.6997	
793.15	520	0.05073	3459	6.8680	0.04719	3457	6.8328	0.04405	3448	6.7964	0.04127	3447	6.7654	0.04127	3447	6.7654	
813.15	540	0.05227	3508	6.9279	0.04865	3507	6.8943	0.04542	3497	6.8571	0.04263	3497	6.8274	0.04263	3497	6.8274	
823.15	550	0.05304	3531	6.9572	0.04936	3530	6.9245	0.04610	3521	6.8869	0.04328	3521	6.8579	0.04328	3521	6.8579	
833.15	560	0.05381	3555	6.9861	0.05007	3555	6.9542	0.04678	3546	6.9162	0.04392	3546	6.8881	0.04392	3546	6.8881	
853.15	580	0.05532	3603	7.0426	0.05183	3603	7.0124	0.04813	3594	6.9735	0.04518	3594	6.9467	0.04518	3594	6.9467	
873.15	600	0.05678	3650	7.0970	0.05288	3650	7.0672	0.04944	3642	7.0288	0.04643	3643	7.0032	0.04643	3643	7.0032	

Табела II/3-17

Температура		p = 88.2				p = 93.1				p = 98.1				p = 107.9			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	
273.15	0	0.0009957	10	0.0004	0.0009955	10	0.0004	0.0009952	11	0.0004	0.0009948	11	0.0004	0.0009948	11	0.0004	
293.15	20	0.0009979	93	0.2939	0.0009977	93	0.2939	0.0009975	93	0.2939	0.0009971	94	0.2935	0.0009971	94	0.2935	
313.15	40	0.0010040	176	0.5681	0.0010038	176	0.5680	0.0010036	177	0.5677	0.0010032	178	0.5673	0.0010032	178	0.5673	
323.15	50	0.0010082	217	0.6984	0.0010080	217	0.6982	0.0010077	218	0.6979	0.0010074	219	0.6975	0.0010074	219	0.6975	
333.15	60	0.0010130	259	0.8252	0.0010128	259	0.8251	0.0010126	260	0.8248	0.0010122	261	0.8240	0.0010122	261	0.8240	
353.15	80	0.0010248	342	1.0681	0.0010245	342	1.0674	0.0010243	343	1.0676	0.0010239	345	1.0668	0.0010239	345	1.0668	
373.15	100	0.0010389	426	1.2992	0.0010386	426	1.2985	0.0010384	427	1.2983	0.0010380	428	1.2975	0.0010380	428	1.2975	
393.15	120	0.0010556	510	1.5190	0.0010552	510	1.5183	0.0010550	511	1.5181	0.0010545	512	1.5177	0.0010545	512	1.5177	
413.15	140	0.0010746	595	1.7291	0.0010743	595	1.7284	0.0010740	595	1.7283	0.0010735	596	1.7275	0.0010735	596	1.7275	
423.15	150	0.0010851	638	1.8309	0.0010848	638	1.8301	0.0010854	638	1.8301	0.0010839	639	1.8292	0.0010839	639	1.8292	
433.15	160	0.0010963	680	1.9305	0.0010960	680	1.9297	0.0010957	681	1.9293	0.0010950	682	1.9284	0.0010950	682	1.9284	
453.15	180	0.0011211	767	2.1248	0.0011207	767	2.1236	0.0011203	768	2.1235	0.0011195	768	2.1223	0.0011195	768	2.1223	
473.15	200	0.0011494	855	2.3161	0.0011489	855	2.3144	0.0011485	856	2.3140	0.0011476	856	2.3124	0.0011476	856	2.3124	
493.15	220	0.0011822	945	2.5025	0.0011816	945	2.5011	0.0011810	946	2.5008	0.0011799	946	2.4987	0.0011799	946	2.4987	
513.15	240	0.0012206	1038	2.6867	0.0012198	1038	2.6852	0.0012192	1038	2.6846	0.0012177	1038	2.6825	0.0012177	1038	2.6825	
523.15	250	0.0012425	1086	2.7792	0.0012417	1085	2.7774	0.0012409	1086	2.7767	0.0012393	1086	2.7746	0.0012393	1086	2.7746	
533.15	260	0.002669	1135	2.8713	0.0012659	1134	2.8695	0.0012650	1135	2.8688	0.0012631	1135	2.8659	0.0012631	1135	2.8659	
553.15	280	0.0013250	1236	3.0564	0.0013237	1234	3.0541	0.0013222	1234	3.0534	0.0013194	1234	3.0501	0.0013194	1234	3.0501	
573.15	300	0.0014024	1345	3.2506	0.0014001	1343	3.2467	0.0013979	1343	3.2452	0.0013937	1342	3.2402	0.0013937	1342	3.2402	
593.15	320	0.02336	2838	5.8481	0.02157	2811	5.7884	0.01988	2789	5.7309	0.01689	2732	5.6053	0.01689	2732	5.6053	
613.15	340	0.02553	2923	5.9834	0.02375	2905	5.9387	0.02210	2886	5.8912	0.01925	2846	5.7924	0.01925	2846	5.7924	
623.15	350	0.02652	2960	6.0483	0.02470	2944	6.0027	0.02307	2927	5.9582	0.02023	2892	5.8686	0.02023	2892	5.8686	
633.15	360	0.02745	2994	6.1035	0.02562	2980	6.0597	0.02397	2965	6.0189	0.02112	2935	5.9365	0.02112	2935	5.9365	
653.15	380	0.02914	3059	6.2040	0.02728	3048	6.1630	0.02560	3034	6.1261	0.02260	3009	6.0529	0.02260	3009	6.0529	
673.15	400	0.03070	3118	6.2932	0.02881	3111	6.2551	0.02709	3098	6.2207	0.02414	3077	6.1525	0.02414	3077	6.1525	
693.15	420	0.03218	3175	6.3765	0.03025	3169	6.3405	0.02848	3158	6.3074	0.02545	3131	6.2434	0.02545	3131	6.2434	
713.15	440	0.03339	3230	6.4552	0.03162	3226	6.4217	0.02981	3215	6.3891	0.02671	3199	6.3275	0.02671	3199	6.3275	
723.15	450	0.03428	3257	6.4929	0.03229	3253	6.4603	0.03046	3243	6.4280	0.02732	3227	6.3677	0.02732	3227	6.3677	
733.15	460	0.03496	3284	6.5297	0.03294	3280	6.4942	0.03109	3270	6.4661	0.02792	3255	6.4066	0.02792	3255	6.4066	
753.15	480	0.03629	3336	6.6009	0.03422	3333	6.5716	0.03232	3323	6.5385	0.02906	3310	6.4807	0.02906	3310	6.4807	
773.15	500	0.03758	3388	6.6675	0.03546	3385	6.6394	0.03352	3375	6.6072	0.03018	3363	6.5511	0.03018	3363	6.5511	
793.15	520	0.03884	3438	6.7315	0.03668	3436	6.7043	0.03469	3426	6.6729	0.03127	3415	6.6181	0.03127	3415	6.6181	
813.15	540	0.04009	3487	6.7935	0.03787	3487	6.7675	0.03584	3477	6.7357	0.03234	3466	6.6817	0.03234	3466	6.6817	
823.15	550	0.04071	3512	6.8236	0.03846	3512	6.7985	0.03641	3502	6.7663	0.03286	3492	6.7127	0.03286	3492	6.7127	
833.15	560	0.04133	3537	6.8534	0.03904	3537	6.8290	0.03697	3527	6.7964	0.03338	3517	6.7437	0.03338	3517	6.7437	
853.15	580	0.04254	3585	6.9116	0.04020	3586	6.8880	0.03807	3576	6.8555	0.03441	3567	6.8036	0.03441	3567	6.8036	
873.15	600	0.04372	3634	6.9677	0.04133	3635	6.9450	0.03910	3625	6.9220	0.03541	3617	6.8509	0.03541	3617	6.8509	

Табела III/3-18

Температура		p = 117.7 bar			p = 127.5			p = 137.3 bar			p = 147.1		
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K
273.15	0	0.0009943	12	0.0008	0.0009938	13	0.0008	0.0009933	14	0.0008	0.0009929	15	0.0008
293.15	20	0.0009966	95	0.2935	0.0009962	96	0.2931	0.0009958	97	0.2931	0.0009954	98	0.2931
313.15	40	0.0010028	178	0.5573	0.0010023	179	0.5669	0.0010019	180	0.5661	0.0010015	180	0.5661
323.15	50	0.0010069	219	0.6971	0.0010065	220	0.6967	0.0010061	221	0.6963	0.0010056	222	0.6958
333.15	60	0.0010117	261	0.8235	0.0010113	262	0.8231	0.0010109	262	0.8227	0.0010104	263	0.8219
353.15	80	0.0010234	344	1.0664	0.0010229	345	1.0655	0.0010225	345	1.0651	0.0010221	346	1.0647
373.15	100	0.0010375	427	1.2967	0.0010370	428	1.2958	0.0010365	429	1.2954	0.0010360	430	1.2946
393.15	120	0.0010540	512	1.5169	0.0010535	512	1.5160	0.0010529	513	1.5152	0.0010524	514	1.5144
413.15	140	0.0010728	596	1.7266	0.0010723	597	1.7258	0.0010717	598	1.7245	0.0010711	598	1.7237
423.15	150	0.0010832	639	1.8280	0.0010826	640	1.8271	0.0010820	640	1.8259	0.0010814	641	1.8250
433.15	160	0.0010943	682	1.9272	0.0010937	682	1.9263	0.0010930	683	1.9251	0.0010924	683	1.9238
453.15	180	0.0011188	768	2.1210	0.0011180	769	2.1198	0.0011172	769	2.1185	0.0011165	770	2.1173
473.15	200	0.0011476	856	2.3111	0.0011457	857	2.3094	0.0011448	857	2.3082	0.0011439	857	2.3065
493.15	220	0.0011788	946	2.4970	0.0011777	946	2.4949	0.0011766	947	2.4932	0.0011755	947	2.4916
513.15	240	0.0012163	1038	2.6804	0.0012149	1038	2.6783	0.0012136	1038	2.6762	0.0012122	1038	2.6741
523.15	250	0.0012377	1086	2.7721	0.0012361	1086	2.7696	0.0012346	1086	2.7675	0.0012330	1086	2.7654
533.15	260	0.0012613	1134	2.8634	0.0012594	1134	2.8608	0.0012576	1134	2.8583	0.0012558	1134	2.8562
553.15	280	0.0013169	1233	3.0472	0.0013143	1233	3.0442	0.0013118	1233	3.0409	0.0013094	1233	3.0379
573.15	300	0.0013897	1340	3.2360	0.0013858	1339	3.2314	0.0013820	1338	3.2276	0.0013782	1337	3.2234
593.15	320	0.001495	1460	3.4436	0.001487	1457	3.4349	0.001481	1455	3.4286	0.001474	1452	3.4219
613.15	340	0.01679	2802	5.6915	0.01457	2752	5.5844	0.01253	2691	5.4659	0.011639	1594	3.6580
623.15	350	0.01780	2853	5.7769	0.01566	2810	5.5615	0.01374	2764	5.5844	0.01200	2711	5.4776
633.15	360	0.01870	2900	5.8523	0.01659	2863	5.7661	0.01471	2824	5.6786	0.01307	2780	5.5885
653.15	380	0.02024	2981	5.9796	0.01815	2952	5.9072	0.01634	2922	5.8343	0.01474	2890	5.7606
673.15	400	0.02166	3054	6.0864	0.01955	3031	6.0231	0.01772	3007	5.9595	0.01613	2981	5.8963
693.15	420	0.02292	3121	6.1818	0.02078	3102	6.1236	0.01893	3082	6.0667	0.01732	3061	6.0139
713.15	440	0.02412	3182	6.2697	0.02193	3164	6.2140	0.02004	3146	6.1605	0.01840	3128	6.1081
723.15	450	0.02470	3211	6.3112	0.02248	3194	6.2568	0.02057	3177	6.2048	0.01891	3160	6.1538
733.15	460	0.02527	3239	6.3510	0.02302	3223	6.2978	0.02109	3207	6.2471	0.01941	3192	6.1977
753.15	480	0.02635	3295	6.4272	0.02405	3282	6.3761	0.02208	3267	6.2371	0.02037	3253	6.2815
773.15	500	0.02740	3350	6.4988	0.02505	3337	6.4502	0.02303	3325	6.4025	0.02127	3312	6.3589
793.15	520	0.02842	3403	6.5670	0.02602	3391	6.5197	0.02394	3380	6.4740	0.02215	3367	6.4313
813.15	540	0.02942	3455	6.6325	0.02695	3444	6.5858	0.02484	3434	6.5419	0.02300	3424	6.5000
823.15	550	0.02991	3481	6.6637	0.02742	3471	6.6181	0.02527	3461	6.5741	0.02341	3450	6.5331
833.15	560	0.03039	3507	6.6947	0.02787	3497	6.6495	0.02570	3487	6.6055	0.02383	3477	6.5653
853.15	580	0.03135	3557	6.7550	0.02877	3548	6.7102	0.02652	3539	6.6671	0.02463	3530	6.6281
873.15	600	0.03229	3608	6.8132	0.02965	3599	6.7692	0.02738	3591	6.7269	0.02541	3582	6.8888

Табела II/3-19

Температура		p = 157.0 bar				p = 166.8				p = 176.5 bar				p = 186.3			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	
273.15	0	0.000924	16	0.0008	0.000919	2	0.0008	0.000914	18	0.0008	0.000910	19	0.0008	0.000910	19	0.0008	
293.15	20	0.000950	98	0.2927	0.000945	99	0.2922	0.000941	102	0.2922	0.000937	101	0.2922	0.000937	101	0.2922	
313.15	40	0.001001	181	0.5656	0.001007	182	0.5652	0.001003	183	0.5652	0.000999	184	0.5644	0.000999	184	0.5644	
323.15	50	0.001005	223	0.6954	0.001004	224	0.6946	0.001004	224	0.6946	0.001004	225	0.6938	0.001004	225	0.6938	
333.15	60	0.001010	264	0.8215	0.001009	265	0.8210	0.001009	266	0.8210	0.001008	267	0.8298	0.001008	267	0.8298	
353.15	80	0.001021	347	1.0639	0.001021	348	1.0634	0.001020	349	1.0626	0.001020	350	1.0622	0.001020	350	1.0622	
373.15	100	0.001035	431	1.2937	0.001035	431	1.2933	0.001034	432	1.2925	0.001034	433	1.2920	0.001034	433	1.2920	
393.15	120	0.001051	515	1.5135	0.001051	515	1.5127	0.001050	516	1.5119	0.001050	517	1.5110	0.001050	517	1.5110	
413.15	140	0.001070	599	1.7229	0.001070	600	1.7220	0.001069	600	1.7208	0.001068	601	1.7199	0.001068	601	1.7199	
423.15	150	0.001080	641	1.8242	0.001080	642	1.8229	0.001079	643	1.8221	0.001079	644	1.8213	0.001079	644	1.8213	
433.15	160	0.001091	684	1.9230	0.001091	685	1.9222	0.001090	685	1.9209	0.001089	686	1.9196	0.001089	686	1.9196	
453.15	180	0.001157	770	2.1160	0.001150	770	2.1148	0.001143	771	2.1135	0.001135	772	2.1122	0.001135	772	2.1122	
473.15	200	0.001143	858	2.3053	0.001142	858	2.3036	0.001141	859	2.3023	0.001140	859	2.3006	0.001140	859	2.3006	
493.15	220	0.001174	947	2.4895	0.001173	947	2.4878	0.001172	947	2.4861	0.001171	948	2.4844	0.001171	948	2.4844	
513.15	240	0.001210	1039	2.6720	0.001209	1039	2.6699	0.001208	1039	2.6678	0.001208	1039	2.6657	0.001208	1039	2.6657	
523.15	250	0.001231	1086	2.7629	0.001229	1086	2.7608	0.001228	1086	2.7573	0.001226	1086	2.7562	0.001226	1086	2.7562	
533.15	260	0.001254	1133	2.8537	0.001252	1133	2.8512	0.001250	1133	2.8487	0.001248	1133	2.8462	0.001248	1133	2.8462	
553.15	280	0.001307	1233	3.0354	0.001304	1232	3.0321	0.001302	1232	3.0296	0.001300	1231	3.0266	0.001300	1231	3.0266	
573.15	300	0.001374	1336	3.2196	0.001371	1335	3.2155	0.001367	1334	3.2125	0.001364	1333	3.2083	0.001364	1333	3.2083	
593.15	320	0.001468	1450	3.4160	0.001462	1449	3.4101	0.001457	1447	3.4051	0.001452	1445	3.3997	0.001452	1445	3.3997	
613.15	340	0.001621	1588	3.6459	0.001608	1583	3.6333	0.001596	1578	3.6233	0.001584	1574	3.6140	0.001584	1574	3.6140	
623.15	350	0.01032	2638	5.3507	0.001742	1672	3.7773	0.001713	1660	3.7568	0.001690	1652	3.7413	0.001690	1652	3.7413	
633.15	360	0.01154	2729	5.4897	0.01006	2770	5.3834	0.0082	2597	5.2515	0.00702	2489	5.0648	0.00702	2489	5.0648	
653.15	380	0.01331	2856	5.6861	0.01202	2818	5.6095	0.01083	2775	5.5274	0.00972	2792	5.4416	0.00972	2792	5.4416	
673.15	400	0.01471	2954	5.8351	0.01345	2926	5.7753	0.01231	2896	5.7112	0.01127	2864	5.6459	0.01127	2864	5.6459	
693.15	420	0.01590	3039	5.9595	0.01464	3015	5.9042	0.01351	2991	5.8490	0.01248	2966	5.7945	0.01248	2966	5.7945	
713.15	440	0.01696	3109	6.0583	0.01569	3090	6.0089	0.01454	3070	5.9603	0.01351	3049	5.9126	0.01351	3049	5.9126	
723.15	450	0.01746	3143	6.1052	0.01618	3125	6.0583	0.01503	3106	6.0118	0.01399	3087	5.9658	0.01399	3087	5.9658	
733.15	460	0.01794	3175	6.1508	0.01665	3158	6.1048	0.01549	3141	6.0604	0.01445	3124	6.0156	0.01445	3124	6.0156	
753.15	480	0.01887	3238	6.2362	0.01754	3223	6.1931	0.01636	3209	6.1508	0.01530	3193	6.1102	0.01530	3193	6.1102	
773.15	500	0.01974	3299	6.3162	0.01839	3286	6.2748	0.01718	3272	6.2346	0.01610	3259	6.1960	0.01610	3259	6.1960	
793.15	520	0.02058	3357	6.3899	0.01919	3345	6.3505	0.01796	3333	6.3116	0.01686	3320	6.2752	0.01686	3320	6.2752	
813.15	540	0.02139	3413	6.4594	0.01998	3401	6.4213	0.01874	3390	6.3845	0.01758	3373	6.3497	0.01758	3373	6.3497	
823.15	550	0.02179	3440	6.4929	0.02035	3429	6.4556	0.01908	3419	6.4192	0.01794	3408	6.3849	0.01794	3408	6.3849	
833.15	560	0.02218	3467	6.5260	0.02073	3457	6.4891	0.01944	3447	6.4527	0.01828	3437	6.4188	0.01828	3437	6.4188	
853.15	580	0.02294	3521	6.5896	0.02146	3512	6.5536	0.02014	3502	6.5184	0.01896	3493	6.4845	0.01896	3493	6.4845	
873.15	600	0.02369	3574	6.6512	0.02218	3565	6.6160	0.02083	3557	6.5816	0.01962	3548	6.5486	0.01962	3548	6.5486	

Табела II/3-20

Температура		p = 196 bar				p = 245 bar				p = 294 bar				p = 343 bar			
T	t	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	v	i	s	
K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg K	
273.15	0	0.0009905	20	0.0013	0.0009882	25	0.0013	0.0009860	29	0.0013	0.0009837	34	0.0008				
293.15	20	0.0009933	102	0.2918	0.0009912	107	0.2910	0.0009889	111	0.2901	0.0009867	116	0.2889				
313.15	40	0.0009995	185	0.5640	0.0009974	189	0.5623	0.0009954	193	0.5602	0.0009935	198	0.5581				
323.15	50	0.0010036	226	0.6938	0.0010015	231	0.6912	0.0009995	234	0.6891	0.0009976	239	0.6871				
333.15	60	0.0010083	267	0.8189	0.0010062	271	0.8164	0.0010042	275	0.8143	0.0010023	280	0.8118				
353.15	80	0.0010198	350	1.0609	0.0010176	354	1.0580	0.0010156	358	1.0551	0.0010135	362	1.0521				
373.15	100	0.0010337	434	1.2912	0.0010314	438	1.2874	0.0010292	441	1.2837	0.0010270	445	1.2799				
393.15	120	0.0010498	517	1.5102	0.0010473	521	1.5056	0.0010449	525	1.5018	0.0010425	528	1.4968				
413.15	140	0.0010682	602	1.7191	0.0010655	605	1.7145	0.0010627	608	1.7099	0.0010600	612	1.7049				
423.15	150	0.0010784	644	1.8200	0.0010754	647	1.8154	0.0010725	650	1.8104	0.0010697	654	1.8053				
433.15	160	0.0010892	686	1.9192	0.0010860	690	1.9142	0.0010829	693	1.9088	0.0010799	696	1.9037				
453.15	180	0.0011128	772	2.1127	0.0011092	775	2.1072	0.0011056	778	2.1009	0.0011020	781	2.0955				
473.15	200	0.0011395	860	2.2998	0.0011354	862	2.2935	0.0011313	864	2.2872	0.0011273	867	2.2810				
493.15	220	0.0011701	948	2.4836	0.0011650	950	2.4761	0.0011603	952	2.4690	0.0011557	954	2.4623				
513.15	240	0.0012055	1039	2.6653	0.0011993	1040	2.6561	0.0011934	1042	2.6473	0.0011879	1044	2.6398				
523.15	250	0.0012254	1086	2.7545	0.0012184	1087	2.7449	0.0012118	1088	2.7357	0.0012056	1089	2.7273				
533.15	260	0.0012472	1133	2.8441	0.0012392	1134	2.8336	0.0012316	1135	2.8236	0.0012244	1135	2.8144				
553.15	280	0.0012977	1231	3.0237	0.0012870	1230	3.0095	0.0012772	1230	2.9977	0.0012680	1230	2.9873				
573.15	300	0.0013612	1333	3.2054	0.0013461	1331	3.1887	0.0013326	1329	3.1736	0.0013203	1328	3.1598				
593.15	320	0.001446	1443	3.3955	0.001423	1438	3.3729	0.001403	1434	3.3532	0.001385	1430	3.3344				
613.15	340	0.001573	1570	3.6057	0.001530	1557	3.5701	0.001497	1548	3.5420	0.001470	1540	3.5177				
623.15	350	0.001671	1646	3.7283	0.001606	1624	3.6789	0.001561	1611	3.6438	0.001525	1599	3.6136				
633.15	360	0.001841	1744	3.8854	0.001703	1699	3.8004	0.001642	1678	3.7514	0.001592	1661	3.7124				
653.15	380	0.00968	2678	5.3465	0.00235	2251	4.2136	0.00191	1843	4.0063	0.001778	1802	3.9293				
673.15	400	0.01033	2830	5.5797	0.00637	2608	5.1848	0.00306	2201	4.5464	0.00217	2004	4.2308				
693.15	420	0.01155	2940	5.7401	0.00788	2789	5.4560	0.00520	2587	5.1154	0.00329	2341	4.7311				
713.15	440	0.01259	3028	5.8649	0.00897	2911	5.6277	0.00646	2766	5.3912	0.00461	2599	5.0995				
723.15	450	0.01306	3068	5.9201	0.00946	2961	5.6976	0.00697	2837	5.4726	0.00515	2697	5.2368				
733.15	460	0.01351	3106	5.9729	0.00990	3008	5.7620	0.00743	2901	5.5601	0.00563	2781	5.3532				
753.15	480	0.01436	3178	6.0700	0.01071	3094	5.8771	0.00824	3007	5.7037	0.00646	2992	5.4324				
773.15	500	0.01513	3245	6.1584	0.01142	3173	5.9801	0.00894	3095	5.8184	0.00715	3012	5.6639				
793.15	520	0.01586	3308	6.2996	0.01208	3244	6.0735	0.00955	3175	5.9231	0.00775	3103	5.7803				
813.15	540	0.01656	3368	6.3149	0.01270	3310	6.1580	0.01013	3249	6.0169	0.00829	3186	5.8845				
823.15	550	0.01691	3397	6.3505	0.01300	3342	6.1990	0.01040	3318	6.0600	0.00855	3225	5.9327				
833.15	560	0.01724	3426	6.3853	0.01330	3373	6.2392	0.01067	3385	6.1010	0.00879	3263	5.9783				
853.15	580	0.01790	3483	6.4531	0.01386	3435	6.3146	0.01118	3450	6.1785	0.00926	3335	6.0625				
873.15	600	0.01854	3539	6.5176	0.01441	3495	6.3857	0.01167	3495	6.2521	0.00971	3405	6.1408				

Температура		p = 392					p = 490					p = 736					p = 981				
T	t	v	i	s		v	i	s		v	i	s		v	i	s		v	i	s	
K	°C	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	kJ / kg K	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	
273.15	0	0.0009812	39	0.0008	0.0008	0.0009764	48	0.0000	0.0000	0.000967	72	-0.0017	-0.0017	0.000960	94	0.000960	0.000960	0.000960	94	-0.0029	
293.15	20	0.0009844	121	0.2876	0.2876	0.0009799	129	0.2843	0.2843	0.000971	151	0.2784	0.2784	0.000965	172	0.000965	0.000965	0.000965	172	0.2742	
313.15	40	0.0009915	202	0.5560	0.5560	0.0009976	211	0.5518	0.5518	0.000978	231	0.5422	0.5422	0.000972	251	0.000972	0.000972	0.000972	251	0.5351	
323.15	50	0.0009957	243	0.6845	0.6845	0.0009919	251	0.6799	0.6799	0.000982	271	0.6691	0.6691	0.000976	291	0.000976	0.000976	0.000976	291	0.6603	
333.15	60	0.0010004	284	0.8093	0.8093	0.0009966	292	0.8047	0.8047	0.000987	312	0.7921	0.7921	0.000980	331	0.000980	0.000980	0.000980	331	0.7817	
353.15	80	0.0010115	366	1.0496	1.0496	0.0010075	374	1.0438	1.0438	0.000997	393	1.0283	1.0283	0.000990	412	0.000990	0.000990	0.000990	412	1.0149	
373.15	100	0.0010248	448	1.2766	1.2766	0.0010204	456	1.2694	1.2694	0.001010	474	1.2531	1.2531	0.001002	493	0.001002	0.001002	0.001002	493	1.2372	
393.15	120	0.0010401	532	1.4926	1.4926	0.0010354	539	1.4846	1.4846	0.001024	556	1.4662	1.4662	0.001015	574	0.001015	0.001015	0.001015	574	1.4491	
413.15	140	0.0010574	615	1.7003	1.7003	0.0010521	622	1.6910	1.6910	0.001040	638	1.6697	1.6697	0.001030	655	0.001030	0.001030	0.001030	655	1.6509	
423.15	150	0.0010669	657	1.8007	1.8007	0.0010613	663	1.7911	1.7911	0.001048	680	1.7685	1.7685	0.001038	696	0.001038	0.001038	0.001038	696	1.7476	
433.15	160	0.0010769	698	1.8991	1.8991	0.0010710	705	1.8891	1.8891	0.001057	721	1.8648	1.8648	0.001047	736	0.001047	0.001047	0.001047	736	1.8426	
453.15	180	0.0010986	784	2.0901	2.0901	0.0010922	790	2.0787	2.0787	0.001078	804	2.0520	2.0520	0.001066	819	0.001066	0.001066	0.001066	819	2.0272	
473.15	200	0.0011234	870	2.2751	2.2751	0.0011161	874	2.2625	2.2625	0.001101	888	2.2324	2.2324	0.001088	901	0.001088	0.001088	0.001088	901	2.2052	
493.15	220	0.0011513	956	2.4556	2.4556	0.0011431	960	2.4413	2.4413	0.001127	972	2.4074	2.4074	0.001113	983	0.001113	0.001113	0.001113	983	2.3760	
513.15	240	0.0011827	1045	2.6318	2.6318	0.0011733	1048	2.6159	2.6159	0.001155	1058	2.5778	2.5778	0.001140	1067	0.001140	0.001140	0.001140	1067	2.5422	
523.15	250	0.0011999	1091	2.7185	2.7185	0.0011899	1093	2.7017	2.7017	0.001170	1101	2.6611	2.6611	0.001154	1109	0.001154	0.001154	0.001154	1109	2.6234	
533.15	260	0.0012183	1137	2.8047	2.8047	0.0012075	1138	2.7867	2.7867	0.001186	1145	2.7432	2.7432	0.001169	1152	0.001169	0.001169	0.001169	1152	2.7034	
553.15	280	0.0012598	1231	2.9760	2.9760	0.0012461	1231	2.9542	2.9542	0.001222	1234	2.9061	2.9061	0.001201	1238	0.001201	0.001201	0.001201	1238	2.8604	
573.15	300	0.0013081	1326	3.1472	3.1472	0.0012902	1325	3.1229	3.1229	0.001260	1325	3.0681	3.0681	0.001236	1327	0.001236	0.001236	0.001236	1327	3.0153	
593.15	320	0.001369	1427	3.3185	3.3185	0.001343	1422	3.2887	3.2887	0.001304	1418	3.2280	3.2280	0.001274	1417	0.001274	0.001274	0.001274	1417	3.1673	
613.15	340	0.001445	1534	3.4960	3.4960	0.001406	1525	3.4591	3.4591	0.001353	1513	3.3863	3.3863	0.001315	1509	0.001315	0.001315	0.001315	1509	3.3176	
623.15	350	0.001493	1592	3.5899	3.5899	0.001444	1578	3.5445	3.5445	0.001379	1562	3.4654	3.4654	0.001336	1556	0.001336	0.001336	0.001336	1556	3.3921	
633.15	360	0.001550	1651	3.6831	3.6831	0.001489	1633	3.6329	3.6329	0.001407	1612	3.5441	3.5441	0.001357	1603	0.001357	0.001357	0.001357	1603	3.4658	
653.15	380	0.00170	1778	3.8799	3.8799	0.00160	1748	3.8117	3.8117	0.001471	1714	3.7032	3.7032	0.001401	1699	0.001401	0.001401	0.001401	1699	3.6128	
673.15	400	0.00194	1943	4.1248	4.1248	0.00175	1884	4.0118	4.0118	0.00155	1823	3.8644	3.8644	0.00145	1797	0.00145	0.00145	0.00145	1797	3.7585	
693.15	420	0.00243	2170	4.4594	4.4594	0.00196	2041	4.2391	4.2391	0.00165	1936	4.0281	4.0281	0.00151	1897	0.00151	0.00151	0.00151	1897	3.9038	
713.15	440	0.00334	2423	4.8291	4.8291	0.00232	2211	4.4866	4.4866	0.00177	2053	4.1939	4.1939	0.00159	1999	0.00159	0.00159	0.00159	1999	4.0486	
723.15	450	0.00384	2543	4.9957	4.9957	0.00255	2302	4.6185	4.6185	0.00185	2113	4.2793	4.2793	0.00164	2051	0.00164	0.00164	0.00164	2051	4.1206	
733.15	460	0.00431	2641	5.1292	5.1292	0.00282	2315	4.7495	4.7495	0.00193	2175	4.3681	4.3681	0.00169	2103	0.00169	0.00169	0.00169	2103	4.1927	
753.15	480	0.00513	2800	5.3453	5.3453	0.00343	2579	4.9957	4.9957	0.00212	2309	4.5531	4.5531	0.00180	2209	0.00180	0.00180	0.00180	2209	4.3379	
773.15	500	0.00582	2925	5.5123	5.5123	0.00402	2750	5.2184	5.2184	0.00235	2453	4.7382	4.7382	0.00191	2319	0.00191	0.00191	0.00191	2319	4.4849	
793.15	520	0.00639	3030	5.6463	5.6463	0.00455	2882	5.3901	5.3901	0.00262	2592	4.9061	4.9061	0.00205	2438	0.00205	0.00205	0.00205	2438	4.6352	
813.15	540	0.00691	3123	5.7619	5.7619	0.00502	2992	5.5287	5.5287	0.00290	2719	5.0635	5.0635	0.00221	2559	0.00221	0.00221	0.00221	2559	4.7872	
823.15	550	0.00716	3165	5.8134	5.8134	0.00524	3043	5.5906	5.5906	0.00304	2780	5.1385	5.1385	0.00229	2617	0.00229	0.00229	0.00229	2617	4.8609	
833.15	560	0.00739	3206	5.8624	5.8624	0.00545	3092	5.6501	5.6501	0.00318	2838	5.2105	5.2105	0.00238	2675	0.00238	0.00238	0.00238	2675	4.9325	
853.15	580	0.00784	3285	5.9536	5.9536	0.00585	3183	5.7564	5.7564	0.00345	2949	5.3457	5.3457	0.00256	2788	0.00256	0.00256	0.00256	2788	5.0685	
873.15	600	0.00825	3359	6.0386	6.0386	0.00622	3267	5.8523	5.8523	0.00372	3051	5.4684	5.4684	0.00274	2896	0.00274	0.00274	0.00274	2896	5.1941	

ЛИТЕРАТУРА

1. Наумовски Е., Пецаков С., *Термодинамика и термотехника 1* „Просветно дело“ Скопје, 1992.
2. Ковач Ч., *Термодинамика*, Сараево, 1986.
3. Блажевски А. и група автори, *Термодинамика и термотехника 2*, „Просветно дело“ Скопје, 1992.
4. Курчиќ Б., *Парни котлови*, Београд, 1958.
5. Пешто Н., *Погонске и радне машине*, Сараево, 1986.
6. Зрниќ В., *Грејање и климатизација*, Београд,
7. Данон Ј., *Централно грејање*, Београд, 1984.
8. Милер Ј., *Парне и плинске турбине*, Загреб, 1965.
9. Черне Б., *Парне турбине*, Загреб, 1950.
10. Тирели Е., *Бродске топлинске турбине*, Ријека, 2001.