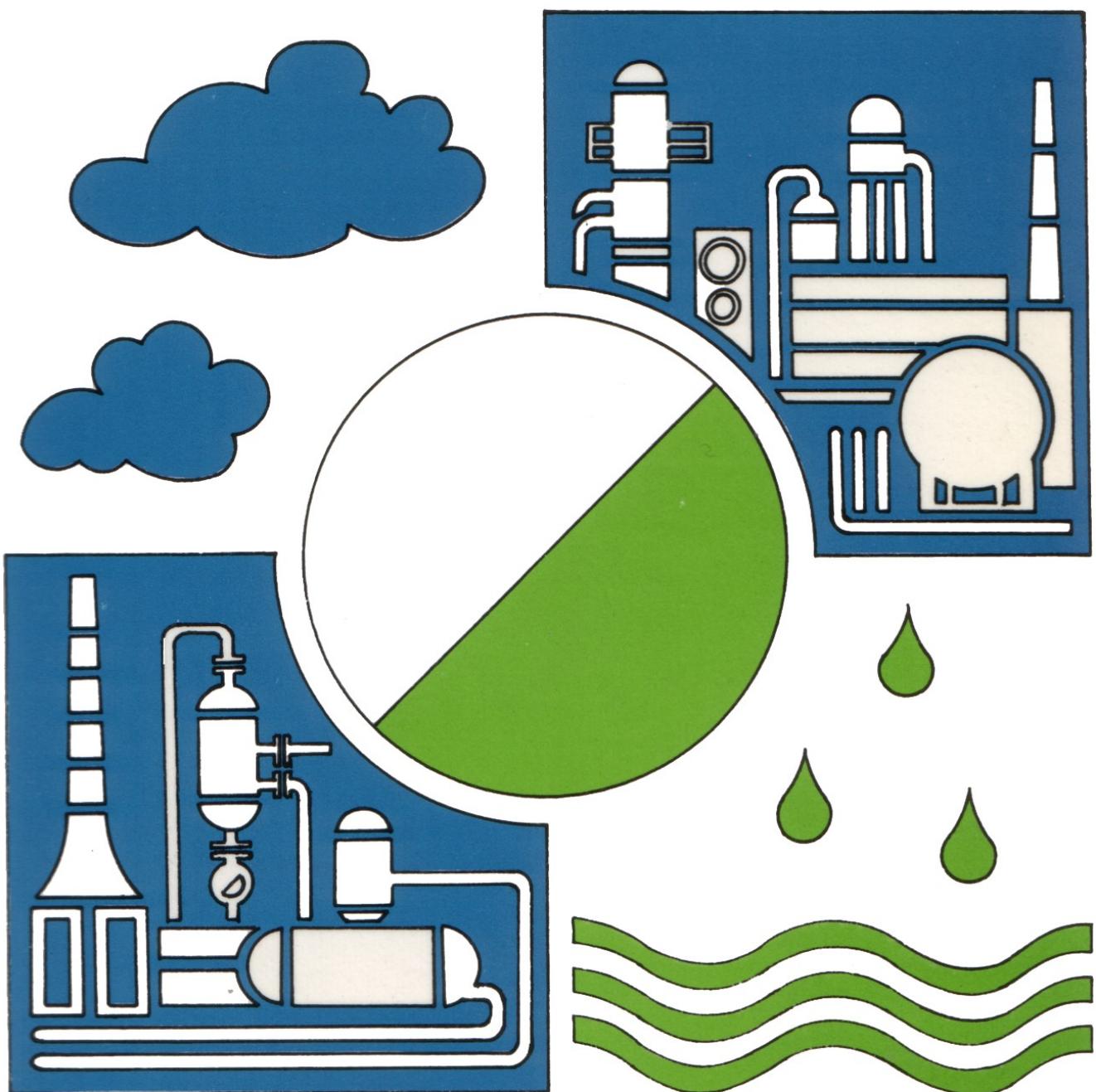


VJEKOSLAV KNEŽEVIĆ

PRIRUČNIK

ZA

KONDENZAT



Vjekoslav Knežević

**Priručnik
za
KONDENZAT**

SADRŽAJ

1	TERMODINAMSKE OSNOVE KONDENZACIJE	1
1.1	Kondenzacija na površini stijenke (Nusseltova teorija)	2
1.1.1	Koeficijent prijelaza topline pri kondenzaciji na vertikalnoj cijevi	4
1.1.2	Koeficijent prijelaza topline pri kondenzaciji na kosoj cijevi.	6
1.1.3	Koeficijent prijelaza topline pri kondenzaciji na horizontalnoj cijevi	7
1.1.4	Koeficijent prijelaza topline pri kondenzaciji u cijevima	8
1.1.5	Koeficijent prijelaza topline pri kondenzaciji za orebrene cijevi	9
1.1.6	Kondenzacija pare koja sadrži nekondenzirajuće plinove	10
1.1.7	Temperatura kondenzata.	11
1.2	Prijelaz topline na kapljevinu u cijevi	12
1.3	Izmjena topline	13
1.3.1	Stacionaran prolaz topline kod jednakih temperatura	14
1.3.2	Prolaz topline kod promjenjivih temperatura uzduž promatrane površine	16
1.4	Potrebna količina topline	18
1.4.1	Orientacione vrijednosti potrebne količine topline u raznim industrijama.	19
1.5	Brojevni primjeri	22
2	OSNOVNI PRINCIPI ODVOĐENJA KONDENZATA PARE	27
2.1	Masa kondenzata za slučaj poznatog toplinskog učina	27
2.2	Tipični slučajevi odvođenja kondenzata iz instalacija i uređaja u industriji	30
2.2.1	Parovod	30
2.2.1.2	Specijalni uređaji parovoda.	34
2.2.2	Popratno grijanje	36
2.2.3	Ogrjevna tijela za grijanje prostorija.	42
2.2.4	Postrojenje za klimatizaciju	48
2.2.5	Apsorpcijski rashladni uređaji	49
2.2.6	Zagrijači zraka za industrijske svrhe	51
2.2.7	Tehnički izmjenjivači topline	53
2.2.7.1	Horizontalni izmjenjivač topline	53
2.2.7.2	Vertikalni izmjenjivač topline	53
2.2.7.3	Masa kondenzata za izmjenjivač topline	55
2.2.8	Kupke	56
2.2.8.1	Kupke za zagrijavanje vode i neagresivnih tekućina	56
2.2.8.2	Kupke za zagrijavanje agresivnih tekućina	57

2.2.8.3 Masa kondenzata za zagrijavanje kupke	58
2.2.9 Rotirajući cilindri za sušenje	59
2.2.9.1 Odvodnja kondenzata iz rotirajućih cilindara po sistemu "BI-SYMATIC"	62
2.2.9.2 Odvodnja kondenzata iz rotirajućih cilindara po sistemu BAVIERA- HONITAK	63
2.2.10 Parne preše	64
2.2.10.1 Parna preša s ogrjevnim pločama spojenim paralelno	64
2.2.10.2 Parna preša s ogrjevnim pločama spojenim u seriju	65
2.2.10.3 Vulkanizerska preša	65
2.2.10.4 Masa kondenzata za izbor odvodnika parne preše	66
2.2.11 Uređaji u procesnoj industriji	67
2.2.11.1 Uparni kotao s plaštem	67
2.2.11.2 Autoklavi	70
2.2.11.3 Isparivači	71
2.2.12 Odvodnja kondenzata iz parnih prostora pod vakuumom	74
2.2.13 Odvodnja kondenzata iz instalacija komprimiranog zraka	75
3 POGONSKE SMETNJE U INSTALACIJAMA KONDENZATA	81
3.1 Stvaranje parnog čepa	81
3.2 Grupno odvođenje kondenzata	83
3.3 Protutlak u kondenzatnom vodu	85
3.4 Hidraulički udar	86
3.4.1 Hidraulički udar u parovodima	87
3.4.2 Hidraulički udar u kondenzatnim vodama	88
3.4.3 Hidraulički udar pri podizanju kondenzata	88
3.4.4 Direktno zagrijavanje vode pomoću kondenzata	90
3.4.5 Hidraulički udar u izmjenjivačima topline	90
3.4.6 Hidraulički udar u instalacijama za grijanje i hlađenje	91
3.4.7 Hidraulički udar u izmjenjivačima topline s regulacijom temperature na strani pare	92
3.5 Odzračivanje	94
3.5.1 Odzračivanje izmjenjivača topline	96
3.5.2 Odzračivanje instalacija zatvorenog toka povrata kondenzata	98
3.5.3 Odzračivanje dugih parovoda	98
3.6 Smrzavanje	99
3.6.1 Clevovod kondenzata	100

3.6.2 Cjevni registar	102
3.6.3 Izmjenjivač topline	104
ODVODNICI KONDENZATA	105
4.1 Mehanički odvodnici kondenzata	106
4.1.1 Odvodnik kondenzata sa (zatvorenim) plovkom	106
4.1.2 Zvonasti odvodnik kondenzata	109
4.2 Termostatski odvodnici kondenzata	113
4.2.1 Termostatski odvodnik s kapljevinom	113
4.2.2 Termostatski odvodnik s mijehom	115
4.2.3 Termostatski odvodnik s membranom	117
4.2.4 Termostatski bimetalni odvodnik	118
4.3 Ostali odvodnici	122
4.3.1 Termodinamski odvodnici kondenzata	122
4.3.2 Labirintni odvodnik kondenzata	124
4.3.3 Prigušnica kao odvodnik kondenzata	125
4.4 Izbor odvodnika kondenzata	125
4.4.1 Izbor tipa odvodnika	125
4.4.2 Izbor kapaciteta odvodnika	127
4.5 Kontrola rada odvodnika	129
4.5.1 Vizuelna kontrola rada odvodnika	129
4.5.2 Kontrola rada odvodnika pomoću zvuka	129
4.5.3 Kontrola rada odvodnika mjerenjem temperature	130
4.5.4 Kontrola potroška pare trošila	130
4.6 Program za štednju energije stalnim praćenjem rada odvodnika kondenzata	133
5. TRANSPORT KONDENZATA	137
5.1 Otparivanje	137
5.2 Dimenzioniranje cjevovoda kondenzata	139
5.2.1 Dimenzioniranje kratkih cjevovoda	139
5.2.2 Dimenzioniranje dugih cjevovoda	142
5.3 Sabirnik kondenzata	148
5.4 Pumpa kondenzata	150
5.4.1 Pogonska karakteristika pumpe	150
5.4.2 Učin za pogon pumpe	151
5.4.3 Dozvoljena usisna visina	152
5.5 Pneumatski transport kondenzata	156
6 MOGUĆNOST I NAČIN ISKORIŠTENJA TOPLINE KONDENZATA	159
6.1 Primjeri lošeg rada kondenzatnog sistema	195
6.1.1 Kondenzt se ne vraća u proces	159
6.2.2 Kondenzt se vraća u proces	159
6.1.3 Propuštanje odvodnika kondenzata	159
6.1.4 Prigušeno istjecanje kondenzata	161
6.2 Način iskorištenja topline kondenzata	161
6.2.1 Pothlađenje kondenzata	161
6.2.2 Ugradnja izmjenjivača topline u povratni cjevovod	

6.2.3	Ugradnja predgrijача	163
6.2.4	Iskorištenje topline otparka kondenzata	163
6.2.4.1	Zatvoreni sistem bez otparivanja kondenzata.	164
6.2.4.2	Zatvoreni sistem s otparivanjem kondenzata.	165
6.2.4.3	Iskorištenje topline otparka u tehnološkom postupku	169
6.2.5	Iskorištenje topline otparka po termosifonskom principu	177
6.2.6	Iskorištenje topline otparka korištenjem termokompresije	178
6.3	Primjeri iskorištenja otparka kondenzata.	179
6.3.1	Iskorištenje otparka kondenzata iz procesa za zagrijavanje vode u sistemu grijanja	179
6.3.2	Iskorištenje topline odsoljavanja generatora pare.	182
6.3.3	Iskorištenje topline otparka u procesu proizvodnje valovitog kartona	187
6.3.4	Iskorištenje topline otparka i kondenzata u termoenergetskom postrojenju	191
6.4	Primjeri toplinski gubitaka u instalacijama kondenzata.	194
6.4.1	Izolacije	196
7	KVALITETA KONDENZATA I VODE	199
7.1	Kvaliteta kondenzata.	199
7.1.1	Nečistoće koje dolaze od samog uređaja	199
7.1.2	Nečistoće zbog prodora ugljikovodika	199
7.1.3	Nečistoće zbog dugotrajnog stajanja potrojenja	199
7.1.4	Utjecaj nekvalitetne vode na rad parnog postrojenja.	200
7.2	Kvaliteta vode	202
7.2.1	Soli otopljene u prirodnoj (sirovoj) vodi	202
7.2.2	Tvrdoće vode	203
7.2.3	Plinovi otopljeni u vodi.	205
7.2.3.1	Otplinjivač	207
7.3	Svojstva napojne vode	208
7.4	Svojstva vode u generatoru pare.	212
	Literatura	215
	PRILOZI.	219
	KATALOG PROIZVOĐAČA ODVODNIKA KONDENZATA	
	ARMSTRONG	229
	GESTRA.	261
	SPIRAX SARCO	305

2. OSNOVNI PRINCIPI ODVOĐENJA KONDENZATA PARE

2. 1 Masa kondenzata za slučaj poznatog toplinskog učina

Za izračunavanje mase dotoka kondenzata koristi se izraz

$$\dot{m} = (1 + \varphi) \frac{\dot{Q}}{r} \text{ kg/h} \quad (23)$$

gdje su:

\dot{Q} — toplinski tok, kJ/h

r — toplina isparivanja, kJ/kg

Faktor φ ovisi o temperaturnoj razlici produkta i pare u odnosu na temperaturu okoline, izolaciji, razlici tlakova, velicini parnog trošila i najviše o efikasnosti odvodnje kondenzata iz parnog prostora. Npr. za slučaj ispravne izvedbe izolacije i rukovanja, faktor $\varphi = 5\%$, dok kod zagrijavanja u plaštu sa slabom izolacijom faktor $\varphi = 30\%$. Obično se faktor φ kreće u rasponu od $0\cdots 20\%$, za normalne se uvjete uzima 10% , odnosno $(1 + \varphi) = 1,1$.

Za slučaj pothlađenog kondenzata, masa dotoka računa se prema izrazu

$$\dot{m} = (1 + \varphi) \frac{\dot{Q}_h}{r + (t_s - t_k) \cdot c_k} \text{ kg/h} \quad (24)$$

gdje su:

t_s — temperatura zasićenja, $^{\circ}\text{C}$

t_k — temperatura pothlađenog kondenzata, $^{\circ}\text{C}$

c_k — toplinski kapacitet kondenzata, kJ/kgK

Masa kondenzata za slučaj poznatog toplinskog učina

$$\dot{m} = (1 + \varphi) \frac{\dot{Q}}{r} \text{ kg/h} \quad (25)$$

gdje su:

\dot{Q} – toplinski tok, KJ/h

r – toplina isparivanja, kJ/kg

Masa kondenzata za slučaj kada se za grijanje koristi pregrijana para

$$\dot{m} = (1 + \varphi) \frac{\dot{Q}}{r + (h - h'')} = (1 + \varphi) \frac{\dot{Q}}{h - h'} \text{ kg/h} \quad (26)$$

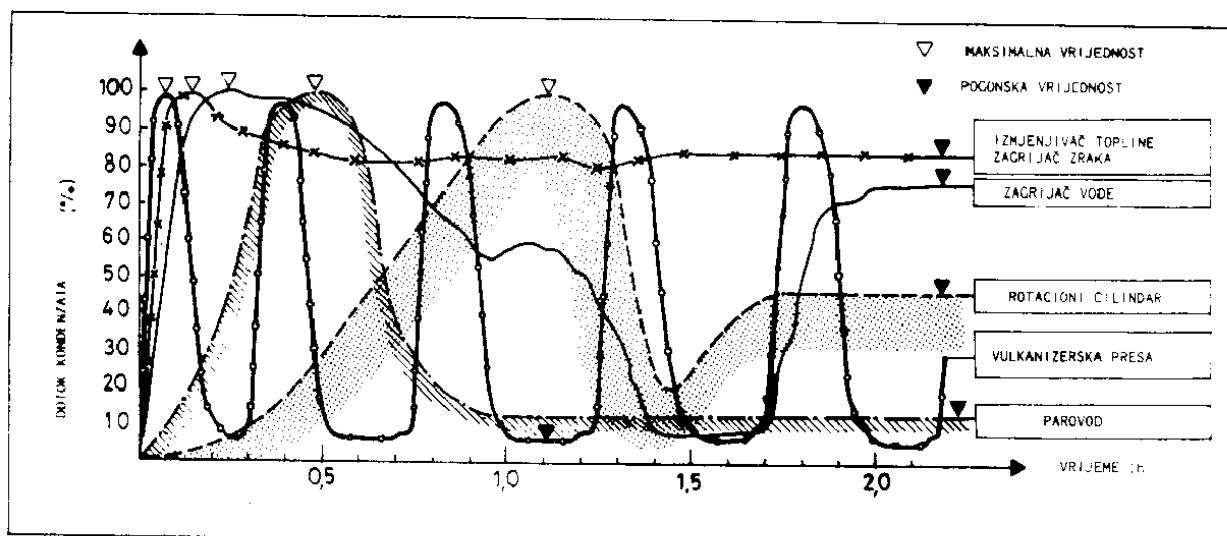
gdje su:

h – entalpija pregrijane pare, kJ/kg

h'' – entalpija suhozasićene pare, kJ/kg

h' – entalpija kondenzata pri tlaku zasićenja, kJ/kg

Od trenutka puštanja u pogon do uspostavljanja normalnih parametara trajnog pogona, dotok se kondenzata mijenja kako je prikazano na sl. 9. Posebno treba voditi računa da se dotok kondenzata povećava u momentu puštanja uređaja (instalacije) u pogon. To treba naročito uzeti u obzir pri dimenzioniranju odvodnika kondenzata.



SLIKA 9

Promjena dotoka kondenzata za vrijeme puštanja uređaja u pogon

U tablici 3 dane su orientacione vrijednosti dotoka kondenzata za pojedina trošila.

Tablica 3

Trošilo	Dotok kondenzata
Tava za pivarski slad	150 kg/h m ² (s obzirom na ogrjevnu plohu)
Glačalo	2 kg/h
Preša za glaćanje	30 . . . 80 kg/h
Parovod:	
– stavljanje u pogon	10 100 kg/h za 25 . . . 50 m izolirane cijevi DN 25 . . . 50
– normalan pogon	do 50 kg/h za 25 . . . 50 m izolirane cijevi DN 25 . . . 50
Stol za detaširanje	
čišćenje mrlja iz tkanine	5 kg/h
Lutka grijana parom	30 kg/h
Zagrijavanje:	
– voda i vodene tekućine	2 kg/h (s obzirom na povišenu temperaturu i količinu)
– ulja	1 kg/h (s obzirom na povišenu temperaturu i količinu)
– željezo, čelik, obojeni metali	0,2 kg/t K (s obzirom na povišenu temperaturu i količinu)
– aluminij	0,4 kg/t K (s obzirom na povišenu temperaturu i količinu)
– zrak (za 1000 m ³)	0,5 kg/K (za 1000 m ³ i povišene temperature)
Etažna preša	10 . . . 30 kg/h m ² (s obzirom na ogrjevnu površinu)
Ogrjevne cijevi u vodi	2 kg/h m ² K (s obzirom na površinu i povišenu temperaturu)
Ogrjevne cijevi u ulju	0,1 . . . 0,6 kg/h m ² K (s obzirom na površinu temperaturu)
Kotao za kuhanje	
– 100 . . . 500 L	– 100 . . . 500 L
– 500 . . . 1000 L	– 500 . . . 1000 L

Trošilo	Dotok kondenzata
Glačanje rublja valjanjem	1 kg/kg (s obzirom na masu sušenog rublja)
Radijatori	2 kg/h m ² (s obzirom na ogrjevnu površinu)
Sušare:	
— s početnom vlagom 100%	1 kg/kg (s obzirom na sušenu tvar)
— s početnom vlagom 50%	0,5 kg/kg (s obzirom na sušenu tvar)
Isparivači:	
— voda	1 kg/kg (s obzirom na isparenu vodu)
— alkohol	0,4 kg/kg (s obzirom na ispareni alkohol)
— otapalo	0,1 . . . 0,2 kg/kg (s obzirom na ispareno sredstvo otapanja)
Preše za vulkaniziranje	
— gume za osobne automobile	125 kg/h
— gume za teretnjake	275 kg/h
Otvoreni rezervoari za vodu	
60 . . . 100 °C	20 kg/h m ² (s obzirom na površinu vode)

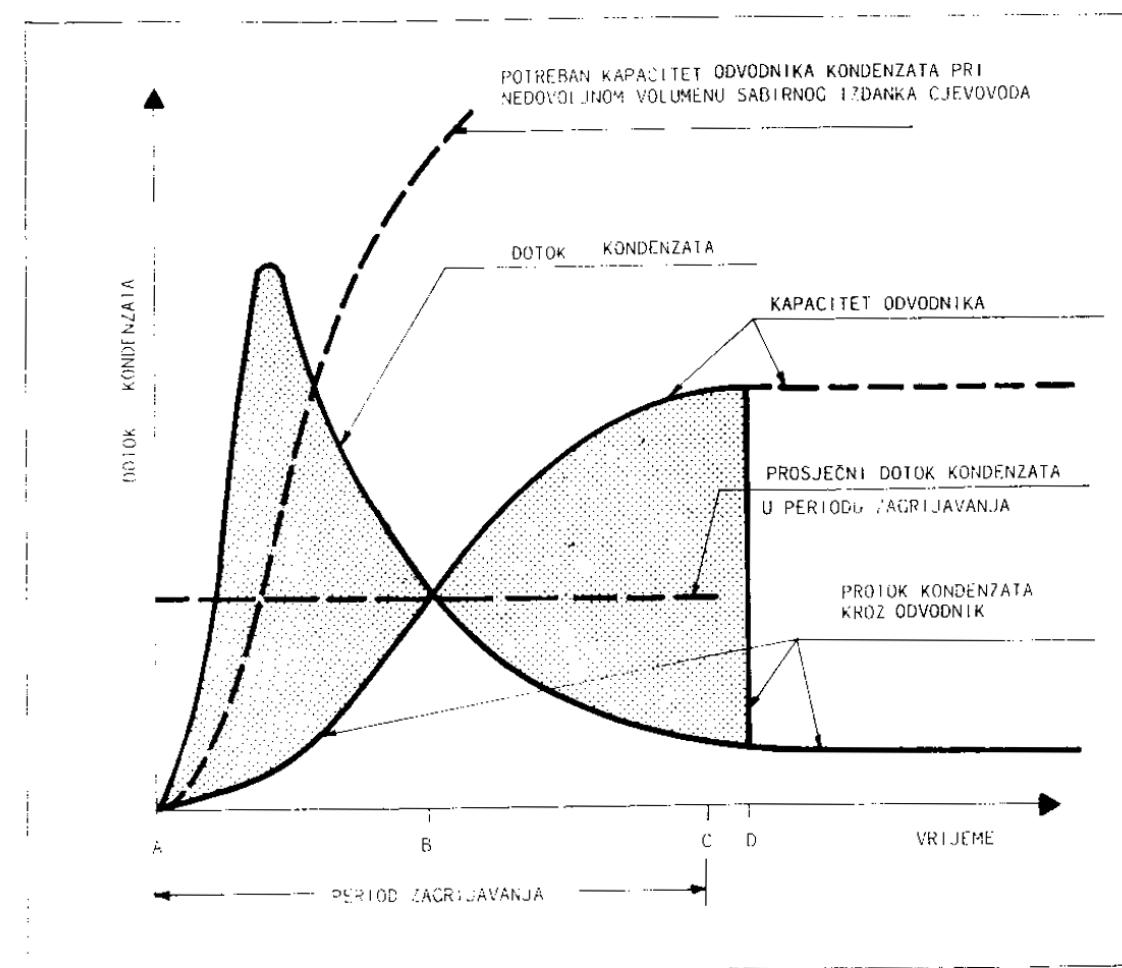
Podaci prema: Werksunterlagen 1971 der Sarco GmbH Regel-Apparatebau,
Konstanz

2.2 Tipični slučajevi odvođenja kondenzata iz instalacija i uređaja u industriji

2.2.1 Parovod

Na sl. 10 prikazan je karakterističan dijagram dotoka kondenzata pri puštanju hladnog cjevovoda u pogon. Ako se izdvoji krivulja dotoka kondenzata za parovod, te se detaljnije analizira period puštanja u pogon (zagrijavanje), definirat će se potreban kapacitet odvodnika kondenzata za dani parovod (sl. 10).

U početku rada cjevovod je hladan te dolazi do brzog i znatnog oslobođanja kondenzata. U tom periodu (između A i B) odvodnik može odvesti tek malu količinu kondenzata uslijed još niskog tlaka u cijevi. Dio kondenzata ostaje u ci-



SLIKA 10.

Dijagram dotoka kondenzata pri puštanju parovoda u pogon iz hladnog stanja

jevi, a dio odlazi kroz odvodnik i to sve dok kapacitet odvodnika ne postane veći od trenutne kondenzacije pare u cjevovodu.

Od trenutka B, odvodnik eliminira zalihu kondenzata u cjevovodu, tako da iz točke D izdvaja samo količinu kondenzata koja nastaje u trajnom pogonu. U tom je slučaju kapacitet odvodnika, u trajnom pogonu, približno 2 puta veći od prosječne mase kondenzata nastalog u periodu zagrijavanja.

Odvodnik kondenzata mora zadovoljiti slijedeće zahtjeve:

- za vrijeme puštanja u pogon odvodnik treba odzračiti instalaciju i istovremeno odvodniti relativno veliku količinu kondenzata,
- za vrijeme normalnog rada odvodnik treba kontinuirano odvodnjavati relativno manju količinu kondenzata,
- za vrijeme obustave pogona, odvodnik treba isprazniti zaostali kondenzat u instalaciji, radi sprečavanja oštećenja od smrzavanja i ozračiti cjevovod.

Preporuca se ugradnja slijedecih tipova odvodnika kondenzata:

- odvodnik s plovkom (tamo gdje ne postoji opasnost od smrzavanja),
- termostatski bimetalni,
- termostatski s membranom.

Napomena: Ako odvodnik nije ugrađen blizu drenažnog priključka, može se ugraditi termostatski odvodnik s pothlađenjem, $\Delta t \approx 30$ K.

Odvodnik se izabere za dotok kondenzata koji nastaje uslijed toplinskih gubica (zračenje) pri trajnom pogonu, uvećan za faktor sigurnosti. Dotok kondenzata za vrijeme zagrijavanja cjevovoda može se izračunati prema:

$$\dot{m} = \frac{m_c L c (t_2 - t_1) (1 - \eta_{iz})}{r \tau} z \quad \text{kg/h} \quad (27)$$

gdje su:

m_c – masa cjevovoda, kg/m

L – dužina cjevovoda, m

c – toplinski kapacitet metala cjevovoda (čelik, $c = 0,52$ kJ/kgK)

t_1 – temperatura hladnog cjevovoda, °C

t_2 – temperatura zagrijanog cjevovoda, °C

η_{iz} – korisnost izolacije

r – toplina isparivanja, kJ/kg

τ – vrijeme zagrijavanja

z – faktor sigurnosti (prema podacima proizvođača)

Faktor sigurnosti za zvonaste odvodnike kondenzata:

$z = 2$, za odvodnike kondenzata instalirane između generatora pare i krajeva trošila

$z = 3$, za odvodnike kondenzata instalirane na kraju parovoda, ispred redukcionog ventila i ispred zaparnog ventila, ako je taj dijelom vremena zatvoren.

Za brzo određivanje dotoka kondenzata može se koristiti dijagram na sl. 11. Vrijednost iz dijagrama treba pomnožiti faktorom sigurnosti z .

Odvodnjavanje (drenaža) parovoda osnovni je zahtjev pri transportu pare, što je naročito uvjetovano pri zasićenoj pari. Svaki parovod gubi dio topline uslijed razlike temperature, a to je kod zasićene pare praćeno s kondenzacijom pare.