



MILE MARKOSKI

RASHLADNI UREĐAJI

DRUGI DEO

**Masinski fakultet
Beograd 2013.**

U N I V E R Z I T E T U B E O G R A D U

MILE MARKOSKI

RASHLADNI UREĐAJI

DRUGI DEO

MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 2013.

Dr Mile Markoski, redovni profesor

RASHLADNI UREĐAJI

DRUGI DEO

II izdanje

Recenzenti:

Prof. Dr Franc Kosi

Prof. Dr Branislav Jaćimović

Izdavač:

MAŠINSKI FAKULTET

Univerziteta u Beogradu

Ul. Kraljice Marije 16, Beograd

tel: (011) 3370 760

fax: (011) 3370 364

Za izdavača:

Prof. Dr Milorad Milovančević, dekan

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. Dr Aleksandar Obradović

Odobreno za štampu odlukom Dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu br. 231/13 od 21.03.2013. godine

Tiraž: 500 primeraka

Štampa:

PLANETA – print

Ruzveltova 10, Beograd

tel/fax: (011) 3088 129

Zabranjeno štampanje i fotokopiranje.

SADRŽAJ

II DEO

7 RASHLADNI KOMPRESORI.....	7.1
7.1 SISTEMATIZACIJA KOMPRESORA.....	7.1
7.1.1 Osnovna sistematizacija prema principu rada	7.1
7.1.2 Druge važnije podele.....	7.2
7.1.3 Područja primene pojedinih vrsta kompresora	7.4
7.2 KLIPNI RASHLADNI KOMPRESORI.....	7.4
7.2.1 Osnovni elementi i konstruktivna rešenja klipnih rashladnih kompresora.....	7.4
<i>Osnovni elementi klipnih rashladnih kompresora</i>	<i>7.4</i>
<i>Odlike kompresora sa istosmernim i povratnim strujanjem</i>	<i>7.5</i>
<i>Broj i raspored cilindara</i>	<i>7.7</i>
<i>Osnovni parametri i brzohodost</i>	<i>7.10</i>
<i>Zaštita od tečnog udara</i>	<i>7.10</i>
<i>Sistemi podmazivanja klipnih rashladnih kompresora</i>	<i>7.11</i>
<i>Sadržaj rashladnog fluida u ulju</i>	<i>7.14</i>
<i>Samodejstvujući ventili kompresora</i>	<i>7.16</i>
<i>Zaptivača vratila kompresora</i>	<i>7.19</i>
<i>Otvoreni, poluhermetički i hermetički kompresori</i>	<i>7.23</i>
7.2.2 Pogonske karakteristike (performanse) klipnih rashladnih kompresora	7.28
<i>Procesi u teorijskom kompresoru</i>	<i>7.30</i>
<i>Performanse teorijskog uporednog kompresora</i>	<i>7.30</i>
<i>Procesi u stvarnom kompresoru</i>	<i>7.33</i>
<i>Performanse stvarnog kompresora</i>	<i>7.36</i>
<i>Koeficijent (stepen) isporuke</i>	<i>7.38</i>
<i>Proračun koeficijenta isporuke</i>	<i>7.39</i>
<i>Proračun zapreminskog koeficijenta usisavanja</i>	<i>7.39</i>
<i>Koeficijent prigušivanja</i>	<i>7.40</i>
<i>Indikatorski koeficijent usisavanja</i>	<i>7.40</i>
<i>Koeficijent zagrevanja</i>	<i>7.40</i>
<i>Koeficijent zaptivenosti</i>	<i>7.41</i>
<i>Približno određivanje stepena isporuke</i>	<i>7.41</i>

	<i>Promena stepena isporuke sa promenom broja obrtaja kompresora</i>	7.43
	<i>Napomene o proračunu stepena isporuke</i>	7.44
	<i>Uticaj štetnog prostora na maksimalni stepen sabijanja i utrošeni rad</i>	7.45
	<i>Energetski koeficijenti klipnih kompresora</i>	7.46
	<i>Indikatorska snaga kompresora</i>	7.48
	<i>Indikatorski stepen korisnosti</i>	7.50
	<i>Mehanički stepen korisnosti kompresora</i>	7.52
	<i>Karakteristike jednostepenih kompresora</i>	7.53
7.2.3	<i>Regulisanje učinka klipnih rashladnih kompresora</i>	7.55
	<i>Periodičko isključivanje kompresora</i>	7.56
	<i>Prigušivanje na usisu kompresora</i>	7.57
	<i>Podešavanje veličine dodatnog mrtvog prostora</i>	7.58
	<i>Regulisanje kontrolom pritiska u dodatnom mrtvom prostoru</i>	7.58
	<i>Prinudno otvaranje usisnog ventila</i>	7.60
	<i>By-pass na delu hoda klipa</i>	7.61
	<i>Isključivanje pojedinih cilindara ili blokova cilindara iz rada</i>	7.61
	<i>Recirkulacija sabijene pare iz potisa u usis kompresora</i>	7.62
	<i>Promena broja obrtaja kompresora</i>	7.62
7.3	ROTACIONI RASHLADNI KOMPRESORI	7.63
7.3.1	Jednorotorni kompresori	7.63
	<i>Višelopatični rotacioni kompresori (Rotacioni kompresori sa krilcima)</i> 7.63	
	<i>Specifičnosti procesa sabijanja u rotacionim kompresorima bez samodejstvujućeg potisnog ventila</i>	7.66
	<i>Određivanje teorijske sekundne zapremine kompresora sa krilcima</i>	7.69
	<i>Rotacioni kompresori sa kotrljajućim klipom</i>	7.72
	<i>Proračun sekundne zapremine kompresora sa kotrljajućim klipom</i>	7.74
	<i>Rotacioni kompresori sa kotrljajućim klipom i kulisnom lopaticom</i>	7.76
	<i>Rotacioni kompresori sa kulisnim klipom</i>	7.76
	<i>Prednosti i nedostaci jednorotornih rotacionih kompresora</i>	7.77
7.3.2	Dvorotorni vijčani kompresori	7.77
	<i>Geometrija rotora</i>	7.79
	<i>Procesi u vijčanom kompresoru i njegove performanse</i>	7.80
	<i>Optimalne obimne brzine</i>	7.80
	<i>Intenzivno ubrizgavanje ulja</i>	7.82
	<i>Određivanje teorijske sekundne zapremine vijčanog kompresora</i>	7.86
	<i>Regulacija sekundne zapremine</i>	7.86
	<i>Zapreminski i energetski koeficijenti vijčanih kompresora</i>	7.86
	<i>Agregatiranje rashladnih vijčanih kompresora sa ubrizgavanjem ulja</i> ..	7.88
7.3.3	Trorotorni kompresori	7.89
	<i>Kompresori sa jednim vijčanim rotorom</i>	7.89
7.4	SPIRALNI (SCROLL) KOMPRESORI	7.90
7.4.1	Princip rada spiralnih kompresora	7.90
7.4.2	Konstruktivna izvođenja i karakteristike spiralnih kompresora	7.94
7.5	KARAKTERISTIKE RASHLADNIH KOMPRESORA ZAPREMINSKOG DEJSTVA	7.97
7.5.1	Karakteristike jednostepenih klipnih kompresora	7.97
7.5.2	Karakteristike dvostepenih klipnih kompresora	7.98

7.6	CENTRIFUGALNI RASHLADNI TURBOKOMPRESORI	7.101
7.6.1	Kinematika gasne struje i teorijski napor radnog kola centrifugalnog kompresora sa beskonačnim brojem lopatica.....	7.101
7.6.2	Radno kolo sa konačnim brojem lopatica.....	7.106
7.6.3	Strujni gubici i karakteristika protok - napor	7.110
	<i>Gubici usled trenja</i>	<i>7.110</i>
	<i>Udarni gubici</i>	<i>7.110</i>
	<i>Karakteristike protok - napor</i>	<i>7.111</i>
7.6.4	Regulisanje učinka, agregiranje i primena.....	7.113
	<i>Regulisanje učinka centrifugalnog kompresora</i>	<i>7.113</i>
	<i>Prednosti i nedostaci centrifugalnih kompresora</i>	<i>7.113</i>
	<i>Agregiranje centrifugalnih kompresora</i>	<i>7.114</i>
8	KONDEZATORI	8.1
8.1	SISTEMATIZACIJA KONDEZATORA.....	8.1
8.2	TOPLOTNO OPTEREĆENJE KONDEZATORA	8.3
8.3	POVRŠINSKA KONDEZACIJA PARE.....	8.5
	8.3.1 Filmska kondenzacija čiste pare	8.6
	8.3.2 Uticaj nekondenzibilnih gasova	8.11
8.4	RAZMENA TOPLOTE IZMEĐU POVRŠINE KONDEZACIJE I FLUIDA KOJI HLADI KONDEZATOR	8.13
	8.4.1 Protočno hlađenje kondenzatora	8.13
	8.4.2 Proces vetrenja vode u vazduh	8.14
8.5	KONSTRUKCIJE KONDEZATORA.....	8.19
	8.5.1 Horizontalni dobošasti kondenzatori.....	8.19
	8.5.2 Elementni višecevni kondenzatori.....	8.21
	8.5.3 Elementni dvocevni kondenzatori	8.23
	8.5.4 Koaksijalni spiralni kondenzatori.....	8.23
	8.5.5 Pločasti kondenzatori	8.24
	8.5.6 Vertikalni dobošasti kondenzatori.....	8.25
	8.5.7 Kišni (atmosferski) kondenzatori	8.27
	8.5.8 Evaporativni kondenzatori	8.28
	8.5.9 Zatvoreni vazdušni kondenzatori	8.31
	8.5.10 Vazdušni otvoreni (bezoplatni) kondenzatori	8.34
8.6	OSNOVI PRORAČUNA KONDEZATORA.....	8.35
	8.6.1 Temperaturske razlike	8.36
	8.6.2 Dimenzionisanje horizontalnih dobošastih kondenzatora	8.37
	8.6.3 Dimenzionisanje kišnih i evaporativnih kondenzatora.....	8.40
	8.6.4 Dimenzionisanje vazduhom hlađenih kondenzatora	8.46
	8.6.5 Određivanje karakteristike protočnih kondenzatora.....	8.48
	8.6.6 Regulisanje učinka kondenzatora	8.49
	8.6.7 Održavanje kondenzatora	8.52
	8.6.8 Orijentacione vrednosti koeficijenata prolaza toplote kondenzatora.....	8.52
9	ISPARIVAČI	9.1
9.1	KLASIFIKACIJA I OPIS KONSTRUKCIJA ISPARIVAČA.....	9.1

9.1.1	Isparivači za hlađenje tečnosti.....	9.1
	<i>Dobošasti isparivači</i>	9.1
	<i>Pločasti isparivači</i>	9.3
	<i>Bazenski isparivači</i>	9.4
9.1.2	Isparivači za hlađenje gasova.....	9.5
9.1.3	Specijalni isparivači.....	9.7
	<i>Isparivači uređaja za proizvodnju ljespičastog leda</i>	9.7
	<i>Isparivači "Rapid-ice"</i>	9.7
	<i>Isparivački snopovi koaksijalnih cevi</i>	9.8
	<i>Vertikalni dobošasti isparivači</i>	9.9
	<i>Šuplje isparivačke ploče</i>	9.9
	<i>Pločasto-cevni i pločasto-kanalski isparivači</i>	9.9
	<i>Isparivači-kondenzatori kaskadnih mašina</i>	9.11
	<i>Druge vrste specijalnih isparivača</i>	9.11
9.1.4	Suvi i preplavljeni isparivači.....	9.11
9.2	PROCES KLJUČANJA RASHLADNOG FLUIDA.....	9.12
9.2.1	Ključanje u velikoj zapremini.....	9.14
9.2.2	Ključanje u cevima.....	9.17
9.3	PROCESI NA STRANI HLAĐENOG FLUIDA.....	9.20
9.3.1	Rošenje i izdvajanje inja na površini isparivača za hlađenje vazduha ...	9.20
9.3.2	Naleđivanje vode na spoljašnjoj površini uronjenih isparivača.....	9.22
9.4	PRORAČUN ISPARIVAČA.....	9.23
9.4.1	Vrste proračuna isparivača za hlađenje vazduha.....	9.23
	<i>I Dimenzionisanje isparivača i određivanje</i>	
	<i>potrebne temperature isparavanja</i>	9.23
	<i>II Dimenzinisanje isparivača i određivanje izdvajanja vlage</i>	9.24
	<i>III Određivanje karakteristike isparivača</i>	9.24
9.4.2	Dimenzionisanje isparivača i određivanje temperature isparavanja.....	9.24
9.4.3	Dimenzionisanje isparivača i određivanje izdvajanja vlage.....	9.25
9.4.4	Određivanje karakteristika isparivača.....	9.31
	<i>O eksperimentalnom određivanju karakteristika isparivača</i>	
	<i>za hlađenje vazduha</i>	9.33
9.4.5	Proračun isparivača za hlađenje tečnosti.....	9.34
9.5	OTAPANJE ISPARIVAČA ZA HLAĐENJE VAZDUHA.....	9.36
9.5.1	Načini otapanja isparivača.....	9.36
	<i>Prirodno otapanje vazduhom iz komore</i>	9.36
	<i>Otapanje vodom iz vodovoda</i>	9.37
	<i>Električno otapanje</i>	9.37
	<i>Otapanje toplom parom sa potisa kompresora</i>	9.39
	<i>Otapanje sa spoljnim pomoćnim isparivačem</i>	9.40
	<i>Otapanje sa pomoćnim isparivačem u akumulatoru toplote</i>	9.41
	<i>Inverzija tokova pri otapanju</i>	9.41
	<i>Kombinovano otapanje</i>	9.42
9.5.2	Defrostacione karakteristike isparivača.....	9.42
9.6	UTICAJ TEMPERATURE ISPARAVANJA NA KALIRANJE	
	I RAVNOTEŽNU VLAŽNOST VAZDUHA U HLAĐENOM PROSTORU....	9.45
9.6.1	Određivanje ravnotežne temperature proizvoda.....	9.45

9.6.2	Promena stanja vazduha na isparivaču	9.49
9.6.3	Odavanje vlage sa površine proizvoda	9.50
9.6.4	Ravnotežna vlažnost vazduha u hlađenoj komori	9.51
	<i>Kaliranje proizvoda</i>	<i>9.54</i>

10 SPREZANJE KARAKTERISTIKA

KOMPONENATA RASHLADNE MAŠINE

<i>O sprezanju karakteristika elemenata toplotne pumpe</i>	<i>10.5</i>
--	-------------

11 POMOĆNI APARATI.....

11.1 KLASIFIKACIJA I OPIS KONSTRUKCIJA ISPARIVAČA

11.1.1	Taloženje kapljica u vertikalnim separatorima.....	11.3
11.1.2	Taloženje kapljica u horizontalnim separatorima	11.6
11.1.3	Inercijalno izdvajanje kapljica.....	11.8
11.1.4	Spajanje kapljica.....	11.8
11.1.5	Odvajачи ulja.....	11.9
11.1.6	Određivanje sadržaja tečnosti u cevovodima i aparatima.....	11.11

11.2 RAZMENJIVAČI TOPLOTE

11.2.1	Spoljašnji prehladivači kondenzata	11.13
11.2.2	Unutrašnji prehladivači kondenzata	11.13
11.2.3	Spoljašnji međuhladnjaci.....	11.14
11.2.4	Destilatori ulja	11.14

11.3 SEPARATORI I SKUPLJAČI TEČNOSTI

11.3.1	Prigušni separatori	11.17
11.3.2	Kombinacija unutrašnjeg međuhladnjaka i prigušnog separatora	11.17
11.3.3	Skupljači tečnosti - Resiveri	11.18
11.3.4	Usisni akumulatori.....	11.20

11.4 ODVAJAČI NEKONDENZIBILNIH GASOVA

11.5 SUŠAČI I FILTRI

<i>Filtri (hvatači nečistoća)</i>	<i>11.28</i>
---	--------------

12 CEVOVODI I ARMATURA

12.1 CEVOVODI

12.1.1	Analiza režima rada	12.2
12.1.2	Projektni režim rada	12.2
12.1.3	Ekstremni režimi rada.....	12.5
12.1.4	Prelazni i havarijski režimi rada	12.6
12.1.5	Dimenzionisanje protočnih preseka cevovoda	12.7
12.1.6	Dvofazni tok	12.9
12.1.7	Vertikalni usponski freonski parni vodovi	12.12
12.1.8	Tečni vodovi od resivera do prigušnih ventila	12.14
12.1.9	Nizvodno nagnut tečni vod.....	12.14
12.1.10	Rešenje dispozicije i izbor padova cevovoda	12.16
12.1.11	Izbor materijala i debljine zidova cevi	12.17
12.1.12	Izbor i proračun izolacije cevovoda	12.17
12.1.13	Oslonci cevovoda	12.18
12.1.14	Izrada projektne grafičke dokumentacije	12.18

12.2	ARMATURA CEVOVODA	12.19
12.2.1	Opšti zahtevi pred zapornom armaturom	12.20
12.2.2	Zaporni ventili	12.20
12.2.3	Propusna moć zapornog organa	12.23
12.2.4	Slavine	12.23
12.2.5	Solenoidni ventili direktnog dejstva	12.24
12.2.6	Solenoidni ventili sa servo-klipom	12.25
	<i>Servo-ventil sa solenoidnim pilotom</i>	<i>12.25</i>
12.2.7	Preusmeravajući (reverzirajući) organi	12.26
12.2.8	Jednosmerni organi neposrednog dejstva	12.28
12.2.9	Ručni prigušni ventili	12.28
12.2.10	Sigurnosni ventili	12.29
12.2.11	Propusna moć sigurnosnih ventila	12.31
12.2.12	Potrebna propusna moć	12.32
13	AUTOMATIKA	13.1
13.1	UVOD	13.1
13.1.1	Merenje relevantnih parametara	13.2
13.1.2	Regulisani parametri i pripadajući regulatori	13.3
13.1.3	Vrste regulatora	13.5
13.2	PRESOSTATI	13.6
13.2.1	Dvopozicioni presostati	13.6
13.2.2	Presostati sa neutralnom zonom	13.8
13.2.3	Diferencijalni presostati	13.10
13.3	TERMOSTATI	13.12
13.3.1	Dvopozicioni termostati	13.12
13.3.2	Termostat sa neutralnom zonom	13.13
13.3.3	Diferencijalni termostat	13.13
13.3.4	Opšte napomene o izboru presostata i termostata	13.13
13.4	REGULATORI NAPAJANJA SUVIH ISPARIVAČA	13.14
13.4.1	Automatski prigušni ventil	13.14
13.4.2	Termostatski prigušni ventil (TPV)	13.15
	<i>Radna karakteristika termostatskog prigušnog ventila</i>	<i>13.17</i>
	<i>Kriva minimalnih stabilnih pregrijanja - MSS kriva isparivača</i>	<i>13.19</i>
	<i>Usaglašavanje radne karakteristike ventila sa MSS krivom isparivača</i>	<i>13.20</i>
	<i>TPV sa MOP karakteristikom (TPV_{MOP})</i>	<i>13.23</i>
13.4.3	Termostatski ventili za ubrizgavanje tečnosti (TVU)	13.24
13.4.4	Elektronski prigušni ventil sa termičkim pogonom (EPV _t)	13.25
13.4.5	Elektronski prigušni ventil sa pulsnom modulacijom (EPV _{pm})	13.26
	<i>Prednosti EPV_{pm} u odnosu na TPV</i>	<i>13.27</i>
13.4.6	Kapilarna cev kao prigušni organ	13.29
13.5	REGULATORI NIVOVA	13.33
13.5.1	Termostatski regulator nivoa (TRN)	13.33
13.5.2	Prigušni ventili sa plovkom	13.34
	<i>Prigušni ventil sa plovkom na strani visokog pritiska</i>	<i>13.34</i>
	<i>Prigušni ventil sa plovkom na strani niskog pritiska</i>	<i>13.37</i>
13.5.3	Dvopozicioni termostatski regulator nivoa	13.39

13.5.4	Elektronski regulator nivoa	13.40
13.6	REGULATORI PRITISKA	13.41
13.6.1	Ventili konstantnog pritiska (VKP).....	13.41
13.6.2	Termostatski regulator pritiska isparavanja (TRPI)	13.46
13.7	VODNI VENTILI ZA REGULISANJE PRITISKA KONDENZACIJE.....	13.47
13.8	PILOTNA SERVO SPREGA	13.48
13.8.1	Uobičajena šema delovanja glavnih ventila	13.49
13.8.2	Tipovi pilota po funkciji.....	13.53
13.8.3	Funkcije glavnog ventila u pilotnoj sprezi	13.56
	<i>Funkcije glavnog ventila sa jednim pilotom.....</i>	<i>13.56</i>
	<i>Šeme sprega više pilota sa glavnim ventilom</i>	<i>13.57</i>
14	SPECIFIČNOSTI TOPLOTNIH PUMPI	14.1
14.1	SISTEMATIZACIJA LEVOKRETNIH MAŠINA.....	14.1
14.2	KRITERIJUMI ZA OCENU TERMODINAMIČKOG SAVRŠENSTVA	14.5
14.2.1	Energetski pokazatelji	14.5
14.2.2	Eksergetski stepeni korisnosti	14.6
14.3	SISTEMATIZACIJA LEVOKRETNIH TOPLOTNIH MAŠINA.....	14.7
14.3.1	Podela prema vrstama pogonske eksergije, odnosno ciklusima	14.8
14.3.2	Podela prema vrstama i karakteristikama toplotnog izvora i ponora.....	14.8
14.3.3	Podela prema broju stupnjeva	14.10
14.3.4	Podela prema vrstama primenjenih kompresora.....	14.10
14.3.5	Podela prema vrsti pogonskog motora	14.10
14.3.6	Podela prema primenjenom rashladnom fluidu.....	14.11
14.3.7	Podela prema učinku	14.11
14.4	TOPLOTNI IZVORI TP, TET I TOT	14.12
14.4.1	Atmosferski vazduh kao toplotni izvor	14.12
14.4.2	Površinske vode kao toplotni izvori	14.15
14.4.3	Podzemne vode i tlo kao toplotni izvor.....	14.16
14.4.4	Geotermalne vode kao izvori toplote.....	14.19
14.4.5	Vodovodska i kanalizaciona mreža kao toplotni izvori.....	14.20
14.4.6	Toplotni akumulatori kao izvori toplote.....	14.20
14.4.7	Ravanski prijemnici sunčeve energije (PSE) kao toplotni izvor <i>Konstrukcija PSE</i>	<i>14.21</i>
	<i>Toplotno i eksergetsko iscrpljivanje PSE</i>	<i>14.23</i>
	<i>Sprega PSE sa TP, TET i TOT</i>	<i>14.25</i>

LITERATURA