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
Osnovni elementi klipnih rashladnih kompresora.....7.4
Odlike kompresora sa istosmernim i povratnim strujanjem.....7.5
Broj i raspored cilindara.....7.7
Osnovni parametri i brzohodost.....7.10
Zaštita od tečnog udara.....7.10
Sistemi podmazivanja klipnih rashladnih kompresora.....7.11
Sadržaj rashladnog fluida u ulju 7.14
Samodejstvujući ventili kompresora.....7.16
Zaptivača vratila kompresora 7.19
Otvoreni, poluhermetički i hermetički kompresori 7.23
7.2.2 Pogonske karakteristike (performanse) klipnih rashladnih kompresora .7.28
Procesi u teorijskom kompresoru.....7.30
Performanse teorijskog uporednog kompresora 7.30
Procesi u stvarnom kompresoru.....7.33
Performanse stvarnog kompresora 7.36
Koeficijent (stepen) isporuke.....7.38
Proračun koeficijenta isporuke 7.39
Proračun zapreminskog koeficijenta usisavanja.....7.39
Koeficijent prigušivanja 7.40
Indikatorski koeficijent usisavanja 7.40
Koeficijent zagrevanja.....7.40
Koeficijent zaptivenosti 7.41
Približno određivanje stepena isporuke 7.41

Promena stepena isporuke sa promenom broja obrtaja kompresora 7.43
Napomene o proračunu stepena isporuke 7.44
Uticaj štetnog prostora na maksmalni stepen sabijanja i utrošeni rad...7.45
Energetski koeficijenti klipnih kompresora 7.46
Indikatorska snaga kompresora 7.48
Indikatorski stepen korisnosti.....7.50
Mehanički stepen korisnosti kompresora 7.52
Karakteristike jednostepenih kompresora 7.53
7.2.3 Regulisanje učinka klipnih rashladnih kompresora.....7.55
Periodičko iskjučivanje kompresora 7.56
Prigušivanje na usisu kompresora 7.57
Podešavanje veličine dodatnog mrtvog prostora 7.58
Regulisanje kontrolom pritiska u dodatnom mrtvom prostoru.....7.58
Prinudno otvaranje usisnog ventila.....7.60
By-pass na delu hoda klipa 7.61
Isključivanje pojedinih cilindara ili blokova cilindara iz rada 7.61
Recirkulacija sabijene pare iz potisa u usis kompresora 7.62
Promena broja obrtaja kompresora.....7.62
7.3 ROTACIONI RASHLADNI KOMPRESORI.....7.63
7.3.1 Jednorotorni kompresori.....7.63
Višelopatični rotacioni kompresori (Rotacioni kompresori sa krilcima) 7.63
Specifičnosti procesa sabijanja u rotacionim kompresorima bez samodejstvujućeg potisnog ventila.....7.66
Određivanje teorijske sekundne zapremine kompresora sa krilcima.....7.69
Rotacioni kompresori sa kotrljajućim klipom 7.72
Proračun sekundne zapremine kompresora sa kotrljajućim klipom 7.74
Rotacioni kompresori sa kotrljajućim klipom i kulisnom lopaticom.....7.76
Rotacioni kompresori sa kulisnim klipom 7.76
Prednosti i nedostaci jednorotornih rotacionih kompresora 7.77
7.3.2 Dvorotorni vijčani kompresori 7.77
Geometrija rotora.....7.79
Procesi u vijčanom kompresoru i njegove performanse 7.80
Optimalne obimne brzine 7.80
Intenzivno ubrizgavanje ulja 7.82
Određivanje teorijske sekundne zapremine vijčanog kompresora 7.86
Regulacija sekundne zapremine 7.86
Zapreminski i energetski koeficijenti vijčanih kompresora 7.86
Agregatiranje rashladnih vijčanih kompresora sa ubrizgavanjem ulja..7.88
7.3.3 Trorotorni kompresori 7.89
Kompresori sa jednim vijčanim rotorom.....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
Gubici usled trenja 7.110
Udarni gubici 7.110
Karakteristike protok - napor.....7.111
7.6.4 Regulisanje učinka, agregatiranje i primena.....7.113
Regulisanje učinka centrifugalnog kompresora 7.113
Prednosti i nedostaci centrifugalnih kompresora 7.113
Agregatiranje centrifugalnih kompresora 7.114

8 KONDENZATORI 8.1
8.1 SISTEMATIZACIJA KONDENZATORA.....8.1
8.2 TOPLOTNO OPTEREĆENJE KONDENZATORA 8.3
8.3 POVRŠINSKA KONDENZACIJA 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 KONDENZACIJE I FLUIDA KOJI HLADI KONDENZATOR 8.13
8.4.1 Protočno hlađenje kondenzatora 8.13
8.4.2 Proces vetrenja vode u vazduh 8.14
8.5 KONSTRUKCIJE KONDENZATORA.....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 KONDENZATORA.....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
Dobošasti isparivači 9.1
Pločasti isparivači 9.3
Bazenski isparivači 9.4
9.1.2 Isparivači za hlađenje gasova 9.5
9.1.3 Specijalni isparivači 9.7
Isparivači uređaja za proizvodnju ljuspičastog leda 9.7
Isparivači "Rapid-ice" 9.7
Isparivački snopovi koaksijalnih cevi 9.8
Vertikalni dobošasti isparivači 9.9
Šuplje isparivačke ploče 9.9
Pločasto-cevni i pločasto-kanalski isparivači 9.9
Isparivači-kondenzatori kaskadnih mašina 9.11
Druge vrste specijalnih isparivača 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 Dimenzionisanje isparivača i određivanje potrebne temperature isparavanja 9.23
II Dimenzinisanje isparivača i određivanje izdvajanja vlage 9.24
III Određivanje karakteristike isparivača 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
O eksperimentalnom određivanju karakteristika isparivača za hlađenje vazduha 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
Prirodno otapanje vazduhom iz komore 9.36
Otapanje vodom iz vodovoda 9.37
Električno otapanje 9.37
Otapanje toplom parom sa potisa kompresora 9.39
Otapanje sa spoljnim pomoćnim isparivačem 9.40
Otapanje sa pomoćnim isparivačem u akumulatoru toplote 9.41
Inverzija tokova pri otapanju 9.41
Kombinovano otapanje 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
Kaliranje proizvoda 9.54

10 SPREZANJE KARAKTERISTIKA KOMPONENATA RASHLADNE MAŠINE 10.1
O sprezanju karakteristika elemenata toplotne pumpe 10.5

11 POMOĆNI APARATI....11.1
11.1 KLASIFIKACIJA I OPIS KONSTRUKCIJA ISPARIVAČA....11.2
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 Odvajači ulja....11.9
11.1.6 Određivanje sadržaja tečnosti u cevovodima i aparatima....11.11
11.2 RAZMENJIVAČI TOPLOTE 11.13
11.2.1 Spoljašnji prehlađivači kondenzata 11.13
11.2.2 Unutrašnji prehlađivači kondenzata 11.13
11.2.3 Spoljašnji međuhladnjaci....11.14
11.2.4 Destilatori ulja 11.14
11.3 SEPARATORI I SKUPLJAČI TEČNOSTI 11.17
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 11.22
11.5 SUŠAČI I FILTRI 11.25
Filtri (hvatači nečistoća) 11.28

12 CEVOVODI I ARMATURA 12.1
12.1 CEVOVODI 12.1
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
Servo-ventil sa solenoidnim pilotom 12.25
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
Radna karakteristika termostatskog prigušnog ventila 13.17
Kriva minimalnih stabilnih pregrejanja - MSS kriva isparivača 13.19
Usaglašavanje radne karateristike ventila sa MSS krivom isparivača .13.20
TPV sa MOP karakteristikom (TPV_{MOP}) 13.23
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
Prednosti EPV_{pm} u odnosu na TPV 13.27
13.4.6 Kapilarna cev kao prigušni organ 13.29
13.5 REGULATORI NIVOA 13.33
13.5.1 Termostatski regulator nivoa (TRN) 13.33
13.5.2 Prigušni ventili sa plovkom 13.34
Prigušni ventil sa plovkom na strani visokog pritiska 13.34
Prigušni ventil sa plovkom na strani niskog pritiska 13.37
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
Funkcije glavnog ventila sa jednim pilotom 13.56
Šeme sprega više pilota sa glavnim ventilom 13.57

14 SPECIFIČNOSTI TOPLOTNIH PUMPI 14.1
14.1 SISTEMATIZACIJA LEVOKRETNIH MAŠINA 14.1
14.2 KRITERUJUMI 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 tolote 14.20
14.4.7 Ravanski prijemnici sunčeve energije (PSE) kao toplotni izvor *Konstrukcija PSE* 14.21
Toplotno i eksergetsko iscrpljivanje PSE 14.23
Sprega PSE sa TP, TET i TOT 14.25

LITERATURA