

Inhaltsverzeichnis

Vorwort XI

1	Aufgabenstellung „Auslegung und Konstruktion eines Rohrbündel-Wärmeübertragers (RWÜ)“	1
1.1	Allgemeine Voraussetzungen für die Auslegung eines RWÜ	1
1.2	Hinweise zur Aufgabenstellung	1
1.3	Aufgabenstellung mit Detailangaben:	2
1.4	Hinweise zur Lösungsmethodik	4
2	Wärmetechnische Auslegung des RWÜ	7
2.1	Allgemeines	7
2.2	Verwendete Formelzeichen und Kenngrößen	11
2.3	Ausgangsdiskussion	14
2.3.1	Gegebene Größen	15
2.3.2	Stoffwerte aus der erweiterten Aufgabenstellung	17
2.4	Überschlägige Berechnung der erforderlichen Wärmeübertragungsfläche	17
2.4.1	Ermittlung des abzuleitenden Wärmestromes $\dot{Q}$	17
2.4.2	Berechnung der erforderlichen Kühlwassermenge $\dot{m}_2$	18
2.4.3	Wahl des Wärmedurchgangskoeffizienten k	19
2.4.4	Ermittlung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz $\Delta\delta_m$	20
2.4.5	Berechnung der erforderlichen Wärmeübertragungsfläche A_{erf}	24
2.4.6	Begründung der Medienführung	24
2.4.7	Aussagen zur Verschmutzung von Wärmeübertragungsflächen	25
2.5	Grundlagen für die konstruktive Ausführung	29
2.5.1	Anordnung und Abmessung der Innenrohre	30
2.5.2	Anzahl der Rohre und Länge des Rohrbündels	34
2.6	Nachweise für den Rohrraum und den Mantelraum	38
2.6.1	Wärmeübertragung im Rohrraum	39
2.6.1.1	Ermittlung der Reynoldszahl Re	40
2.6.1.2	Ermittlung der Nusselt-Zahl Nu_i	40
2.6.1.3	Ermittlung der Wärmeübergangszahl α_i	43

2.6.2	Wärmeübertragung im Mantelraum ohne Einbauten	43
2.6.3	Wärmeübertragung im Mantelraum mit Einbauten	45
2.6.3.1	Auswahl der Einbauelemente	45
2.6.3.2	Notwendige Ergebniskorrekturen	47
2.6.3.3	Auslegung der Umlenksegmente	49
2.6.3.4	Ermittlung der Reynoldszahl Re_a	52
2.6.3.5	Ermittlung der Nusselt-Zahl Nu_a	54
2.6.3.6	Ermittlung der Wärmeübergangszahl α_a im Außenraum	62
2.6.3.7	Ermittlung der Wärmedurchgangszahl k	63
2.7	Nachweis der Wandtemperatur	65
2.8	Korrektur der Wärmeübertragungsfläche	67
2.9	Kompensatorkriterium	69
2.9.1	Festlegungen in WN 75-0094 Höchst AG [37]	70
2.9.1.1	Kaltes Medium um die Rohre	70
2.9.1.2	Warmes Medium um die Rohre	71
2.9.2	Vorgehensweise in der Fachliteratur	72
2.9.3	Berechnung nach AD 2000-Merkblatt S 3/7 [45]	75
2.10	Zusammenfassung der wärmetechnischen Auslegung	78
3	Druckverlustberechnung im Mantel- und im Rohrraum des RWÜ	83
3.1	Druckverlust im Rohrraum Δp_{RR}	84
3.1.1	Druckverlust beim Einströmen in die Eintrittskammer Δp_E	85
3.1.2	Druckverlust beim Einströmen in die Rohre Δp_{ER}	88
3.1.3	Druckverlust beim Durchströmen der Rohre Δp_R	90
3.1.4	Druckverlust beim Ausströmen aus den Rohren Δp_{AR}	93
3.1.5	Druckverlust infolge Umlenkung in den Kammern Δp_U	94
3.1.6	Druckverlust beim Ausströmen aus der Austrittskammer Δp_A	94
3.1.7	Gesamtdruckverlust im Rohrraum Δp_{RR}	95
3.2	Druckverlust im Mantelraum des RWÜ mit Einbauten	97
3.2.1	Druckverlust in den Mantelstützen Δp_S	104
3.2.2	Druckverlust in einer Endzone Δp_{QE}	105
3.2.3	Druckverlust in der Querströmungszone Δp_Q	112
3.2.4	Druckverlust in einer Fensterzone Δp_F	117
3.2.5	Gesamtdruckverlust im Mantelraum	120
3.3	Ergebnis der strömungstechnischen Berechnungen	120
4	Überlegungen zum konstruktiven Entwurf	125
4.1	Allgemeine Vorgehensweise	125
4.2	Berücksichtigung von Gestaltungsanforderungen	127
4.2.1	Funktionsgerechte Gestaltung des RWÜ	127
4.2.2	Werkstoffgerechte Gestaltung des RWÜ	128
4.2.3	Beanspruchungsgerechte Gestaltung des RWÜ	130
4.2.4	Fertigungsgerechte Gestaltung des RWÜ	131
4.2.5	Prüfgerechte Gestaltung und Prüfungen im Lebenslauf des RWÜ	134

4.2.6	Transport- und montagegerechte Gestaltung des RWÜ	135
4.2.7	Wartungs- und instandhaltungsgerechte Gestaltung des RWÜ	139
5	Konstruktive Aufgabenstellung	141
6	Rechnerische Nachweise für die Apparateelemente	145
6.1	Grundlagen	145
6.2	Formelzeichen und Einheiten	147
6.3	Ermittlung von Berechnungswerten [6]	148
6.3.1	Berechnungsdruck p	148
6.3.2	Berechnungstemperatur ϑ , T	149
6.3.3	Festigkeitskennwert K	149
6.3.4	Sicherheitsbeiwert S	149
6.3.5	Ausnutzung der zulässigen Berechnungsspannung in Fügeverbindungen, Faktor zur Berücksichtigung von Verschwächungen v	150
6.3.6	Zuschläge	150
6.3.6.1	Zuschlag zur Berücksichtigung der Waddickenunterschreitung c_1	150
6.3.6.2	Abnutzungszuschlag c_2	151
6.4	Werkstoffauswahl	151
6.5	Berechnungsparameter	151
6.6	Berechnung der Apparateelemente	153
6.6.1	Zylindrische Wandung (Mantel) unter innerem Überdruck	153
6.6.2	Gewölbte Böden unter innerem Überdruck	156
6.6.3	Rohrbündelrohre	158
6.6.3.1	Bemessung auf inneren Überdruck	158
6.6.3.2	Bemessung auf äußeren Überdruck	159
6.6.4	Berechnung der Rohrböden	161
6.6.5	Bemessung der Flanschverbindungen	165
6.7	Stabilitätsberechnung	167
6.7.1	Lokale Lasteinleitung durch die Sattellager	168
6.7.1.1	Tragfähigkeitsnachweis für den Zylinder	170
6.7.1.2	Nachweis des Sattellagers	172
6.7.2	Tragfähigkeitsnachweis für die Tragösen und ihren Anschluss	172
6.7.3	Zusatzbelastungen durch Einzelkräfte	177
7	Konstruktion des RWÜ	181
7.1	Konstruktionszeichnung	181
7.2	Entwurfsprüfung	181
8	Fertigung des Rohrbündel-Wärmeübertragers	185
8.1	Wesentliche Einzelteile zur RWÜ-Fertigung	186
8.1.1	Gewölbte Böden	186
8.1.2	Ebene Böden	190
8.1.3	Flanschverbindungen	197

8.1.4	Rohre	202
8.2	Wesentliche allgemeine Fertigungsschritte	203
8.2.1	Fertigung des Mantels	203
8.2.2	Verbindung Rohre/Rohrboden	205
8.2.2.1	Einschweißen der Rohre	206
8.2.2.2	Einwalzen der Rohre	212
8.2.2.3	Hydraulisches Aufweiten der Rohre	216
8.2.2.4	Verbindung Rohr/Rohrboden durch Kombination verschiedener Befestigungsarten	217
8.3	Schlussprüfung und Druckprüfung	219
8.3.1	Schlussprüfung	219
8.3.2	Druckprüfung	220
8.4	Oberflächensauberkeit und Oberflächenschutz	220
8.5	Korrosionsschutzanstrich	224
8.6	Fertigungstechnologie des RWÜ DN 400	225
8.6.1	Fertigung der Ein- und Austrittshauben	225
8.6.2	Fertigung des Mantels	226
8.6.3	Fertigung des Rohrbündels	226
8.6.4	Zusammenbau	227
8.6.5	Abschlussarbeiten	227
9	Transport und Montage des RWÜ	229
9.1	Transport	229
9.2	Montage	231
10	Wärmedämmung	233
10.1	Allgemeine Aussagen	233
10.2	Dämmung als Berührungsschutz für den RWÜ DN 400	238
11	Instandsetzung von Rohrbündel-Wärmeübertragern – Schadensbehebung durch Reinigung	241
11.1	Allgemeines	241
11.2	Logistische Vorleistungen für die mechanische Reinigung von RWÜ	243
11.3	Mechanische Reinigung von RWÜ	248
11.3.1	Hochdruckwasserstrahlreinigung	249
11.3.2	Hochdruckreinigung unter Einsatz entsprechender Reinigungskörper	254
11.3.3	Reinigungsverfahren mit rotierenden Werkzeugen	262
11.4	Chemische Reinigung von RWÜ	262
11.4.1	Allgemeines	262
11.4.2	Anwendung auf den RWÜ DN 400	263
11.5	Thermische Reinigung	266

11.6	Trockeneisreinigung	267
11.7	<i>In-situ</i> -Reinigung von RWÜ	270
12	Instandsetzung von Rohrbündel-Wärmeübertragern – Schadensbehebung durch Verstopfen, Rohraustausch oder Neuberohrung	273
12.1	Allgemeines	273
12.2	Schäden an Rohrbündel-Wärmeübertragern und Schadensbehebung	273
12.2.1	Einsetzen von Stopfen	276
12.2.2	Ersatz einzelner Rohre	281
12.2.3	Neuberohrung	284
12.2.4	Sanierung von Rohrböden	288
Anhang 1	Bezeichnungen und Begriffe für Werkstoffe Kurzzeichen in Werkstoffbezeichnungen	293
Anhang 2	Zusammenstellung der Prüfbescheinigungen nach EN 1024:2004 (D)	295
Anhang 3	Kennwerte für die Bemessung der Rohre nach DIN EN 10 216-1, und DIN EN 10 217-1 (AD 2000-Merkblatt W 4 Tafel A 2)	297
Anhang 4	Kennwerte für Flacherzeugnisse nach DIN EN 10 028-2, Mindestwerte der Dehngrenze $R_{p0,2}$ bei erhöhten Temperaturen	299
Anhang 5	Verschwächungsbeiwert ν_A bei $s_A/D_i = 0,01$ AD 2000-Merkblatt B 9	301
Anhang 6	Verschwächungsbeiwert ν_A bei $s_A/D_i = 0,05$ AD 2000-Merkblatt B 9	303
Anhang 7	Verschwächungsbeiwert ν_A für $s_A/\frac{D_i}{2} = 0,10$ AD 2000-Merkblatt B 9	305
Anhang 8	Berechnungsbeiwerte β für gewölbte Böden in Klöpperform nach AD 2000-Merkblatt B 3	307
Anhang 9	Einsatzgrenzen für Stahlflansche nach DIN EN 1092-1	309
Anhang 10	Diagramme zur Ermittlung der Beiwerte K für Tragösen nach TGL 32903/17 [47] und RKF BR – A 62 [48]	311
	Schlussbetrachtung	313
	Index	315