

# Kostenramingsmethode voor pijpenwarmtewisselaars

Ir. drs. M. M. J. Latten, bewerkt door ing. J. M. L. Nijssen

1.	Inleiding	Y2040- 3
2.	Constructie	Y2040- 3
3.	Kostenbepalingsmodellen	Y2040- 5
3.1.	Mogelijke modellen	Y2040- 5
3.2.	Gekozen model	Y2040- 6
4.	Uitwerking	Y2040- 7
4.1.	Standaardtype	Y2040- 7
4.2.	Correctiefactoren	Y2040- 7
5.	Conclusie	Y2040- 8
6.	Literatuur	Y2040- 8
	Bijlage 1. Basisgrafiek kosten van pijpenwarmtewisselaars	Y2040- 9
	Bijlage 2. Correctiefactoren pijpenwarmtewisselaars	Y2040-10
	Bijlage 3. Berekeningsvoorbeeld	Y2040-13
	Bijlage 4. Voorbeeld output rekenmodel pijpenwarmtewisselaars	Y2040-14

Bij dit artikel ontvangt u een diskette met rekenmodel voor de kostenraming van pijpenwarmtewisselaars.



## 1. Inleiding

De pijpenwarmtewisselaar, Engelse benaming „shell and tube heat exchanger” is ongetwijfeld het meest toegepaste type warmtewisselaar in de chemische procesindustrie.

Als voordelen zijn onder andere te noemen:

- goede ontwerpmethododes voorhanden;
- breed toepasbaar qua druk en temperatuur;
- breed toepasbaar qua warmtecapaciteit en volumestromen, (toepassing als koeler, verwarmers, condensor en verdampers zijn mogelijk);
- breed scala van constructiematerialen mogelijk;
- robuuste constructie.

Hier staan echter ook nadelen tegenover:

- relatief duur;
- warmte-overdracht doorgaans niet hoog;
- reinigen kan, vooral aan de mantelzijde, problemen opleveren.

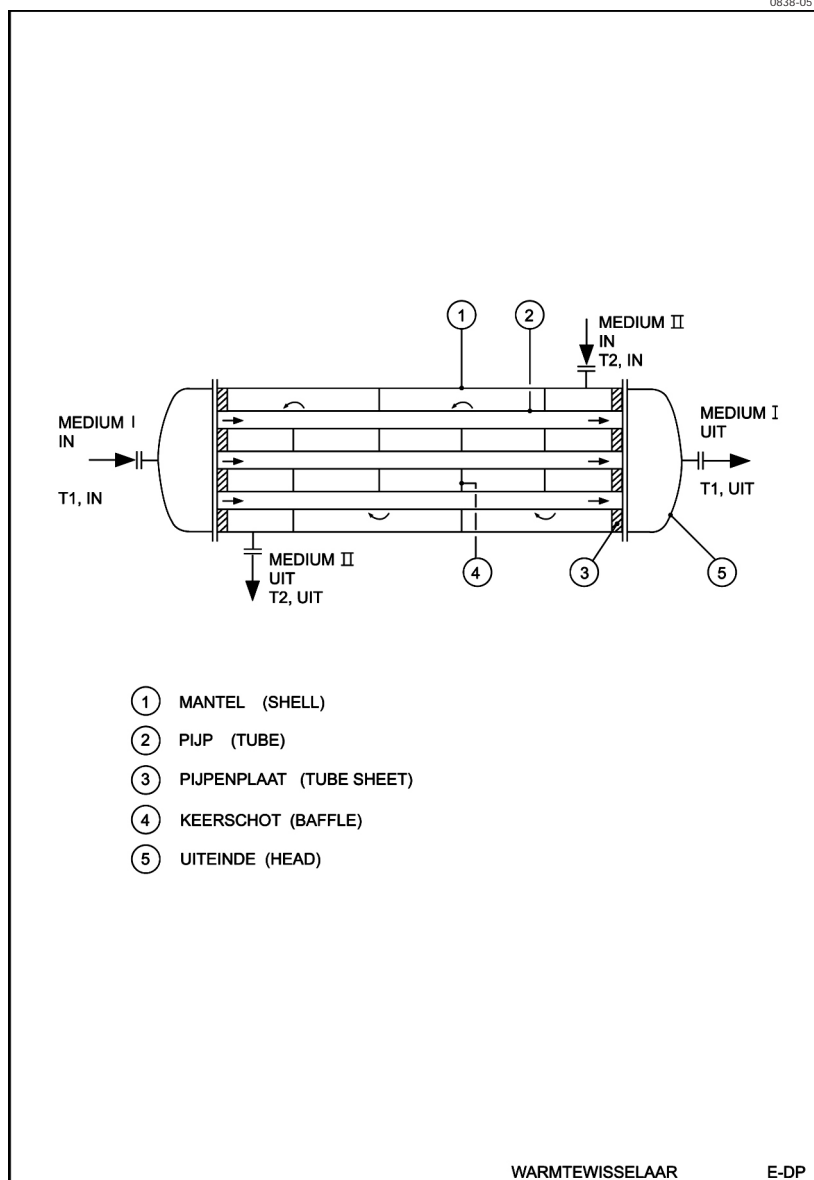
Het verdient overigens altijd aanbeveling om na te gaan in hoeverre een geprojecteerde pijpenwarmtewisselaar door andere, goedkopere typen kan worden vervangen. In deze evaluatie dienen installatiekosten en onderhoud gedurende de verwachte levensduur te worden betrokken. Vaak namelijk wordt de keuze niet bewust aan de hand van economische en procestechnische criteria gemaakt, maar wordt louter en alleen op grond van goede ervaring in het verleden voor een wellicht te duur alternatief gekozen. Zie in dit verband ook lit. Doel van dit artikel is aan te geven hoe de kosten voor pijpenwarmtewisselaars op relatief eenvoudige wijze kunnen worden bepaald. Hiertoe worden eerst de constructieve details aan de orde gesteld. Daarna wordt ingegaan op mogelijke kostenbepalingsmodellen. Het gekozen model wordt nader uitgewerkt en aan de hand van een voorbeeld geïllustreerd.

## 2. Constructie

De pijpenwarmtewisselaar (Engels: shell and tube heat exchanger) bestaat in principe uit een mantel (shell), een aantal pijpen (tubes), pijpenplaten (tube sheets), keerschotten (baffles) en één of twee uiteinden (heads). De warmte-uitwisseling tussen een tweetal media vindt plaats, door het ene medium door de pijpen te voeren en het andere medium om de pijpen heen te leiden, waarbij de warmte door

**Y2040-4** Kostenramingsmethode voor pijpenwarmtewisselaars

0838-0575



*Figuur 1. Schematische weergave van een pijpenwarmtewisselaar.*

de pijpwand getransporteerd wordt. Een en ander is in figuur 1 schematisch weergegeven.

Er bestaat een grote verscheidenheid aan uitvoeringen van pijpenwarmtewisselaars. Het is mogelijk een op het specifieke probleem afgestemde pijpenwarmtewisselaar te ontwerpen door het inzetten van specifieke types mantels en uiteinden, terwijl in de pijpmaat, de onderlinge pijpafstand (pitch), de configuratie (lay out) het aantal en soort keerschotten (baffles) en de keerschotafstand (baffle pitch) een grote variatie mogelijk is. Bovendien kan het aantal omkeringen van de stroom door de pijpen (tube passes) worden gevarieerd. Bijlage 1 geeft hiervan voorbeelden. Deze zijn afkomstig uit de TEMA code (TEMA: Tubular Exchanger Manufacturers Association). Zie deze code of relevante andere codes voor meer details.

### 3. Kostenbepalingsmodellen

Een aantal modellen om de kosten van pijpenwarmtewisselaars te bepalen, elk met hun eigen merites, zijn mogelijk. Deze modellen zullen in het onderstaande kort worden besproken. Het gekozen model zal daarna in paragraaf 4 in meer detail worden gepresenteerd.

#### 3.1. Mogelijke modellen

Er zijn in principe vele modellen mogelijk; hierin zijn echter afhankelijk van toepassingsgebied, nauwkeurigheid en kwaliteit van de gegevens een drietal soorten te onderscheiden:

##### a. Kosten als functie van het warmtewisselend oppervlak

Dit model kan in de vorm van een tabel of grafiek worden gegeven, bij bekend constructiemateriaal en temperatuur- en drukgrenzen.

Voordeel: snelle bepaling.

Nadeel: grove kosten, bepalende parameter is alleen het warmtewisselend oppervlak!

Toepassing: voor ramingen, voor begrotingen niet aan te raden!  
Te gebruiken in een stadium, waarin alleen de procesgegevens bekend zijn.

##### b. Als a, echter met correcties

Als basis voor verdere berekeningen wordt een „standaardtype” warmtewisselaar ontwikkeld. Als logische keus biedt zich de meest voorkomende verschijningsvorm aan. Deze wordt dan voor afwijkende vormen met behulp van factoren gecorrigeerd. Deze correc-

## Y2040-6 Kostenramingsmethode voor pijpenwarmtewisselaars

ties gelden onder andere voor TEMA-type, ontwerpdrukken, pijp-diameter, lay-out en pijpafstand, pijplengte en aantal tube passes.

Voordeel: nauwkeuriger kosten.

Nadeel: opzetten van het model (bepalen van de factoren), alsmede periodiek onderhoud is tijdrovend.

Toepassing: voor begrotingen, in een stadium, waarin meer constructieve details beschikbaar zijn.

### c. *Kostencalculatie*

Het calculeren van de kosten van een warmtewisselaar is alleen mogelijk, indien men over alle constructiedetails beschikt. Men kan hier met werkelijke of normmateriaalverbruik en werkelijke of normbewerkingstijden rekenen, terwijl eventuele bedrijfsspecifieke opslagen meegenomen kunnen worden.

Voordeel: kosten zeer nauwkeurig te bepalen.

Nadeel: „alle” gegevens moeten bekend zijn, berekening kan arbeidsintensief zijn.

Toepassing: voor fabrikanten ten behoeve van offertes en administratie.

Uiteraard is het mogelijk om uitgaande van een groot aantal calculaties een systeem op te zetten, waarmee een snelle kostenbepaling ten behoeve van offertes mogelijk is. Bepaal bij voorbeeld van een gelijksoortig type warmtewisselaar: ofwel de kosten per m<sup>2</sup> warmtewisselend oppervlak (model a), ofwel het gewicht per m<sup>2</sup> oppervlak met een bijbehorende bruto kiloprijs.

### 3.2. *Gekozen model*

Gezien de doelstelling in de inleiding valt deze keuze duidelijk op het model onder 3.1b:

- uitgaande van het model onder a, worden te onnauwkeurige kostenschattingen verkregen;
- een methode, gebaseerd op het model onder c, vereist voor elke afzonderlijke vraag een groot aantal, doorgaans niet beschikbare, gegevens.

Het gekozen model bestaat dus uit één of meer basisgrafieken of -tabellen, in combinatie met een aantal correctietabellen of grafieken, met behulp waarvan met de specifieke eisen van de te begroten warmtewisselaar rekening gehouden wordt.

## 4. Uitwerking

### 4.1. *Standaardtype*

Als eerste wordt het „standaardtype” warmtewisselaar vastgelegd. De standaard voldoet aan de volgende uitgangspunten:

- opstelling: horizontaal, met ondersteuning
- expansiebalg: geen
- TEMA type: BEM
- ontwerpdruk mantel: <10 bara
- ontwerpdruk pijpen: <10 bara
- pijpdiаметer: 25,4 mm
- pijpafstand en steek: 32 mm, driehoek
- wanddikte pijp: 14 BWG (= 2,11 mm)
- tube passes: 2
- constructiemateriaal: mantel/pijpen staal/staal
- pijplengte: 2,4 m bij oppervlak tot 20 m<sup>2</sup>  
3,6 m bij oppervlak 20 m<sup>2</sup> tot 100 m<sup>2</sup>  
4,8 m bij oppervlak boven 100 m<sup>2</sup>

Ten einde een basisgrafiek samen te kunnen stellen dienen de kostengegevens van een groot aantal warmtewisselaars geanalyseerd te worden. Uit de verkregen waarden wordt met behulp van regressie-analyse een grafiek opgesteld. Dit is de basisgrafiek. Deze wordt gegeven in bijlage 1.

### 4.2. *Correctiefactoren*

De waarden, die met behulp van de basisgrafiek bepaald worden, dienen voor de afwijkingen ten opzichte van de basisuitvoering te worden gecorrigeerd.

Gekozen wordt voor de volgende correctiefactoren:

- de vorm van de beide uiteinden ( $C_f$  en  $C_r$ ) en de mantel ( $C_s$ );
- afwijkende ontwerpdrukken ( $C_p$ );
- afwijkende pijpdiаметer, pijpafstand en steek ( $C_{od}$ );
- afwijkend aantal tube passes ( $C_{tp}$ );
- afwijkende pijplengte ( $C_l$ );
- afwijkende constructiematerialen ( $C_m$ ).

De factoren zijn ten dele uit analyse van een veelheid van pijpen-warmtewisselaars verkregen en ten dele aan de literatuur ontleend (lit. 2). De factoren worden gegeven in bijlage 2, tabel 1 t/m 6.

Ijking van het model gaf goede resultaten. De met het model bepaalde kosten lagen doorgaans binnen 10% van het gemiddelde van de offerteprijzen.

## **5. Conclusie**

Een model voor de bepaling van de kosten van pijpenwarmtewisselaars is ontwikkeld. Het bestaat uit een kostengrafiek voor een basistype, terwijl afwijkingen van het basistype met behulp van correctiefactoren in de berekening worden verwerkt.

Het is met het ontwikkelde model mogelijk een goede voorspelling van de kosten voor pijpenwarmtewisselaars te doen.

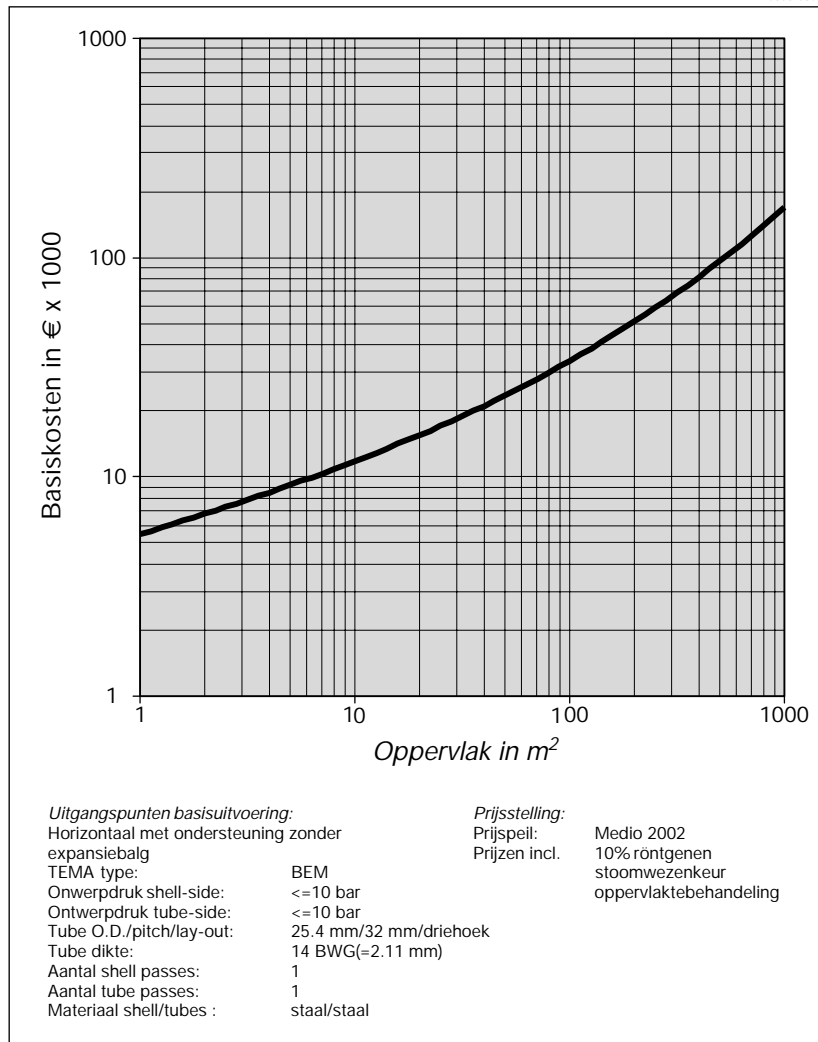
## **6. Literatuur**

1. Boekhorst, A.J. te, „Criteria bij de selectie: pijpenwarmtewisselaar of platenwarmtewisselaar”, *Handboek Cost Engineering*, K-1010.
2. Puhorit, G.P., „Estimating costs of shell and tube heat exchangers”, *Chemical Engineering*, 1983, August 22, pages 56-67.
3. Cowie, R.C., „Costing of shell and tube heat exchangers”, *Heat exchanger design handbook* § 4.8.2, Hemisphere Publishing Corp.



**Bijlage 1. Basisgrafiek kosten van standaard  
pijpenwarmtewisselaars**

0838-0856



**Bijlage 2. Correctiefactoren pijpenwarmtewisselaars**

Front end head	$C_f$	Mantel	$C_s$	Rear end	$C_r$
Type A	1,03	Type E	1,00	Type L	1,04
Type B	1,00	Type K	1,30	Type M	1,00
Type C	1,07			Type N	1,06
Type D	1,60			Type P	1,24
				Type S	1,20
				Type T	1,25
				Type U	1,10
				Type W	1,22

Tabel 1. Factoren  $C_s$ ,  $C_f$  en  $C_r$  voor mantel en uiteinden.

Zie einde van de bijlage voor de diverse types mantel en uiteinden.

Ontwerpdruk mantel	Ontwerpdruk pijpen	$C_p$
10 bara	10 bara	1
10 bara	20 bara	1,06
10 bara	40 bara	1,19
20 bara	10 bara	1,1
20 bara	20 bara	1,17
20 bara	40 bara	1,30
40 bara	10 bara	1,31
40 bara	20 bara	1,38
40 bara	40 bara	1,50

Tabel 2. Factor  $C_p$  voor ontwerpdruk.

Pijpdiameter / steek / configuratie	$C_{od}$
19,05 mm / 25 mm / driehoek	0.93
25,4 mm / 32 mm / driehoek	1
31,75 mm / 40 mm / driehoek	1.07
19,05 mm / 25 mm / vierkant	1
25,4 mm / 32 mm / vierkant	1.04
31,75 mm / 40 mm / vierkant	1.11

Tabel 3. Factor  $C_{od}$  voor pijpdiameter, steek en configuratie.

Aantal tube passes	$C_{tp}$
1-2	1
4	1,03
6	1,05
8	1,07

Tabel 4. Factor  $C_{tp}$  voor aantal tube passes.

Oppervlak	1-20 m <sup>2</sup>	Oppervlak	20-100 m <sup>2</sup>	Oppervlak	100-1000 m <sup>2</sup>
Pijplengte	$C_{cl}$	Pijplengte	$C_{cl}$	Pijplengte	$C_{cl}$
1,0 m	1,43				
1,2 m	1,32	1,2 m	1,52		
1,8 m	1,12	1,8 m	1,29		
2,4 m	1,00	2,4 m	1,15		
3,0 m	0,92	3,0 m	1,06	3,0 m	1,17
3,6 m	0,87	3,6 m	1,0	3,6 m	1,10
4,8 m	0,79	4,8 m	0,91	4,8 m	1,0
		6,0 m	0,85	6,0 m	0,94
				8,0 m	0,86

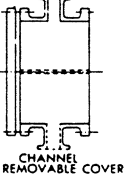
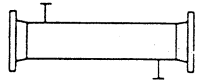
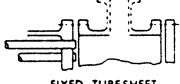
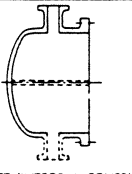
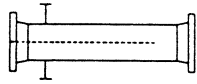
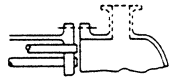
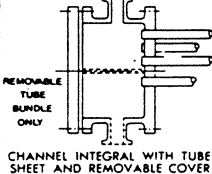
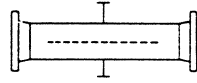
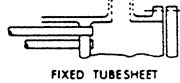
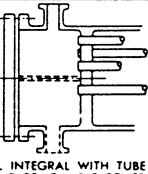
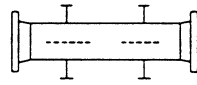
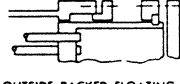
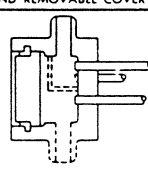
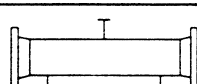
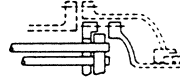
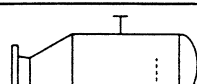
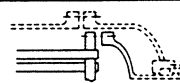
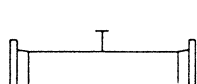
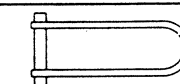

Tabel 5. Factor  $C_{cl}$  voor pijplengtes.

Materiaal mantel / pijpen	Oppervlak in m <sup>2</sup>												
	1	2	5	10	20	50	100	200	300	500	600	800	1000
Staal \ Staal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Staal \ SS304	1.34	1.34	1.34	1.35	1.36	1.39	1.43	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
Staal \ SS316	1.40	1.41	1.42	1.44	1.46	1.51	1.56	1.63	1.68	1.75	1.77	1.82	1.86
Staal \ CuNi	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.11	2.13	2.17	2.20	2.25	2.28	2.33	2.37
Staal \ Ni	2.72	2.73	2.74	2.75	2.76	2.81	2.90	3.09	3.27	3.60	3.76	4.06	4.34
Staal \ Hastelloy	4.60	4.60	4.60	4.62	4.66	4.82	5.09	5.60	6.04	6.81	7.16	7.79	8.36
SS304 \													
SS304	1.41	1.44	1.49	1.54	1.59	1.66	1.72	1.80	1.85	1.91	1.94	1.98	2.02
SS316 \													
SS316	1.45	1.49	1.55	1.60	1.65	1.75	1.83	1.93	2.00	2.09	2.13	2.19	2.24

Tabel 6. Factor  $C_m$  voor constructiematerialen.

Mantel- en uiteindetypes volgens TEMA

0838-0124

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
A	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E	 ONE PASS SHELL	L	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B	 BONNET (INTEGRAL COVER)	F	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER	G	 SPLIT FLOW	N	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
N	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER	H	 DOUBLE SPLIT FLOW	P	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
D	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	J	 DIVIDED FLOW	S	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		K	 KETTLE TYPE REBOILER	T	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		X	 CROSS FLOW	U	 U-TUBE BUNDLE
				W	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

**Bijlage 3. Berekeningsvoorbeeld**

*1. Gegevens*

Oppervlak:	500 m <sup>2</sup>
TEMA type:	AEL
Ontwerpdruk mantel:	8 bara
Ontwerpdruk pijpen:	4 bara
Pijpdiameter:	25,4 mm
Steek:	32 mm
Configuratie:	driehoek
Aantal tube passes:	1
Pijplengte:	3 m
Materiaal mantel:	staal
Materiaal pijpen:	SS 316

*2. Berekening*

a. Basiskosten:	€ 97.000,—
b. Factoren:	
Tabel 1. C <sub>f</sub>	1,03
Tabel 1. C <sub>s</sub>	1
Tabel 1. C <sub>r</sub>	1,04
Tabel 2. C <sub>p</sub>	1
Tabel 3. C <sub>od</sub>	1
Tabel 4. C <sub>tp</sub>	1
Tabel 5. C <sub>tl</sub>	1,17
Tabel 6. C <sub>m</sub>	1,75

De kosten zijn:

$$\begin{aligned}
 & \text{€ } 97.000,— * 1,03 * 1 * 1,04 * 1 * 1 * 1 * 1,17 * 1,75 = \\
 & \text{€ } 210.000,— \text{ (prijsspeil medio 2002)}.
 \end{aligned}$$

## Y2040-14 Kostenramingsmethode voor pijpenwarmtewisselaars

### Bijlage 4. Voorbeeld output rekenmodel pijpenwarmtewisselaars<sup>1</sup>

0838-0857

PIJPENWARMTEWISSELAARS										Prijspeil medio 2002	
Uitwendig VO		500.0	m <sup>2</sup>								
Basiskosten		Cf	Cs	Cr	Cp	Cod	Ctp	Ctl	Cm	CGebruiker	
Totale kosten:		= 97	* 1.03	* 1.00	* 1.04	* 1.00	* 1.00	* 1.00	* 1.17	* 1.75	* 1.00 = 210 € x 1000
Cgebruiker		1.00									
TEMA-type											
Front end		Cf									
A	1.03										
B	1.00										
C	1.07										
D	1.60										
Front end		A	Cf = 1.03								
Mantel		Cs									
E	1.00										
K	1.30										
Mantel		E	Cs = 1.00								
Rear end		Cr									
L	1.04										
M	1.00										
N	1.06										
P	1.24										
S	1.20										
T	1.25										
U	1.10										
W	1.22										
Rear end		L	Cr = 1.04								
Ontwerpdruk		mantel [bara]		8	Cp = 1.00						
		pijpen [bara]		4							
Pijpen											
Diameter	Steek	Configuratie	Cod	Keuze							
19.05	25	Driehoek	0.93	= 1							
25.40	32	Driehoek	1.00	= 2							
31.75	40	Driehoek	1.07	= 3							
19.05	25	Vierkant	1.00	= 4							
25.40	32	Vierkant	1.04	= 5							
31.75	40	Vierkant	1.11	= 6							
Uw keuze:		2	Cod = 1.00								
Pijpdoorgangen											
Aantal		Ctp									
1-2	1.00										
4	1.03										
6	1.05										
8	1.07										
Aantal:		1	Ctp = 1.00								
Pijplengte [m]		3.0	Ctl = 1.17								
Materiaal											
Mantel	Pijpen	Cm	Keuze								
Staal	Staal	1.00	= 1								
Staal	SS 304	1.56	= 2								
Staal	SS 316	1.75	= 3								
Staal	CuNi 70/30	2.25	= 4								
Staal	Ni	3.60	= 5								
Staal	Hastelloy	6.81	= 6								
SS 304	SS 304	1.91	= 7								
SS 316	SS 316	2.09	= 8								
Uw keuze:		3	Cm = 1.75								

1 Ingevulde waarden komen overeen met het berekeningsvoorbeeld van bijlage 3.