



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PŘEPOČET KOTLE PŘI ZMĚNĚ JMENOVITÝCH PARAMETRŮ

RECALCULATION BOILER AT CHANGE OF NOMINAL PARAMETERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV HAŠKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK BALÁŠ

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miroslav Haška

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Přepočet kotle při změně jmenovitých parametrů

v anglickém jazyce:

Recalculation boiler at change of nominal parametrs

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kotel byl původně projektován na zemní plyn se jmenovitými parametry 100t/h, 9,51 MPa, 540°C. Při rekonstrukci došlo ke změně výstupních parametrů kotle na 100t/h, 3,9MPa, 450°C. Výstupní teplota spalin za kotlem je požadovaná 125°C.

Navrhněte opatření pro dosažení nových jmenovitých parametrů kotle a teploty odchozích spalin. Tyto parametry ověřte tepelným výpočtem.

Cíle diplomové práce:

Navrhněte opatření pro dosažení nových jmenovitých parametrů kotle a teploty odchozích spalin. Tyto parametry ověřte tepelným výpočtem

Seznam odborné literatury:

Budaj, F.: Parní kotle – podklady pro tepelný výpočet, VUT v Brně, 1992

Černý, V.-Janeba, B.-Teyssler, J.: Parní kotle. Technický průvodce 32, SNTL, 1983

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marek Baláš

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá přepočtem parního kotle. Nejprve navrhnu opatření pro dosažení nových jmenovitých parametrů kotle a teploty odchozích spalin. Následně to ověřím tepelným výpočtem se všemi náležitostmi.

ANNOTATION

This thesis concerns with recalculation of steam boiler. Arrangement for reaching of new steam boiler parameters and temperature of combustion gases was suggested at first. Then it was verified with thermal calculation, all necessities included.

Recalculation = přepočet, steam boiler = parní kotel, thermal calculation = tepelný výpočet

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně za pomoci vedoucího diplomové práce Ing. Marka Baláše a konzultanta Ing. Petra Zemana.

V Brně dne 26. května 2009

..... ©

Podpis

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Marku Balášovi a konzultantovi Ing. Petru Zemanovi za cenné rady a informace při řešení této diplomové práce.

OBSAH:**Zadání****Licenční smlouva**

Anotace	5
Čestné prohlášení	6
Poděkování	7
Obsah	8
Úvod	13
1.Stechiometrie	14
1.0 Složení paliva.....	14
1.1 Množství jednotlivých složek spalin.....	15
1.1.1 Objem CO ₂ ve spalinách.....	15
1.1.2 Objem N ₂ ve spalinách.....	15
1.1.3 Objem Ar ve spalinách.....	15
1.1.4 Objem H ₂ O ve spalinách.....	15
1.1.5 Minimální množství suchých spalin.....	15
1.1.6 Minimální množství spalin.....	15
1.1.7 Skutečné množství spalin.....	15
1.1.8 Skutečné množství vodní páry.....	15
1.1.9 Skutečné množství vzduchu.....	15
1.1.10 Objem části tříatomových plynů.....	16
1.2 Entalpie spalin.....	16
1.3 Tabulka entalpií spalin.....	16
2. Tepelná bilance kotle	17
2.1 Ztráty kotle.....	17
2.2 Tepelná účinnost.....	17
2.3 Množství paliva.....	17
2.4 Návrh spalovací komory.....	18
3. Výpočet velikosti stěn spalovací komory	19
4. Tepelný výpočet ohniště	20
4.1 Teplo uvolněné v ohništi.....	20

4.2	Boltzmanovo číslo.....	21
4.3	Výpočet teploty spalin na konci ohniště.....	22
5.	Bilanční výpočet teplosměnných ploch ze strany pracovního média.....	24
5.1	Tlak napájecí vody.....	24
5.2	Ohřívák vody (Ekonomizér).....	24
5.3	Výparník.....	25
5.4	Přehřívák3.....	25
5.5	Přehřívák2.....	26
5.6	Přehřívák1.....	26
5.7	Celkové potřebné teplo.....	27
6.	Výpočet dílčích výkonů - část 1.....	27
6.1	Výpočet přehříváku (PP2- Deskový Přehřívák-vstupní).....	28
6.1.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalin.....	28
6.1.2	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně.....	28
6.1.3	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	29
6.1.4	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru podélně.....	39
6.1.5	Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny.....	29
6.1.6	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	31
6.1.7	Střední teplotní logaritmický spád.....	31
6.1.8	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	31
6.2	Výpočet přehříváku (PP2- Deskový Přehřívák-výstupní).....	32
6.2.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalin.....	33
6.2.2	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně.....	33
6.2.3	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	33
6.2.4	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru podélně.....	34
6.2.5	Součinitel přestupu tepla sáláním.....	34
6.2.6	Součinitel přestupu tepla konvekcí ze strany páry.....	34
6.2.7	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	36
6.2.8	Střední teplotní logaritmický spád.....	36
6.2.9	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	36
6.3	Výpočet stropu nad DP.....	36
6.3.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	37
6.3.2	Součinitel přestupu tepla sáláním.....	37

 Přepočet kotle při změně jmenovitých parametrů

6.3.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	38
6.3.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	38
6.3.5	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	39
6.4	Výpočet membrány okolo DP.....	39
6.4.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	40
6.4.2	Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny.....	40
6.4.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	41
6.4.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	41
6.4.5	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	41
6.5	Celkový výkon ze všech těchto ploch.....	42
6.5.1	Odchylka celkové bilance v této části.....	42
6. 6	Výpočet doplňkové plochy.....	42
7.	Výpočet dílčích výkonů - část 2.....	45
7.1	Výpočet přehříváku PP3.....	45
7.1.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalin.....	46
7.1.2	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně.....	46
7.1.3	Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny.....	47
7.1.4	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	48
7.1.5	Střední teplotní logaritmický spád.....	48
7.1.6	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	48
7.2	Strop nad PP3.....	48
7.2.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	49
7.2.2	Součinitel přestupu tepla sáláním	49
7.2.3	Součinitel přestupu tepla konvekcí ze strany páry.....	49
7.2.4	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	50
7.2.5	Střední teplotní logaritmický spád.....	50
7.2.6	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	51
7.3	Výparník okolo PP3 – šikmy dno.....	51
7.3.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	52
7.3.2	Součinitel přestupu tepla sáláním	52
7.3.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	53
7.3.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	53
7.3.5	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	53
7.4	Výpočet membrány okolo PP3 – boky.....	54

 Přepočet kotle při změně jmenovitých parametrů

7.4.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny příčně.....	55
7.4.2	Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny.....	55
7.4.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	56
7.4.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	56
7.4.5	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	56
7.5	Celkový výkon ze všech těchto ploch.....	56
7.5.1	Odchylka celkové bilance v této části.....	57
8.	Výpočet dílčích výkonů - část 3.....	57
8.1	Výpočet Mříže.....	57
8.1.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalin.....	58
8.1.2	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně.....	59
8.1.3	Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny.....	59
8.1.4	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	60
8.1.5	Střední teplotní logaritmický spád.....	60
8.1.6	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	61
8.2	Strop nad mříží.....	61
8.2.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	62
8.2.2	Součinitel přestupu tepla sáláním	62
8.2.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	63
8.2.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	63
8.2.5	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	63
8.3	Výparník okolo mříže – boky.....	64
8.3.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny příčně.....	64
8.3.2	Součinitel přestupu tepla sáláním	65
8.3.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	66
8.3.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	66
8.3.5	Teplo odebrané spalinám této ploše.....	66
8.4	Celkový výkon ze všech těchto ploch.....	66
8.4.1	Odchylka celkové bilance v této části.....	67
9.	Výpočet dílčích výkonů - část 4.....	67
9.1	Výpočet PP1.....	67
9.1.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalin.....	68
9.1.2	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně.....	68
9.1.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	69

9.1.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	69
9.1.5	Teplo odebrané spalínám této ploše.....	69
9.2	Strop nad PP1.....	69
9.2.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně.....	70
9.2.2	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	70
9.2.3	Střední teplotní logaritmický spád.....	70
9.2.4	Teplo odebrané spalínám této ploše.....	71
9.3	Celkový výkon ze všech těchto ploch.....	71
9.3.1	Odchylka celkové bilance v této části.....	71
10.	Výpočet dílčích výkonů - část 5.....	71
10.1	Výpočet Mříže – před EKO.....	71
10.1.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalín.....	72
10.1.2	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	73
10.1.3	Střední teplotní logaritmický spád.....	73
10.1.4	Teplo odebrané spalínám této ploše = celkový výkon.....	73
10.2	Odchylka celkové bilance v této části	73
11.	Výpočet dílčích výkonů - část 6.....	74
11.1	Výpočet Ekonomizéru.....	74
11.1.1	Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalín.....	75
11.1.3	Výsledný součinitel prostupu tepla.....	76
11.1.4	Střední teplotní logaritmický spád.....	76
11.1.5	Teplo odebrané spalínám této ploše = celkový výkon.....	76
11.2	Odchylka celkové bilance v této části	76
12.	Kontrola tepelné bilance.....	77
12.1	Celkové předané teplo.....	78
13.	Kontrola tepelné bilance	78
13.1	Odchylka tepelné bilance.....	78
13.2	Odchylka tepelné bilance pro výparník.....	79
14.	Závěr.....	80
15.	Seznam použité literatury.....	81
16.	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	82
17.	Seznam příloh.....	83

Úvod:

Úkolem této diplomové práce bylo přepočítat již existující parní kotel na zemní plyn s jmenovitými parametry na nový parní kotel s novými parametry.

Abych dosáhl nových požadovaných parametrů, bylo nutné zmenšit, nebo změnit uspořádání výhřevné plochy v dané počítané části. Tj. změnit průměry trubek i jejich tloušťky stěn, jejich počet z původního počtu na nový, u uspořádání trubek z vystřídání na uspořádání za sebou a naopak. S těmito novými hodnotami je proveden tepelný výpočet.

Před vstupem do komína byla požadována nová hodnota teploty spalin, proto jsem navrhnul takový výměník tepla (EKO), aby této nové hodnoty bylo dosaženo.

Také bylo nutné odstranit ohřívák vzduchu, jak z hlediska poklesu teploty na konci ohniště, důležité pro další výpočet, tak i z hlediska snížení NO_x ve spalinách.

Kotel je projektován jako svislý, samonosný, ve spodní části je vidět výtavná komora na původní projektované palivo (uhlí), pak byl plynofikován, kvůli snížení emisí i nedostatku uhlí, dodnes pracuje na zemní plyn. Stěny spalovací komory jsou membránové.

V přední i zadní stěně spalovací komory jsou umístěny dva a dva plynové hořáky.

Při výpočtu jsem si tento kotel rozdělil do 6ti částí. V každé části počítám jednotlivé výkony dílčích ploch. Součet těchto výkonů v závislosti na entalpii spalin musí být v předepsané toleranci $\pm \%$, pokud vyhovuje, pak výpočet pokračuje do dalších částí. Na konci je uvedená odchylka, se kterou byl tento celý tepelný výpočet vypracován.

1. STECHIOMETRIE

1.0 Složení paliva:

Palivo			zemní plyn
Výhřevnost	Q_i	34 340	kJ/Nm^3
Obsah dusíku	N_2	0,96	% obj.
Obsah oxidu uhličitého	CO_2	0,32	% obj.
Obsah metanu	CH_4	96,7	% obj.
Obsah etanu	C_2H_6	1,43	% obj.
Obsah propanu	C_3H_8	0,43	% obj.
Obsah butanu	C_4H_{10}	0,13	% obj.
Obsah pentanu	C_5H_{12}	0,03	% obj.
Teplota vzduchu okolí		25	$^{\circ}\text{C}$
Relativní vlhkost		70	%
Teplota spalin na výstupu z kotle		125	$^{\circ}\text{C}$

Pokud není uvedeno jinak, je výpočet proveden chronologicky podle [1]

Minimální množství kyslíku na spálení 1Nm^3 paliva:

$$O_{2\min} = 0.5 \cdot \frac{CO + H_2}{H_2} + 1.5 \cdot \frac{H_2S}{100} + \sum \left(x + \frac{y}{4} \right) \cdot \frac{C_x H_y}{100} - \frac{O_2}{100} = 0 + 0 + \left(1 + \frac{4}{4} \right) \cdot \frac{96.7}{100} + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot \frac{1.43}{100} + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot \frac{0.43}{100} + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot \frac{0.13}{100} + \left(5 + \frac{12}{4} \right) \cdot \frac{0.03}{100} - 0 = 2.0164 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \quad (1.0.1)$$

Minimální množství suchého vzduchu na spálení 1m^3 paliva:

$$O_{\text{vzd min}}^s = \frac{100}{21} \cdot O_{O2\min} = \frac{100}{21} \cdot 2,0164 = 9,6 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \quad (1.0.2)$$

Minimální množství vlhkého vzduchu

-při teplotě vzduchu 25°C a a vlhkosti 70% je brán přepočítávací faktor $f_v = 1,03$

$$O_{\text{vzd min}} = f_v \cdot O_{\text{vzd min}}^s = 1,03 \cdot 9,6 = 9,8899 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \quad (1.0.3)$$

1.1 Množství jednotlivých složek spalín

1.1.1 Objem CO_2 ve spalínách:

$$O_{CO_2}^s = 0,01 \cdot (CO + CO_2 + \sum x \cdot C_X H_Y + 0,03 \cdot O_{vzd \min}^{spl}) = 0,01 \cdot (0 + 0,32 + 96,7 + 2 \cdot 1,43 + 3 \cdot 0,43 + 4 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,03 + 0,03 \cdot 9,6) = 1,021 m^3 / m^3 \quad (1.1.1)$$

1.1.2 Objem N_2 ve spalínách:

$$O_{N_2}^s = 0,01 \cdot (N + 78,05 \cdot O_{vzd \min}^s) = 0,01 \cdot (0,96 + 78,05 \cdot 9,6) = 7,503 m^3 / m^3 \quad (1.1.2)$$

1.1.3 Objem Ar ve spalínách:

$$O_{Ar}^s = 0,0092 \cdot O_{vzd \min}^s = 0,0092 \cdot 9,6 = 0,08833 m^3 / m^3 \quad (1.1.3)$$

1.1.4 Objem H_2O ve spalínách:

$$O_{H_2O \min}^s = 0,01 \cdot \left(\sum \frac{y}{2} \cdot C_x H_y + H_2 + H_2S \right) + (f - 1) \cdot O_{vzd \min}^s =$$

$$0,01 \cdot \left(\frac{4}{2} \cdot 96,7 + \frac{6}{2} \cdot 1,43 + \frac{8}{2} \cdot 0,43 + \frac{10}{2} \cdot 0,13 + \frac{12}{2} \cdot 0,03 \right) + (1,03 - 1) \cdot 9,6 = 2,29 m^3 / m^3 \quad (1.1.4)$$

1.1.5 Minimální množství suchých spalín

$$O_{sp \min}^s = O_{CO_2}^s + O_{N_2}^s + O_{Ar}^s = 1,021 + 7,503 + 0,08833 = 8,613 m^3 / m^3 \quad (1.1.5)$$

1.1.6 Minimální množství spalín

$$O_{sp \min} = O_{sp \min}^s + O_{H_2O \min}^s = 8,613 + 2,313 = 10,9 m^3 / m^3 \quad (1.1.6)$$

1.1.7 Skutečné množství spalín

$$O_{sp} = O_{sp \min} + (\alpha - 1) \cdot O_{vzd \min} = 10,9 + (1,08 - 1) \cdot 9,8899 = 11,2 m^3 / m^3 \quad (1.1.7)$$

$\alpha = 1,08$ pro plynové ohniště

1.1.8 Skutečné množství vodní páry

$$O_{H_2O} = O_{H_2O \min} + (\alpha - 1) \cdot O_{vzd \min}^s \cdot (f - 1) = 2,29 + (1,08 - 1) \cdot (1,03 - 1) \cdot 9,6 = 2,313 m^3 / m^3 \quad (1.1.8)$$

1.1.9 Skutečné množství vzduchu

$$O_{vzd} = \alpha \cdot O_{vzd \min} = 1,08 \cdot 9,8899 = 10,68 m^3 / m^3 \quad (1.1.9)$$

1.1.10 Objem části tříatomových plynů

$$r_{CO_2} = \frac{O_{CO_2}^s + O_{SO_2}^s}{O_{sp}} = \frac{1,021 + 0}{11,2} = 0,0911 \quad (1.1.10a)$$

$$r_{CO_2} = \frac{O_{H_2O \text{ min}}}{O_{sp}} = \frac{2,29}{11,2} = 0,204 \quad (1.1.10b)$$

$$r_{sp} = r_{CO_2} + r_{H_2O} = 0,0911 + 0,204 = 0,295 \quad (1.1.10c)$$

1.2 Entalpie spalín:

$$I_{SPmin} = O_{CO_2} \cdot i_{CO_2} + O_{SO_2} \cdot i_{SO_2} + O_{N_2} \cdot i_{N_2} + O_{H_2O} \cdot i_{H_2O} + O_{Ar} \cdot i_{Ar} \quad (1.1.10a)$$

$$I_{SP} = I_{SP \text{ min}} + (\alpha - 1) \cdot I_{VZ \text{ min}} \quad (1.1.10b)$$

$$I_{VZ \text{ min}}^S = O_{VZ \text{ min}} \cdot (c \cdot t)_{VZ} \quad (1.1.10c)$$

1.3. Tabulka entalpií spalín:

t (°C)	i_{CO_2} (kJ/m ³)	i_{N_2} (kJ/m ³)	i_{H_2O} (kJ/m ³)	i_{Ar} (kJ/m ³)	cp_{vzd} (kJ/m ³)	$I_{sp \text{ min}}$ (kJ/m ³)	$I_{vzd \text{ min}}$ (kJ/m ³)	I_{sp} (kJ/m ³)
100	170	130	150	93	1,30	1500,91	1285,70	1629,48
200	357	260	304	186	1,31	3028,34	2585,24	3286,86
300	559	392	463	278	1,32	4597,46	3907,52	4988,21
400	772	527	626	372	1,33	6209,66	5257,50	6735,41
500	994	666	795	465	1,34	7874,73	6641,11	8538,84
600	1225	804	969	557	1,36	9552,85	8046,47	10357,50
700	1462	948	1149	650	1,37	11295,95	9491,40	12245,09
800	1705	1094	1334	743	1,38	13071,64	10950,17	14166,66
900	1952	1242	1526	834	1,40	14882,28	12443,55	16126,63
1000	2204	1392	1723	928	1,41	16724,75	13944,85	18119,23
1100	2464	1547	1934	1020	1,42	18644,80	15469,88	20191,78
1200	2724	1702	2145	1113	1,43	20564,93	17006,78	22265,61
1300	2984	1856	2357	1205	1,43	22479,77	18424,01	24322,17
1400	3244	2011	2568	1298	1,44	24399,91	19979,70	26397,88
1500	3504	2166	2779	1390	1,45	26319,96	21555,17	28475,47
1600	3772	2325	3008	1483	1,46	28319,51	23134,60	30632,97
1700	4040	2468	3238	1576	1,47	30201,29	24731,83	32674,47
1800	4308	2645	3467	1669	1,48	32335,91	26311,25	34967,03
1900	4576	2805	3697	1762	1,49	34345,25	27923,32	37137,58
2000	4844	2965	3926	1855	1,49	36352,31	29531,43	39305,45
2500	6203	3779	5132	2320	1,53	46651,76	37829,10	50434,67

Tabulka 1.

2. TEPELNÁ BILANCE KOTLE:

Teplo přivedené do kotle

$$Q_p^p = Q_i^r = 34\,340 \text{ kJ/Nm}^3$$

2.1 Ztráty kotle

-ztráta chemickým nedopalem - pro plynové kotle

$$z_{CO} = 0,5 \%$$

-ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích

$$z_C = 0 \%$$

-ztráta sdílením tepla do okolí - pro hliníkový nátěr oplechování

$$z_{SO} = 0,65 \%$$

Komínová ztráta - pro výstupní teplotu spalin $v_k = 125^\circ\text{C}$ a teplotu vzduchu $v_{vzd} = 30^\circ\text{C}$

$$v_k = \frac{I_{SP} - I_{VZ}}{Q_p^p} * 100 = \frac{1907,53 - 309,66}{34340} * 100 = 4,65\% \quad (2.1a)$$

Entalpie min. množství spalin na konci kotle $I_{Sp\,125^\circ\text{C}} = 1907,53 \text{ kJ/m}^3$

Entalpie min. množství vzduchu na vstupu do kotle

$$I_{VZ\,min} = O_{VZ\,min} \cdot (c \cdot t_{25^\circ\text{C}}) = 9,601 \cdot (1,29 \cdot 25) = 309,66 \text{ kJ/m}^3 \quad (2.1b)$$

2.2 Tepelná účinnost kotle

$$\eta_k = 100 - \sum z_k = 100 - \sum 4,65 + 0,5 + 0,65 = 94,19\% \quad (2.2a)$$

Výrobní teplo páry

$$Q_v = M_{pp} \cdot (i_p - i_{nv}) = 27,77 \cdot (3332,5 - 443,29) = 80247,5 \text{ kW} \quad (2.2b)$$

Dle zadání kotel dodává $M_{pp} = 100[t/h] \Rightarrow 27,77[kg/s]$

Entalpie výstupní páry odpovídá tlaku $p = 3,9 \text{ [MPa]}$ a teplotě $T = 450 \text{ [}^\circ\text{C]}$ →

$$i_p = 3332,5 \text{ kJ/kg}$$

Entalpie napájecí vody odpovídá tlaku $p = 4,6 \text{ [MPa]}$ a teplotě $T = 105 \text{ [}^\circ\text{C]}$ →

$$i_{nv} = 443,59 \text{ kJ/kg}$$

2.3 Množství paliva přivedeného do kotle

$$M_p = \frac{Q_v}{Q_p^p \cdot \frac{\eta_k}{100}} = \frac{80247,5}{34340 \cdot \frac{94,19}{100}} = 2,48 \text{ kg/s} \quad (2.3a)$$

Skutečné množství spáleného paliva

$$M_{pv} = M_p \cdot \left(1 - \frac{z_c}{100}\right) = 2,4806 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 2,4806 \text{ kg} / \text{s} \quad (2.3b)$$

z_c – ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích

2.4 Návrh spalovací komory

Minimální objem spalovací komory

Objemové zatížení ohniště při spalování plynu vychází z tabulky 7-2 str. 67 [1] V tabulce je rozmezí hodnot pro přírodní plyn <350,465>, volím střední hodnotu $q_v = 407,5 \text{ kW} / \text{m}^3$

$$V_0 = \frac{M_p \cdot Q_p^p}{q_v} = \frac{2,48 \cdot 34340}{407,5} = 209,05 \text{ m}^3 \quad (2.4)$$

Minimální průřez spalovací komory

Průřezové zatížení ohniště pro plynná ohniště s jednou řadou hořáku vychází z tabulky 7-8 str. 70. V tabulce je rozmezí hodnot <2,9-3,5>, volím střední hodnotu $q_f = 3,2 \text{ MW} / \text{m}^2$

$$f = \frac{M_p \cdot Q_i^r}{q_f} = \frac{2,48 \cdot 34430}{3200} = 26,622 \text{ m}^2 \quad (2.4)$$

3. VÝPOČET VELIKOSTI STĚN SPALOVACÍ KOMORY

Přední stěna

$$S_{\text{trojuh}} = \frac{a_a \cdot a_b}{2} = \frac{2 \cdot 1,4}{2} = 1,4 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{hoř}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n = \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot 2 = 2,26 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{Přední}} = (A \cdot v) - S_{\text{trojuh}} - S_{\text{hoř}} = (6,8 \cdot 12,8) - 1,4 - 2,26 = 83,38 \text{ m}^2$$

Zadní stěna

$$S_{\text{trojuh}} = \frac{a_a \cdot a_b}{2} = \frac{2 \cdot 1,4}{2} = 1,4 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{hoř}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n = \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot 2 = 2,26 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{Zadní}} = (A \cdot v) - S_{\text{tr}} - S_{\text{hoř}} = (6,8 \cdot 12,8) - 1,4 - 2,26 = 83,38 \text{ m}^2$$

Levá stěna

$$S_{\text{okno}} = a_{\text{okno}} \cdot b_{\text{okno}} \cdot \text{počet} = 0,45 \cdot 0,8 \cdot 2 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{Levá}} = (B \cdot v) - S_{\text{okno}} = (6,7 \cdot 12,8) - 0,72 = 85,04 \text{ m}^2$$

Pravá stěna

$$S_{\text{obd}} = B_a \cdot B = 1,4 \cdot 6,7 = 9,38 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{okno}} = a_{\text{okno}} \cdot b_{\text{okno}} \cdot \text{počet} = 0,45 \cdot 0,8 \cdot 2 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{Pravá}} = (B \cdot v) - S_{\text{obd}} - S_{\text{okno}} = (6,7 \cdot 12,8) - 9,38 - 0,72 = 75,66 \text{ m}^2$$

Horní plocha

$$S_{\text{Horní}} = (A \cdot B) - (A_a \cdot B) = (6,8 \cdot 6,7) - (2 \cdot 6,7) = 32,16 \text{ m}^2$$

Rošt ohniště

$$S_{\text{Roštu}} = S_{R1} + S_{R2} + S_{R3} + S_{R4} = 11,57 + 11,57 + 18,56 + 18,56 = 60,26 \text{ m}^2$$

Celkový povrch stěn ohniště

$$F_{st} = \sum F_i = 83,38 + 83,38 + 85,04 + 75,66 + 32,16 + 60,26 = 419,88 \text{ m}^2$$

Objem spalovací komory

$$V_0 = 209,05 \text{ m}^3$$

Účinná sálavá plocha stěn ohniště

$$F_{ús} = \sum F_{st} \cdot x = 419,88 \cdot 1 = 419,88 \text{ m}^2$$

4. TEPELNÝ VÝPOČET OHNIŠTĚ

Součinitel M

$$M = 0,54 - 0,2x_o = 0,54 - 0,2 \cdot 0,312 = 0,47 \quad (4a)$$

$$x_o = \frac{h_h}{h_c} = \frac{4,43}{14,2} = 0,312 \quad (4b)$$

-hodnoty h_h a h_c jsou odečtené z výkresu

Pro uspořádání ohniště s membránovými stěnami s trubkami holými a hladkými.

-úhlový součinitel trubkové stěny pro $x = 1$

-součinitel zanešení stěn ohniště $\varepsilon = 0,65$

Součinitel tepelné efektivity stěn

$$\psi = \varepsilon \cdot x = 1 \cdot 0,65 = 0,65 \quad (4c)$$

Součinitel uchování tepla

$$\varphi = 1 - \frac{z_{so}}{\eta_k + z_{so}} = 1 - \frac{0,65}{94,19 + 0,65} = 0,993 \quad (4d)$$

Teplo přivedené do spalovací komory se spalovacím vzduchem

$$Q_{vzd} = O_{vzd} \cdot I_{vzd} = 10,68 \cdot 40,29 = 430,3 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (4e)$$

$$I_{vz} = c \cdot t = 1,343 \cdot 30 = 40,29 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (4f)$$

4.1 Užitečné teplo uvolněné v ohništi

$$I_U = Q_p \cdot \frac{100 - z_{co}}{100} + Q_{vzd} = 34340 \cdot \frac{100 - 0,5}{100} + 430,5 = 34378,86 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (4.1)$$

této entalpii odpovídá teplota $\vartheta_a = 1774^\circ\text{C}$

Střední celkové měrné teplo spalín

$$\overline{O_{sp} \cdot c} = \frac{I_U - I_0}{g_a - g_0} = \frac{34378,86 - 19962,44}{1774,34 - 1005} = 18,73 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K} \quad (4.1a)$$

4.2 Boltzmanovo číslo

$$B_o = \frac{\varphi \cdot M_{pv} \cdot \overline{O_{sp} \cdot c}}{5,7 \cdot 10^{-11} \cdot \psi \cdot F_{sten} \cdot T_a^3} = \frac{0,993 \cdot 2,4806 \cdot 18,73}{5,7 \cdot 10^{-11} \cdot 0,65 \cdot 419,88 \cdot 1005^3} = 0,532 \quad (4.2)$$

Účinná tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 3,6 \cdot \frac{V_o}{F_{st}} = 3,6 \cdot \frac{209,03}{419,88} = 1,79 \text{ m} \quad (4.3)$$

parciální tlak tříatomových plynů

$$p_{sp} = p \cdot r_{sp} = 0,1 \cdot 0,296 = 0,0296 \quad (4.4)$$

- pro spalování plynu je součinitel charakterizující podíl objemu ohniště zaplněného svítivou částí plamene 0,1 Mpa

Součinitel zeslabení sálání nesvítivými tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) \quad (4.5)$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2045}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 1,79}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{1278}{1000} \right) = 6,86 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{MPa}}$$

Součinitel zeslabení sálání nesvítivými tříatomovými plyny

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp}$$

$$k = 6,86 \cdot 0,296 = 2,02 \text{ m}^{-1} \cdot \text{Mpa}^{-1} \quad (4.6)$$

Stupeň černosti nesvítivé části plamene

$$a_{NS} = 1 - e^{-k_{NS} \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-2,02 \cdot 0,1 \cdot 1,79} = 0,658 \quad (4.7)$$

Součinitel zeslabení sálání svítivé části plamene

$$(4.8)$$

$$\frac{C^r}{H^r} = 0,12 \sum \frac{x}{y} \cdot C_x \cdot H_n =$$

$$\frac{C^r}{H^r} = 0,12 \cdot \sum \frac{4}{2} \cdot 96,7 + \frac{6}{2} \cdot 1,43 + \frac{8}{2} \cdot 0,43 + \frac{10}{2} \cdot 0,13 + \frac{12}{2} \cdot 0,03 = 2,986$$

(4.9)

$$k_C = 0,3 \cdot (2 - \alpha) \left(1,6 \cdot \frac{T_o}{1000} - 0,5 \right) \cdot \frac{C^r}{H^r} =$$

$$k_C = 0,3 \cdot (2 - 1,08) \left(1,6 \cdot \frac{1005 + 273,15}{1000} - 0,5 \right) \cdot 2,98529 = 1,401$$

Součinitel zeslabení sálání svítivé části plamene

(4.10)

$$k_{SV} = k_{sp} \cdot r_{sp} + k_C = 6,86 \cdot 0,296 + 1,401 = 3,43 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

Stupeň černosti svítivé části plamene

(4.11)

$$a_{SV} = 1 - e^{-k_{sv} \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-3,43 \cdot 0,1 \cdot 1,79} = 0,65$$

Efektivní stupeň černosti plamene

(4.12)

$$a_{pl} = m \cdot a_{SV} + (1 - m) \cdot a_{NS} = 0,1 \cdot 0,65 + (1 - 0,1) \cdot 0,45 = 0,63$$

Stupeň černosti ohniště

$$a_o = \frac{a_{pl}}{a_{pl} + (1 - a_{pl}) \cdot \bar{\psi}} = \frac{0,63}{0,63 + (1 - 0,63) \cdot 0,65} = 0,7 \quad (4.13)$$

4.3 Výpočet teploty spalin na konci ohniště

$$\vartheta_0 = \frac{\vartheta_a + 273,15}{1 + M \cdot \left(\frac{a_o}{B_o} \right)^{0,6}} - 273,15 = \frac{1774,34 + 273,15}{1 + 0,4776 \cdot \left(\frac{0,7884}{0,5323} \right)^{0,6}} - 273,15 = 1003^\circ C \quad (4.3.1)$$

tomu odpovídající entalpie

$$I_0 = 19\,915,42 \text{ kJ/m}^3$$

Volená entalpie na konci ohniště

-výpočet se opakuje do té doby, než se vypočtená teplota spalin na výstupu z ohniště liší od předem zvolené teploty o $\pm 20^\circ C$

$$\vartheta_0 = 1005^\circ C \Rightarrow \text{což odpovídá entalpii} \rightarrow 19\,962,44 \text{ kJ / kg}$$

Bilance (4.3.2)

$$\vartheta_{voleno} - \vartheta_0 = 1005 - 1003 = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vyhovuje povolenému rozdílu $\pm 20^\circ\text{C}$

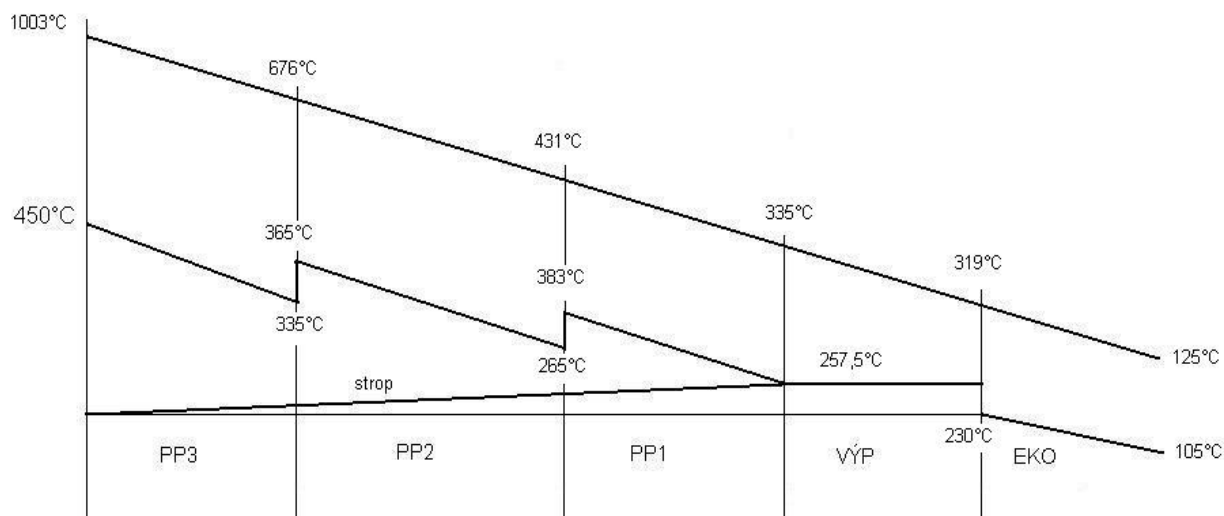
Teplo odevzdané v ohništi

$$Q_s = \varphi \cdot (I_U - I_0) = 0,993 \cdot (34378,86 - 19915,42) = 14365 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (4.3.3)$$

Střední tepelné zatížení stěn ohniště

$$\bar{q} = \frac{M_{pv} \cdot Q_s}{F_{us}} = \frac{2,4806 \cdot 14365,85}{419,88} = 84,86 \text{ kW} / \text{m}^3 \quad (4.3.4)$$

5. BILANČNÍ VÝPOČET TEPLISMĚNNÝCH PLOCH ZE STRANY PRACOVNÍHO MÉDIA



Obrázek 1. Pilový diagram

Rozvržení tepelného výkonu kotle na výhřevné plochy

5.1 Tlak napájecí vody

-podle tohoto tlaku se pak vhodně volí napájecí čerpadlo

$$p_{c\,nv} = \Delta p_{EKO} + \Delta p_{vyp} + \Delta p_I + \Delta p_{II} + \Delta p_{III} = 0,1 + 0 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 0,7 \text{ Mpa} \quad (5.1)$$

5.2 Ohřívák vody (ekonomizér-EKO):

Tlak vody na výstupu z EKA $p_{eko\,výst} = 4,6 \text{ Mpa}$,
 Tlak vody na vstupu do EKA $p_{eko\,vst} = 4,5 \text{ MPa}$

Nedohřev vody je v ekonomizéru volen $\Delta t = 27,1^\circ\text{C}$

Teplota vody na vstupu do EKA $t_{eko\,vst} = 105^\circ\text{C}$
 -tomu odpovídající entalpie $i_{eko\,vst} = 443,52 \text{ kJ/kg}$

Teplota vody na výstupu z EKA $t_{eko\,výst} = 230,4^\circ\text{C}$
 -tomu odpovídající entalpie $i_{eko\,výst} = 992 \text{ kJ/kg}$

Teplo potřebné pro ohříváky vody (5.2)

$$Q_{EKO} = (M_{pp} - M_{vsII} - M_{vsI}) \cdot (i_{vys} - i_{nv}) = (27,77 - 0,777 - 0,667) \cdot (992 - 443,52) = 14407 kW$$

5.3 Výparník:

Tlak páry na výstupu z VÝP $p_{vyp\ v\ yst} = 4,5 \text{ Mpa},$
 Tlak vody na vstupu do VÝP $p_{vyp\ v\ yst} = 4,5 \text{ Mpa}$

Teplota napájecí vody na vstupu do VÝP $t_{vyp\ v\ st} = 230,4^\circ \text{C}$
 -tomu odpovídající entalpie $i_{vyp\ v\ st} = 992 \text{ kJ/kg}$

Teplota páry na výstupu z VÝP $t_{vyp\ v\ yst} = 257,5^\circ \text{C}$
 -tomu odpovídající entalpie $i_{vyp\ v\ yst} = 2798,2 \text{ kJ/kg}$

Teplo spotřebované výparníky (5.3a)

$$Q_{VYP} = (M_{pp} - M_{vsII} - M_{vsI}) \cdot (i_{vys} - i_{nv}) = (27,77 - 0,722 - 0,8056) \cdot (2798,2 - 992) = 47414,87 kW$$

Teplo ~ okolo ohniště

$$Q_{sk} = M_{pv} \cdot (I_U - I_0) = 2,4806 \cdot (34378,86 - 19915,42) = 35877,34 kW \quad (5.3b)$$

Skutečné teplo ~ teplo (výkon) ze všech počítaných ploch výparníku (membrán)

$$Q_{vyp} = Q_{vyp} - Q_{sk} = 47414,87 - 35877,34 = 11537,52 kW \quad (5.3c)$$

5.4 Přehřívák PP3:

Tlak páry na výstupu z PP3 $p_{pp3\ v\ yst} = 3,9 \text{ Mpa},$
 Tlak páry na vstupu do PP3 $p_{pp3\ v\ yst} = 4,1 \text{ Mpa}$

Entalpický pokles na přehříváku 3 voleno v rozmezí hodnot 125-300 kJ/kg, já volím 280 kJ/kg

Teplota páry na výstupu z PP3 $t_{pp3\ v\ yst} = 450^\circ \text{C}$
 -tomu odp.entalpie $i_{pp3\ v\ yst} = 3332,55 \text{ kJ/kg}$

Entalpie na vstupu do PP3 $i_{pp3\ v\ st} = i_{pp3\ v\ yst} - i_{pokles} = 3332,55 - 280 = 3052,37 \text{ kJ/kg}$
 - tomu odp.teplota na vstupu do PP3 $t_{pp3\ v\ st} = 334,84^\circ \text{C}$

Teplo spotřebované PP3

$$Q_{PP3} = M_{pp} \cdot (i_{vys} - i_{vst}) = 27,77 \cdot (3332,55 - 3052,37) = 7777,77 kW \quad (5.4)$$

5.5 Přehřívák PP2:

Tlak páry na výstupu z PP2 $p_{pp2\text{ výst}} = 4,1 \text{ Mpa}$,
 Tlak páry na vstupu do PP2 $p_{pp2\text{ výst}} = 4,3 \text{ Mpa}$

Velikost prvního vstříku
 -voleno 2,9%

$$M_{vsII} = 0,029 \cdot M_{pp} = 0,028 \cdot 27,77 = 0,8053 \text{ kg / s} \quad (5.5a)$$

$$M_{pII} = M_{pp} - M_{vsII} = 27,777 - 0,8056 = 26,9722 \text{ kg / s} \quad (5.5b)$$

$$i_{pII\text{ výst}} = \frac{M_{pp} \cdot i_{pIII\text{ vs}} - M_{vsI} \cdot i_{nv}}{M_{pp} - M_{vsII}} = \frac{27,77 \cdot 3052,37 - 0,666 \cdot 443,52,45}{27,77 - 0,722} = 3131,65 \text{ kJ / kg} \quad (5.5c)$$

- této entalpii odpovídá teplota $365,4^\circ\text{C} \sim$ Teplota na výstupu z PP2

Entalpický pokles na přehříváku 2 voleno v rozmezí hodnot 125-300kJ/kg, já volím 290 kJ/kg

Entalpie na vstupu do PP2 $i_{pp2\text{ vst}} = i_{pII\text{ výst}} - i_{\text{pokles}} = 3131,65 - 290 = 2841,654 \text{ kJ/kg}$
 - tomu odpovídá teplota $t_{pp2\text{ vst}} = 265^\circ\text{C}$

Teplo spotřebované PP2

$$Q_{PP2} = M_{pp} \cdot (i_{\text{výst}} - i_{\text{vst}}) = 26,9722 \cdot (3132,65 - 2841,65) = 7821 \text{ kW} \quad (5.5d)$$

5.6 Přehřívák PP1:

Tlak páry na výstupu z PP1 $p_{pp1\text{ výst}} = 4,3 \text{ Mpa}$,
 Tlak páry na vstupu do PP1 $p_{pp1\text{ výst}} = 4,5 \text{ Mpa}$

Velikost druhého vstříku
 -voleno 2,6%

$$M_{vsII} = 0,026 \cdot M_{pp} = 0,026 \cdot 27,77 = 0,7222 \text{ kg / s} \quad (5.6a)$$

$$M_{pII} = M_{pp} - M_{vsII} = 27 - 0,722 = 26,25 \text{ kg / s} \quad (5.6b)$$

$$i_{pII\text{ výst}} = \frac{M_{pII} \cdot i_{pII\text{ výst}} - M_{vsII} \cdot i_{nv}}{M_{pI}} = \frac{26,972 \cdot 2841,65 - 0,8056 \cdot 443,52}{27,77 - 0,8056 - 0,722} = 2906,22 \text{ kJ / kg} \quad (5.6c)$$

- této entalpii odpovídá teplota $282,5^\circ\text{C} \sim$ Teplota na výstupu z PP1

Entalpický pokles na přehříváku 2 voleno v rozmezí hodnot 125-300kJ/kg, já volím 290 kJ/kg

Entalpie na vstupu do PP1 $i_{pp2\ vst} = i_{pll\ výst} - i_{pokles} = 2906,22 - 290 = 2616,22 \text{ kJ/kg}$
 - tomu odpovídá teplota $t_{pp2\ vst} = 257,5^\circ \text{C}$

Teplo spotřebované PP1

$$Q_{PP1} = M_{pl} \cdot (i_{vys} - i_{vst}) = 26,25 \cdot (2906,22 - 2616,22) = 7612,5 \text{ kW} \quad (5.6d)$$

5.7 Celkové potřebné teplo:

$$Q_C = Q_{pIII} + Q_{pII} + Q_{pI} + Q_{výp} + Q_{EKO} =$$

$$Q_C = 7777,7 + 7821,9 + 7612,5 + 47414,8 + 14407,9 = 85035 \text{ kW} \quad (5.7)$$

6. VÝPOČET DÍLČÍCH VÝKONŮ

Část 1

-tento prostor je složen

- z 8mi desek, z toho jsou 4 vstupní (vnitřní) a 4 výstupní (2a2 okolo)
- stropu
- membránové stěny (výparníku)

6.1 Přehřívák PP2 –deskový – šotový - vstupní

Rozměry z výkresu

- vždy jsou brány pro ten daný úsek který počítám

šířka tahu	$A = 4,4 \text{ m}$
hloubka tahu	$B = 6,7 \text{ m}$
výška tahu	$C = 7,2 \text{ m}$
průměr trubek	$\varnothing d = 0,038 \text{ m}$
tl. stěny trubky	$tl = 0,0045 \text{ m}$
počet trubek	$n_{tr} = 16$
počet desek	$z = 4$

Teplota média	vstup	$t_{m1} = 265,08^\circ \text{C}$
voleno	výstup	$t_{m1} = 345^\circ \text{C}$

Teplota spalin	vstupní	$t_1 = 1003^\circ \text{C}$	~ entalpie $I_{sp1} = 19915,42 \text{ kJ/m}^3$
volená	výstupní	$t_2 = 676^\circ \text{C}$	~ entalpie $I_{sp2} = 12787,03 \text{ kJ/m}^3$

Bilanční teplo spalín předané v této výpočtové části (stejně pro všechny)

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (19915,42 - 12787,03) = 7080,28 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (6.1a)$$

Střední teplota proudu spalín

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1003 + 676}{2} = 839,5^\circ\text{C} \quad (6.1b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = n_d \cdot S_1 \cdot x = 4 \cdot 34,84 \cdot 0,57 = 79,43 \text{ m}^2 \quad (6.1c)$$

x = úhlový součinitel desek = 0,57

Plocha jedné desky ~ povrch 16ti trubek

$$S_1 = 34,84 \text{ m}^2 \quad (6.1d)$$

Světlý průřez spalín

$$F_{sp} = A \cdot B - z \cdot l \cdot d = 4,4 \cdot 6,7 - 8 \cdot 4,4 \cdot 0,038 = 28,14 \text{ m}^2 \quad (6.1e)$$

Rychlost proudění spalín v kanále

$$W_{sp} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{28,14} \cdot \frac{273 + 839,5}{273} = 4,02 \text{ m} / \text{s} \quad (6.1f)$$

6.1.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí - pro příčné proudění spalín okolo trubek

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot c_z \cdot c_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{w_d \cdot d}{\nu} \right)^{0,65} \cdot \text{Pr}^{0,33} = \quad (6.1.1)$$

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot 0,935 \cdot 1 \cdot \frac{0,089}{0,038} \cdot \left(\frac{4,02 \cdot 0,038}{0,00001355} \right) \cdot 0,5761^{0,33} = 157,238 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$$

kde

$$\lambda = 0,089, \nu = 0,00001355, \text{Pr} = 0,5761 \quad [2]$$

$$z [1] \text{ str. } 125 \quad c_z = 0,935, c_s = 1$$

6.1.2 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{d_e} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm = \quad (6.1.2)$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,0439}{0,029} \cdot \left(\frac{36,57 \cdot 0,029}{0,00002031} \right)^{0,8} \cdot 1,023^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 209,03 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$$

kde

$$\lambda = 0,0439, \nu = 0,00002031, Pr = 1,023, ct = 1, cl = 1, cm = 1 \quad [2]$$

rychlost páry v trubkách

$$w_{trub} = \frac{M_{pp} \cdot \nu}{f} = \frac{27,0,0572}{0,0423} = 36,57 \text{ m / s} \quad (6.1.2a)$$

6.1.3 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot de}{\nu} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{0,08902}{5,07} \cdot \left(\frac{4,02,5,07}{0,00001355} \right)^{0,8} \cdot 0,5761^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 28,34 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (6.1.3)$$

kde [2]

součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,08902$

součinitel kinematické viskozity $\nu = 0,00001355$

Prandtlovo číslo spalin $Pr = 0,5761$

$ct = 1, cl = 1, cm = 1$

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F / O = 5,07 \text{ m}$

- světlý průřez kanálu $F = 28,14 \text{ m}^2$

- obvod kanálu $O = 22,2 \text{ m}$

6.1.4 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru podélně

$$\alpha_2 = c_d \cdot \alpha_N = 1,02 \cdot 1170 = 1193,4 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (6.1.4)$$

6.1.5 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,2357 \cdot (1003 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{603,19}{1003 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{603,19}{1003 + 273,15} \right)} = 44,44 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (6.1.5)$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště (6.1.5a)

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-3,44 \cdot 0,1 \cdot 0,7806} = 0,2357$$

tlak v ohništi $p = 0,1$ MPa

součinitel zeslabení sálání (6.1.5b)

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 11,64 \cdot 0,2957 = 3,4431 / m \cdot MPa$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny (6.1.5c)

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 0,7806}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1003 + 273,15}{1000} \right) = 11,64 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

parciální tlak $p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296$ MPa (6.1.5d)

efektivní tloušťka sálavé vrstvy (6.1.5e)

$$s = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 \cdot s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,038 \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,7017 \cdot 0,038}{0,038^2} - 1 \right) = 0,7806 m$$

kde

průměr tr. $d = 0,038 m$

příčná rozteč $s_1 = 0,7107$

podélná rozteč $s_2 = 0,038$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{\text{střední}} + \Delta t + 273,15 = 305,04 + 25 + 273,15 = 603,19 K \quad (6.1.5f)$$

Součinitel prostupu tepla

- pro příčné proudění spalin v deskách

$$k_{př} = \psi \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1,př}} + \frac{1}{\alpha_2}} = 0,94 \frac{1}{\frac{1}{157,23} + \frac{1}{209,03}} = 84,35 W / m^2 K \quad (6.1.5g)$$

součinitel tepelné efektivnosti $\psi = 0,94$

- pro podélné proudění spalin v deskách

$$k_{po} = \psi \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1,po}} + \frac{1}{\alpha_{2,po}}} = 0,94 \frac{1}{\frac{1}{28,34} + \frac{1}{1193,4}} = 26,026 W / m^2 K \quad (6.1.5h)$$

6.1.6 Výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \frac{k_{př} \cdot S_{př} + k_{po} \cdot S_{po}}{S_{př} + S_{po}} = \frac{84,35 \cdot 71,67 + 26,026 \cdot 26,022}{71,67 + 26,022} = 68,81 W / m^2 K \quad (6.1.5i)$$

kde

celková plocha desek obtékaná příčně $S_{př} = 71,67 m^2$

celková plocha desek obtékaná podélně $S_{po} = 26,02 m^2$

6.1.7 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{658 - 410,9}{\ln \frac{658}{410,9}} = 524,79^\circ C \quad (6.1.7)$$

kde

$$\Delta t_1 = 1003 - 345 = 658^\circ C$$

$$\Delta t_{21} = 676 - 265,08 = 410,9^\circ C$$

6.1.8 Teplo odebrané spalinám na ploše deskovým vstupním přehřívákem DP_{vst}

$$Q_{DP_{vstupni}} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{68,81 \cdot 524,79 \cdot 79,43}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 1156,55 kJ / kg \quad (6.1.8)$$

6.2 Přehřívák PP2 –deskový – šotový - výstupní

Rozměry z výkresu

šířka tahu	$A = 4,4 \text{ m}$
hloubka tahu	$B = 6,7 \text{ m}$
výška tahu	$C = 7,2 \text{ m}$
průměr trubek	$\varnothing d = 0,038 \text{ m}$
tl. stěny trubky	$t_l = 0,005 \text{ m}$
počet trubek	$n_{tr} = 19$
počet desek	$z = 4$

Teplota média	vstup	$t_{m1} = 345 \text{ °C}$
voleno	výstup	$t_{m1} = 365,4 \text{ °C}$

Teplota spalin	vstupní	$t_1 = 1003 \text{ °C}$	~ entalpie	$I_{sp1} = 19915,42 \text{ kJ/m}^3$
volená	výstupní	$t_2 = 676 \text{ °C}$	~ entalpie	$I_{sp2} = 12787,03 \text{ kJ/m}^3$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (19915,42 - 12787,03) = 7080,28 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (6.2a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1003 + 676}{2} = 839,5 \text{ °C} \quad (6.2b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = n_d \cdot S_1 \cdot x = 4 \cdot 41,65 \cdot 0,57 = 94,97 \text{ m}^2 \quad (6.2c)$$

 $x = \text{úhlový součinitel desek} = 0,57$

Plocha jedné desky ~ povrch 19ti trubek

$$S_1 = 41,65 \text{ m}^2$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = A \cdot B - z \cdot l \cdot d = 4,4 \cdot 6,7 - 8 \cdot 4,4 \cdot 0,038 = 28,14 \text{ m}^2 \quad (6.2d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{sp} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{28,14} \cdot \frac{273 + 839,5}{273} = 4,02 \text{ m} / \text{s} \quad (6.2e)$$

6.2.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí - pro příčné proudění spalín okolo trubek

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot c_z \cdot c_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{w_d \cdot d}{\nu} \right)^{0,65} \cdot \text{Pr}^{0,33} = \quad (6.2.1)$$

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot 0,985 \cdot 1 \cdot \frac{0,089}{0,038} \cdot \left(\frac{4,02 \cdot 0,038}{0,00001355} \right) \cdot 0,576^{0,33} = 165,64 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

kde

$$\lambda = 0,089, \nu = 0,00001355, \text{Pr} = 0,5761$$

$$z [1] \text{ str. 125 } c_z = 0,985, c_s = 1$$

6.2.2 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot de}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm = \quad (6.2.2)$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,0467}{0,028} \cdot \left(\frac{43,23 \cdot 0,028}{0,00002147} \right)^{0,8} \cdot 1,016^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 243,1 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

kde

$$\lambda = 0,0467, \nu = 0,00002147, \text{Pr} = 1,0016, ct = 1, cl = 1, cm = 1$$

rychlost páry v trubkách

$$w_{trub} = \frac{M_{pp} \cdot \nu}{f} = \frac{27,0,0646}{0,0403} = 43,23 \text{ m / s} \quad (6.2.2a)$$

6.2.3 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot de}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm = \quad (6.2.3)$$

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{0,08902}{5,07} \cdot \left(\frac{4,02 \cdot 5,07}{0,00001355} \right)^{0,8} \cdot 0,5761^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 28,34 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

kde

$$\lambda = 0,08902, \nu = 0,00001355, \text{Pr} = 0,5761, ct = 1, cl = 1, cm = 1$$

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F / O = 5,07 \text{ m}$ - světlý průřez kanálu $F = 28,14 \text{ m}^2$ - obvod kanálu $O = 22,2 \text{ m}$

6.2.4 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru podélně

$$\alpha_2 = c_d \cdot \alpha_N = 1 \cdot 1170 = 1170 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (6.2.4)$$

 α_N z grafu

6.2.5 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} = \quad (6.2.5)$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,2357 \cdot (1003 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{653,35}{1003 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{653,35}{1003 + 273,15} \right)} = 46,85 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$ stupeň černosti ohniště (6.2.5a)

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-3,44 \cdot 0,1 \cdot 0,7806} = 0,2357$$

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ MPa}$ součinitel zeslabení sálání (6.2.5b)

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 11,64 \cdot 0,2957 = 3,44 \text{ 1} / \text{m} \cdot \text{MPa}$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny (6.2.5c)

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 0,7806}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1003 + 273,15}{1000} \right) = 11,64 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{MPa}}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

parciální tlak $p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ MPa}$ (6.2.5d)

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

(6.2.5e)

$$s = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 \cdot s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,038 \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,7017 \cdot 0,038}{0,038^2} - 1 \right) = 0,7806m$$

kde

průměr tr. $d = 0,038m$ příčná rozteč $s_1 = 0,7107$ podélná rozteč $s_2 = 0,038$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{\text{střední}} + \Delta t + 273,15 = 355,2 + 25 + 273,15 = 653,35K \quad (6.2.5f)$$

Součinitel prostupu tepla

- pro příčné proudění spalin v deskách

$$k_{př} = \psi \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1,př}} + \frac{1}{\alpha_2}} = 0,94 \frac{1}{\frac{1}{165,64} + \frac{1}{243,1}} = 92,6W / m^2K \quad (6.2.5g)$$

- pro podélné proudění spalin v deskách

$$k_{po} = \psi \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1,po}} + \frac{1}{\alpha_{2,po}}} = 0,94 \frac{1}{\frac{1}{28,34} + \frac{1}{1170}} = 26,01W / m^2K \quad (6.2.5h)$$

6.2.7 Výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \frac{k_{př} \cdot S_{př} + k_{po} \cdot S_{po}}{S_{př} + S_{po}} = \frac{92,6 \cdot 84,07 + 26,01 \cdot 29,45}{84,07 + 29,45} = 75,32W / m^2K \quad (6.2.7)$$

kde

celková plocha desek obtékaná příčně $S_{př} = 84,07 m^2$ celková plocha desek obtékaná podélně $S_{po} = 29,45 m^2$

6.2.8 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{637,6 - 331}{\ln \frac{637,6}{331}} = 467,66^\circ C \quad (6.2.8)$$

kde

$$\Delta t_1 = 637,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 331^\circ\text{C}$$

6.2.9 Teplo odebrané spalinám na ploše deskovým vstupním přehřívákem DP_{vst}

$$Q_{DP_{\text{vstupní}}} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{75,32 \cdot 467,66 \cdot 94,97}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 1348,89 \text{ kJ} / \text{kg} \quad (6.2.9)$$

6.3. Strop - nad DP

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 4 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
délka trubek	C = 4 m
průměr trubek	Ød = 0,038 m

tl. stěny trubky	tl = 0,0036 m
počet paralelně zapojených trubek	n _{tr} = 86

Teplota média	vstup	t _{m1} = 252 °C
voleno	výstup	t _{m1} = 253 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 1003 °C	~ entalpie	I _{sp1} = 19915,42 kJ/m ³
volená	výstupní	t ₂ = 676 °C	~ entalpie	I _{sp2} = 12787,03 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (19915,42 - 12787,03) = 7080,28 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (6.3a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1003 + 676}{2} = 839,5^\circ\text{C} \quad (6.3b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = 3,14 \cdot d \cdot l \cdot n = 3,14 \cdot 0,038 \cdot 4 \cdot 86 = 41,046 \text{ m}^2 \quad (6.3c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = A \cdot B - z \cdot l \cdot d = 4 \cdot 6,7 - 86 \cdot 4 \cdot 0,038 = 13,728 \text{ m}^2 \quad (6.3d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{13,728} \cdot \frac{273 + 839,5}{273} = 8,24 \text{ m/s} \quad (6.3e)$$

6.3.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,08902}{2,56} \cdot \left(\frac{8,24 \cdot 2,56}{0,00001355} \right)^{0,8} \cdot 0,5661^{0,4} = 57,26 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6.3.1)$$

kde

- $\lambda = 0,08902$, $\nu = 0,00001355$, $Pr = 0,5661$
 - ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F/O = 2,56 \text{ m}$
 - světlý průřez kanálu $F = 13,728 \text{ m}^2$
 - obvod kanálu $O = 21,4 \text{ m}$

6.3.2 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,2357 \cdot (1003 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{653,35}{1003 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{653,35}{1003 + 273,15} \right)} = 46,85 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6.3.2)$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-1,2103 \cdot 0,1 \cdot 0,7806} = 0,0902 \quad (6.3.2a)$$

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ Mpa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 4,09 \cdot 0,2957 = 1,2103 \text{ 1/m.MPa} \quad (6.3.2b)$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) = \quad (6.3.2c)$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 0,7806}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1003 + 273,15}{1000} \right) = 4,09 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ Mpa} \quad (6.3.2d)$$

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 \cdot s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,038 \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,7017 \cdot 0,038}{0,038^2} - 1 \right) = 0,7806 m \quad (6.3.2e)$$

kde

$$\text{průměr tr. } d = 0,038 m$$

$$\text{příčná rozteč } s_1 = 0,7107$$

$$\text{podélná rozteč } s_2 = 0,038$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 \text{ K} \quad (6.3.2f)$$

celkový součinitel přestupu tepla

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s = 57,28 + 7,98 = 65,26 \text{ W} / m^2 K \quad (6.3.2g)$$

6.3.3 Výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 65,26 = 61,35 \text{ W} / m^2 K \quad (6.3.3)$$

6.3.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{750 - 424}{\ln \frac{750}{424}} = 571,58^\circ C \quad (6.3.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 750^\circ C$$

$$\Delta t_{21} = 424^\circ C$$

6.3.5 Teplo odebrané spalinám na ploše Stropem

$$Q_{DPstrop} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{61,35.571,58.41,046}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 580,27 \text{ kJ} / \text{kg} \quad (6.3.5)$$

6.4 Membrána (výparník) - okolo šotů

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 4,5 m (55 trubek)
hloubka tahu	B = 6,7 m (83 trubek)
výška	C = 8,4 m
průměr trubek	Ød = 0,06 m
tl. stěny trubky	tl = 0,005 m
počet paralelně zapojených trubek	n _{tr} = 193

Teplota média	vstup	t _{m1} = 230,4 °C
voleno	výstup	t _{m1} = 257,5 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 1003 °C	~ entalpie I _{sp1} = 19915,42 kJ/m ³
volená	výstupní	t ₂ = 676 °C	~ entalpie I _{sp2} = 12787,03 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (19915,42 - 12787,03) = 7080,28 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (6.4a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1003 + 676}{2} = 839,5^\circ \text{C} \quad (6.4b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = S_{a1} + S_{a2} + S_b + S_c = (4,5 \cdot 8,4) + (4,5 \cdot 8,4) + (6,7 \cdot 8,4) + (6,7 \cdot 1,2) = 139,92 \text{ m}^2 \quad (6.4c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = 2 \cdot A + B - z_{1,d} + B \cdot 1 - 86 \cdot d = 2 \cdot 4,5 + 6,7 - 193 \cdot 0,06 + (6,7 \cdot 1 - 86 \cdot 0,06) = 5,6 \text{ m}^2 \quad (6.4d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{pv} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{5,6} \cdot \frac{273 + 839,5}{273} = 4,9 \text{ m} / \text{s} \quad (6.4e)$$

6.4.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,08902}{1,44} \cdot \left(\frac{4,9 \cdot 1,44}{0,00001355} \right)^{0,8} \cdot 0,5761^{0,4} = 42,73 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}$$
(6.4.1)

kde

$$\lambda = 0,08902, \nu = 0,00001355, \text{Pr} = 0,5761$$

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F / O = 1,44 \text{ m}$ - světlý průřez kanálu $F = 5,66 \text{ m}^2$ - obvod kanálu $O = 15,7 \text{ m}$

6.4.2 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,4808 \cdot (1003 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{541,65}{1003 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{541,65}{1003 + 273,15} \right)} = 84,83 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}$$
(6.4.2)

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-1,2103 \cdot 0,1 \cdot 5,41} = 0,4808$$
(6.4.2a)

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ MPa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 4,09 \cdot 0,2957 = 1,2103 \text{ 1} / \text{m} \cdot \text{MPa}$$
(6.4.2b)

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_O}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 5,41}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1003 + 273,15}{1000} \right) = 4,093 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{MPa}}$$
(6.4.2c)

objemová část tříatomových plynů ze stochiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ Mpa} \quad (6.4.2d)$$

efektivní tloušťka sálové vrstvy

$$s = 3,6 \cdot \frac{V}{F_{st}} = 3,6 \cdot \frac{212,25}{141,08} = 5,41 \text{ m}^2 \quad (6.4.2e)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 \text{ K} \quad (6.4.2f)$$

celkový součinitel přestupu tepla

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s = 42,73 + 84,83 = 127,57 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (6.4.2g)$$

6.4.3 Výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 127,57 = 119,92 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (6.4.3)$$

6.4.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{745,5 - 445,6}{\ln \frac{745,5}{445,6}} = 582,74^\circ \text{C} \quad (6.4.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 1003 - 257,5 = 745,5^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 676 - 230,4 = 445,6^\circ \text{C}$$

6.4.5 Teplo odebrané výparníkem

$$Q_{DP \text{ výparník}} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{119,92 \cdot 582,74 \cdot 139,92}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 3941,88 \text{ kJ / kg} \quad (6.4.5)$$

6.5 Celkový výkon ze všech těchto počítaných ploch

$$Q_{celkový} = Q_{DP \text{ vstupní}} + Q_{DP \text{ výstupní}} + Q_{DP \text{ strop}} + Q_{DP \text{ výparník}} \quad (6.5)$$

$$Q_{celkový} = 1156,55 + 1348,89 + 580,27 + 3941,88 = 7027,59 \text{ kJ / m}^3$$

Bilanční teplo spalín předané v této části

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (19915,42 - 12787,03) = 7080,28 \text{ kJ / m}^3$$

6.5.1 Odchylka celkové bilance v této části

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q_c}{Q_b} \cdot 100 = \frac{7080,28 - 7027,62}{7080,28} \cdot 100 = 0,74\% \quad (6.5.1)$$

→ vyhovuje předepsané odchylce $\pm 2\%$

6.6 Výpočet doplňkové plochy výparníku

- tato plocha se nachází pod výstupkem zasahující do spalovací komory
- výkon této plochy se přičítá k celkovému výkonu výparníku

Výparník - výstupek

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 1,8 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
výška	C = 1 m
zešíkmená část	E = 2 m
průměr trubek	Ød = 0,06 m
tl. stěny trubky	tl = 0,005 m
počet paralelně zapojených trubek	n _{tr} = 114

Teplota média	vstup	t _{m1} = 230,4 °C
voleno	výstup	t _{m1} = 257,5 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 1003 °C	~ entalpie	I _{sp1} = 19915,42 kJ/m ³
volená	výstupní	t ₂ = 676 °C	~ entalpie	I _{sp2} = 12787,03 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (19915,42 - 12787,03) = 7080,28 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (6.6a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1003 + 676}{2} = 839,5^\circ\text{C} \quad (6.6b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = (1,8 \cdot 1)/2 + 1,8 / 2 + 2 \cdot 6,7 = 15,2 \text{ m}^2 \quad (6.6c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = (E+B) \cdot 2 \cdot (n_{tr\,sikmy} \cdot d) + (A \cdot C) - (2 \cdot n_{tr} \cdot d)$$

$$F_{sp} = (2+6,7) \cdot 2 \cdot (86,0,06) + (1,8 \cdot 1) - (2 \cdot 14 \cdot 0,06) = 12,36 \text{ m}^2 \quad (6.6d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273+t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{12,36} \cdot \frac{273+839,5}{273} = 2,24 \text{ m/s} \quad (6.6e)$$

Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm = \quad (6.6f)$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,08902}{6,5} \cdot \left(\frac{2,24 \cdot 6,5}{0,00001355} \right)^{0,8} \cdot 0,5761^{0,4} = 16,92 \text{ W/m}^2\text{K}$$

kde

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F/O = 6,505 \text{ m}$
- světlý průřez kanálu $F = 12,36 \text{ m}^2$
- obvod kanálu $O = 7,6 \text{ m}$

Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} = \quad (6.6g)$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,4808 \cdot (1003 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{541,65}{1003 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{541,65}{1003 + 273,15} \right)} = 84,83 \text{ W/m}^2\text{K}$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-1,2103 \cdot 0,1 \cdot 5,41} = 0,3416 \quad (6.6h)$$

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ Mpa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 9,89 \cdot 0,2957 = 2,9269 \text{ 1/m.MPa} \quad (6.6i)$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) = \quad (6.6j)$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 1,42}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1003 + 273,15}{1000} \right) = 9,89 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ MPa} \quad (6.6k)$$

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 3,6 \cdot \frac{V}{F_{st}} = 3,6 \cdot \frac{6,03}{15,2} = 1,428 m^2 \quad (6.6m)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 \text{ K} \quad (6.6n)$$

celkový součinitel přestupu tepla – uvažuji jen podélné+sálavé

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s = 16,92 + 60,27 = 77,20 W / m^2 K \quad (6.6o)$$

součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94.77,2 = 72,57 W / m^2 K \quad (6.6p)$$

střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{745,5 - 445,6}{\ln \frac{745,5}{445,6}} = 582,74^\circ C \quad (6.6q)$$

kde

$$\Delta t_1 = 745,5^\circ C$$

$$\Delta t_{21} = 445,6^\circ C$$

Teplo odebrané výparníkem

$$Q_{dopl.výparník} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{72,57 \cdot 582,74 \cdot 15,2}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 259,14 kJ / kg \quad (6.6r)$$

7. VÝPOČET DÍLČÍCH VÝKONŮ

Část 2

-tento prostor je složen

- z hladkých trubek (PP3)
- stropu
- membránové stěny (výparníku)

7.1 Přehřívák PP3

Rozměry z výkresu

šířka tahu	$A = 2 \text{ m}$
hloubka tahu	$B = 6,7 \text{ m}$
střední výška tahu	$C = 5,1 \text{ m}$
průměr trubek	$\varnothing d = 0,032 \text{ m}$
tl. stěny trubky	$tl = 0,0056 \text{ m}$
počet trubek v řadě	$z_1 = 2$
počet řad	$z_2 = 87$

Teplota média	vstup	$t_{m1} = 334,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
voleno	výstup	$t_{m1} = 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplota spalin	vstupní	$t_1 = 676 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\sim$ entalpie $I_{sp1} = 12787,03 \text{ kJ/m}^3$
volená	výstupní	$t_2 = 431 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\sim$ entalpie $I_{sp2} = 7853,1 \text{ kJ/m}^3$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (12787,03 - 7853,1) = 4909,71 \text{ kJ/m}^3 \quad (7.1a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{676 + 431}{2} = 553,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (7.1b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = S_{1hada} \cdot z_1 \cdot z_2 = 2,642 \cdot 2 \cdot 87 = 459,81 \text{ m}^2 \quad (7.1c)$$

Plocha jedné trubky

$$S_{1hada} = \pi \cdot d_1 \cdot l_{tr} = 3,14 \cdot 0,038 \cdot 26,3 = 2,642 \text{ m}^2 \quad (7.1d)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = B.C - z1.d.l_{stř} = 6,75,1 - 87.0,032.3,8833 = 23,358 \text{ m}^2 \quad (7.1e)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273+t}{273} = \frac{2,4806.11,2}{23,358} \cdot \frac{273+553,5}{273} = 3,6 \text{ m/s} \quad (7.1f)$$

7.1.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny příčně

$$\alpha_{k1} = 0,2.c_z.c_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{w_d \cdot d}{\nu} \right)^{0,65} \cdot Pr^{0,33} =$$

$$\alpha_{k1} = 0,2.0,96.1 \cdot \frac{0,06637}{0,032} \cdot \left(\frac{3,6.0,032}{0,00000836} \right)^{0,65} \cdot 0,6047^{0,33} = 165,45 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.1.1)$$

kde

$$\lambda = 0,08902, \nu = 0,00001355, Pr = 0,5661, c_z = 0,96, c_s = 1$$

7.1.2 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně

$$\alpha_{k2} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{d_e} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_{k2} = 0,023 \cdot \frac{0,0538}{0,0208} \cdot \left(\frac{62,97.0,0208}{0,0000234} \right)^{0,8} \cdot 0,9683^{0,4} \cdot 1.1.1 = 369,33 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.1.2)$$

kde

$$\lambda = 0,0538, \nu = 0,0000234, Pr = 0,9683, ct = 1, cl = 1, cm = 1$$

rychlost páry v trubkách

$$w_{trub} = \frac{M_{pp} \cdot \nu}{f} = \frac{27.7.0,0731}{0,0322} = 62,97 \text{ m/s} \quad (7.1.2a)$$

$$f = m \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot z_1 = 2 \cdot \frac{3,14.0,032^2}{4} \cdot 2 = 0,0322 \quad (7.1.2b)$$

7.1.3 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} = \quad (7.1.3)$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,4461 \cdot (676 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{690,55}{676 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{690,55}{676 + 273,15} \right)} = 48,97 W / m^2 K$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

(7.1.3a)

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-7,39 \cdot 0,1 \cdot 2,703} = 0,4461$$

tlak v ohništi $p = 0,1$ MPa

součinitel zeslabení sálání

(7.1.3b)

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 7,39 \cdot 0,2957 = 2,1856 \text{ } 1 / m \cdot MPa$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

(7.1.3c)

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_o}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 2,703}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{676 + 273,15}{1000} \right) = 7,39 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ MPa}$$

(7.1.3d)

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 3,6 \cdot \frac{V}{F_{st}} = 3,6 \cdot \frac{66,665}{88,776} = 2,703 m^2 \quad (7.1.3e)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{\text{střední}} + \Delta t + 273,15 = 392,4 + 25 + 273,15 = 690,55 \text{ K} \quad (7.1.3f)$$

součinitel přestupu tepla

$$\alpha_1 = \alpha_{k1} + \alpha_s = 165,45 + 48,97 = 214,42 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (7.1.3g)$$

$$\alpha_2 = \alpha_{k2} = 369,33 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (7.1.3h)$$

7.1.4 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \frac{\psi \cdot \alpha_1}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \frac{0,94 \cdot 214,42}{1 + \frac{214,42}{369,33}} = 127,52 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (7.1.4)$$

7.1.5 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{226 - 96,2}{\ln \frac{226}{96,2}} = 151,97^\circ \text{C} \quad (7.1.5)$$

kde

$$\Delta t_1 = 226^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 96,2^\circ \text{C}$$

7.1.6 Teplo odebrané spalínám

$$Q_{PP3} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{127,52 \cdot 151,97 \cdot 459,81}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 3592,43 \text{ kJ / kg} \quad (7.1.6)$$

7.2 Strop nad PP3

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 2 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
délka trubek	C = 2 m
průměr trubek	Ød = 0,038 m
tl. stěny trubky	tl = 0,0036 m
počet trubek v řadě	z ₁ = 86

Teplota média voleno	vstup	t _{m1} = 334,8 °C
	výstup	t _{m1} = 450 °C

Teplota spalín volená	vstupní	t ₁ = 676 °C	~ entalpie I _{sp1} = 12787,03 kJ/m ³
	výstupní	t ₂ = 431 °C	~ entalpie I _{sp2} = 7853,1 kJ/m ³

Bilanční teplo spalín

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (12787,03 - 7853,1) = 4909,71 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (7.2a)$$

Střední teplota proudu spalín

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{676 + 431}{2} = 553,5^\circ \text{C} \quad (7.2b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = 3,14 \cdot d \cdot l \cdot n = 3,14 \cdot 0,038 \cdot 2 \cdot 86 = 20,523 \text{ m}^2 \quad (7.2c)$$

Světltý průřez spalín

$$F_{sp} = A \cdot B - z \cdot l \cdot d = 2,6,7 - 86 \cdot 2 \cdot 0,038 = 6,864 \text{ m}^2 \quad (7.2d)$$

Rychlost proudění spalín v kanále

$$W_{sp} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{6,864} \cdot \frac{273 + 676}{273} = 14 \text{ m} / \text{s} \quad (7.2e)$$

7.2.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot de}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,0567}{1,5779} \cdot \left(\frac{14,1 \cdot 5779}{0,0000064} \right)^{0,8} \cdot 0,6169^{0,4} = 116,41 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K} \quad (7.2.1)$$

kde

$$\lambda = 0,0567, \nu = 0,0000064, \text{Pr} = 0,6169$$

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F / O = 1,5779 \text{ m}$

- světltý průřez kanálu $F = 6,864 \text{ m}^2$

- obvod kanálu $O = 17,4 \text{ m}$

7.2.2 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,49 \cdot (431 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{541,65}{431 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{541,65}{431 + 273,15} \right)} = 23,24 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K} \quad (7.2.2)$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-2,491 \cdot 0,1 \cdot 2,703} = 0,49 \quad (7.2.2a)$$

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ MPa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 8,424 \cdot 0,2957 = 2,491 \text{ } 1 / m \cdot MPa \quad (7.2.2b)$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 2,703}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{431 + 273,15}{1000} \right) = 8,424 \frac{1}{m \cdot MPa} \quad (7.2.2c)$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ MPa} \quad (7.2.2d)$$

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 3,6 \cdot \frac{V}{F_{st}} = 3,6 \cdot \frac{66,66}{88,77} = 2,703 \text{ m}^2 \quad (7.2.2e)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 \text{ K} \quad (7.2.2f)$$

součinitel přestupu tepla – uvažuji jen podélné+sálavé

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s = 116,41 + 23,24 = 139,65 \text{ W} / m^2 K \quad (7.2.2g)$$

7.2.4 součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 139,65 = 131,27 \text{ W} / m^2 K \quad (7.2.4)$$

7.2.5 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{553,5 - 253,5}{\ln \frac{553,5}{253,5}} = 384,17^\circ C \quad (7.2.5)$$

kde

$$\Delta t_1 = 553,5^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 253,5^\circ\text{C}$$

7.2.6 Teplo odebrané stropem nad PP3

$$Q_{strop\ pp3} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{131,27 \cdot 384,18 \cdot 20,523}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 417,26 \text{ kJ} / \text{kg} \quad (7.2.6)$$

7.3 Výparník okolo PP3 - šikmy dno – podélné proudění

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 2,8 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
střední výška	C = 5,1 m
průměr trubek	Ød = 0,06 m
tl. stěny trubky	tl = 0,005 m
počet trubek	n _{tr} = 84

Teplota média	vstup	t _{m1} = 230,4 °C
voleno	výstup	t _{m1} = 257,5 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 676 °C	~ entalpie I _{sp1} = 12787,03 kJ/m ³
volená	výstupní	t ₂ = 431 °C	~ entalpie I _{sp2} = 7853,1 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (12787,03 - 7853,1) = 4909,71 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (7.3a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{676 + 431}{2} = 553,5^\circ\text{C} \quad (7.3b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = A \cdot B = 2,8 \cdot 6,7 = 18,76 \text{ m}^2 \quad (7.3c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = A \cdot B - z1 \cdot d = 2,8 \cdot 6,7 - 84 \cdot 0,06 = 13,72 \text{ m}^2 \quad (7.3d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273+t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{13,72} \cdot \frac{273+676}{273} = 7 \text{ m/s} \quad (7.3e)$$

7.3.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{d_e} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,06637}{5,129} \cdot \left(\frac{7,5 \cdot 129}{0,00000836} \right)^{0,8} \cdot 0,6047^{0,4} = 49,5 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.3.1)$$

kde

$$\lambda = 0,06637, \nu = 0,00000836, \text{Pr} = 0,6047$$

- ekvivalentní průměr $d_e = 4 \cdot F/O = 5,129 \text{ m}$

- světlý průřez kanálu $F = 13,72 \text{ m}^2$

- obvod kanálu $O = 10,7 \text{ m}$

7.3.2 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$\alpha_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$\alpha_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,4685 \cdot (676 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{541,65}{676 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{541,65}{676 + 273,15} \right)} = 41,51 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.3.2)$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-2,3383 \cdot 0,1 \cdot 2,703} = 0,4685 \quad (7.3.2a)$$

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ Mpa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 7,908 \cdot 0,2957 = 2,338 \text{ 1/m.MPa} \quad (7.3.2b)$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) = \quad (7.3.2c)$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 2,703}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{676 + 273,15}{1000} \right) = 7,908 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ MPa} \quad (7.3.2d)$$

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 3,6 \cdot \frac{V}{F_{st}} = 3,6 \cdot \frac{66,66}{88,77} = 2,703 m^2 \quad (7.3.2e)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 K \quad (7.3.2f)$$

součinitel přestupu tepla – uvažuji jen podélné+sálavé

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s = 49,5 + 41,51 = 91 W / m^2 K \quad (7.3.2g)$$

7.3.3 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 91 = 85,55 W / m^2 K \quad (7.3.3)$$

7.3.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{553,5 - 243,95}{\ln \frac{553,5}{243,95}} = 377,82^\circ C \quad (7.3.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 553,5^\circ C$$

$$\Delta t_{21} = 243,95^\circ C$$

7.3.5 Teplo odebrané šikmým výparníkem pod PP3

$$Q_{strop\ pp3} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{85,55 \cdot 377,82 \cdot 18,76}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 244,47 kJ / kg \quad (7.3.5)$$

7.4 Výparník okolo PP3 - boky okolo PP3 – příčné proudění

Rozměry z výkresu

šířka tahu	$A = 2 \text{ m}$ (25 trubek)
hloubka tahu	$B = 6,7 \text{ m}$
střední výška	$C = 5,1 \text{ m}$
výška vlevo	$V_{\text{vlevo}} = 6 \text{ m}$
výška vpravo	$V_{\text{vpravo}} = 4,2 \text{ m}$
průměr trubek	$\varnothing d = 0,06 \text{ m}$
tl. stěny trubky	$tl = 0,005 \text{ m}$
počet trubek	$n_{\text{tr}} = 50$

Teplota média	vstup	$t_{m1} = 230,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
voleno	výstup	$t_{m1} = 257,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplota spalin	vstupní	$t_1 = 676 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\sim$ entalpie $I_{sp1} = 12787,03 \text{ kJ/m}^3$
volená	výstupní	$t_2 = 431 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\sim$ entalpie $I_{sp2} = 7853,1 \text{ kJ/m}^3$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (12787,03 - 7853,1) = 4909,71 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (7.4a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{676 + 431}{2} = 553,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (7.4b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = ((A \cdot V_{vl}) - S_{\text{troj}}) = ((2 \cdot 6) - 1,8) \cdot 2 = 20,4 \text{ m}^2 \quad (7.4c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = S - z1 \cdot d = 20,4 - 50 \cdot 0,06 = 17,4 \text{ m}^2 \quad (7.4d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{17,4} \cdot \frac{273 + 676}{273} = 5,55 \text{ m} / \text{s} \quad (7.4e)$$

7.4.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny příčně

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_k = 0,2 \cdot 1 \cdot \frac{0,06637}{6,5} \cdot \left(\frac{5,55 \cdot 6,5}{0,00000836} \right)^{0,65} \cdot 0,6047^{0,33} = 185,53 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$
(7.4.1)

kde

$$\lambda = 0,06637, \nu = 0,00000836, \text{Pr} = 0,6047$$

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F / O = 6,5 \text{ m}$ - světlý průřez kanálu $F = 17,4 \text{ m}^2$ - obvod kanálu $O = 10,7 \text{ m}$

7.4.2 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,4685 \cdot (676 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{541,65}{676 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{541,65}{676 + 273,15} \right)} = 41,51 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$
(7.4.2)

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-2,3383 \cdot 0,1 \cdot 2,703} = 0,4685$$
(7.4.2a)

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ MPa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 7,908 \cdot 0,2957 = 2,338 \text{ 1 / m} \cdot \text{MPa}$$
(7.4.2b)

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_o}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 2,703}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{676 + 273,15}{1000} \right) = 7,908 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{MPa}}$$
(7.4.2c)

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ Mpa} \quad (7.4.2d)$$

efektivní tloušťka sálové vrstvy

$$s = 3,6 \cdot \frac{V}{F_{st}} = 3,6 \cdot \frac{66,66}{88,77} = 2,703 \text{ m}^2 \quad (7.4.2e)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 \text{ K} \quad (7.4.2f)$$

součinitel přestupu tepla – uvažuji jen podélné+sálové

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s = 185,53 + 41,51 = 216,44 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (7.4.2g)$$

7.4.3 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 216,44 = 203,45 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (7.4.3)$$

7.4.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{553,5 - 243,95}{\ln \frac{553,5}{243,95}} = 377,82^\circ \text{C} \quad (7.4.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 553,5^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 243,95^\circ \text{C}$$

7.4.5 Teplo odebrané bokama

$$Q_{boky\text{výp}} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{203,45 \cdot 136,3 \cdot 20,4}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 632,16 \text{ kJ / kg} \quad (7.4.5)$$

7.5 Celkový výkon ze všech těchto počítaných ploch

$$Q_{celkový} = Q_{PP3} + Q_{Strop} + Q_{výp\text{dno}} + Q_{výp\text{boky}} \quad (7.5)$$

$$Q_{celkový} = 3592,43 + 417,26 + 244,47 + 632,16 = 4886,33 \text{ kJ / m}^3$$

Bilanční teplo spalin předané v této části

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (12787,03 - 7853,1) = 4909,71 \text{ kJ / m}^3$$

7.5.1 Odchylka celkové bilance v této části

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q_c}{Q_b} \cdot 100 = \frac{4909,71 - 4886,33}{4909,71} \cdot 100 = 0,47\% \quad (7.5.1)$$

→ vyhovuje předepsané odchylce $\pm 2 \%$

8. VÝPOČET DÍLČÍCH VÝKONŮ

Část 3

-tento prostor je složen

- z mříže na výstupu ze spalovací komory (výparník)
- membrány (výparník) na bocích
- stropu

8.1 Mříž - na výstupu ze spalovací komory – bráno jako výparník

Rozměry z výkresu

šířka tahu	$A = 1 \text{ m}$
hloubka tahu	$B = 6,7 \text{ m}$
výška tahu	$C = 3,7 \text{ m}$
průměr trubek	$\varnothing d = 0,06 \text{ m}$
tl. stěny trubky	$tl = 0,005 \text{ m}$
počet trubek v řadě	$z_1 = 3$
počet řad	$z_2 = 28$
délka trubek	$l_{tr} = 3,4 \text{ m}$

příčná rozteč	$s_1 = 0,231 \text{ m}$
podélná rozteč	$s_2 = 0,3 \text{ m}$

Teplota média	vstup	$t_{m1} = 230,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
voleno	výstup	$t_{m1} = 257,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplota spalin	vstupní	$t_1 = 431 \text{ }^{\circ}\text{C}$	~ entalpie $I_{sp1} = 7853,1 \text{ kJ/m}^3$
volená	výstupní	$t_2 = 420 \text{ }^{\circ}\text{C}$	~ entalpie $I_{sp2} = 7647,94 \text{ kJ/m}^3$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (7853,1 - 7647,94) = 203,72 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (8.1a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{431 + 420}{2} = 425,5^\circ \text{C} \quad (8.1b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = S_{lhada} \cdot z_1 \cdot z_2 = 0,6406 \cdot 3 \cdot 28 = 53,807 \text{ m}^2 \quad (8.1c)$$

Plocha jedné trubky

$$S_{lhada} = \pi \cdot d_1 \cdot l_{tr} = 3,14 \cdot 0,063 \cdot 4 = 0,6406 \text{ m}^2 \quad (8.1d)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = b \cdot c - z_1 \cdot d_1 \cdot l_{stf} = 6,7 \cdot 3,7 - 28 \cdot 0,063 \cdot 4 = 19,078 \text{ m}^2 \quad (8.1e)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{sp} = \frac{M_{pv} \cdot O_{sp}}{F_{sp}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{19,078} \cdot \frac{273 + 425,5}{273} = 3,72 \text{ m} / \text{s} \quad (8.1f)$$

8.1.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalin

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot c_z \cdot c_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{w_d \cdot d}{\nu} \right)^{0,65} \cdot \text{Pr}^{0,33} = \quad (8.1.1)$$

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot 0,7962 \cdot 0,3287 \cdot \frac{0,056315}{0,06} \cdot \left(\frac{3,72 \cdot 0,06}{0,00000836} \right)^{0,65} \cdot 0,6175^{0,33} = 37,94 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}$$

kde

$$\lambda = 0,056315, \nu = 0,00000836, \text{Pr} = 0,6175,$$

c_s je oprava na uspořádání svazku v závislosti na poměrné příčné rozteči σ_1 a poměrné podélné rozteči σ_2 a hodnoty σ'_2 je poměrná úhlopříčná rozteč

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{d} = \frac{0,231}{0,06} = 3,85 \quad (8.1.1a)$$

$$\sigma_2 = \frac{s_2}{d} = \frac{0,3}{0,06} = 5 \quad (8.1.1b)$$

$$\sigma'_2 = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 3,85^2 + 5^2} = 5,3578 \quad (8.1.1c)$$

$$\varphi_o = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma' - 1} = \frac{3,85 - 1}{5,3578 - 1} = 0,7125 \quad (8.1.1d)$$

$$Cs = 0,34 \cdot \varphi_o^{0,1} = 0,34 \cdot 0,7125^{0,1} = 0,3287 \quad (8.1.1e)$$

$$c_z = (3,12 \cdot z_2^{0,05}) - 2,5 = (3,12 \cdot 3^{0,05}) - 2,5 = 0,7962 \quad (8.1.1f)$$

8.1.2 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro páru příčně

$$\alpha_{k2} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_{k2} = 0,023 \cdot \frac{0,04535}{0,05} \cdot \left(\frac{11,46 \cdot 0,05}{0,0000202} \right)^{0,8} \cdot 1,0296^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 77,76 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.1.2)$$

kde

$$\lambda = 0,04535, \nu = 0,0000202, Pr = 1,0296, ct = 1, cl = 1, cm = 1$$

rychlost páry v trubkách

$$w_{trub} = \frac{M_{pp} \cdot \nu}{f} = \frac{27,0,0731}{0,1696} = 11,64 \text{ m / s} \quad (8.1.2a)$$

$$f = m \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot z_1 = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} \cdot 3 = 0,1696 \quad (8.1.2b)$$

8.1.3 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,377 \cdot (431 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{542,1}{431 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{542,1}{431 + 273,15} \right)} = 17,93 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.1.3)$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště (8.1.3a)

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-3,7343 \cdot 0,1 \cdot 1,27} = 0,377$$

tlak v ohništi $p = 0,1$ MPa

součinitel zeslabení sálání (8.1.3b)

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 12,628.0,2957 = 3,734 \text{ 1 / m.MPa}$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny (8.1.3c)

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 1,2702}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{431 + 273,15}{1000} \right) = 12,629 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

parciální tlak $p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296$ MPa

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 \cdot s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,06 \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,231 \cdot 0,3}{0,06^2} - 1 \right) = 1,2702 \text{ m}^2 \quad (8.1.3d)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,95 + 25 + 273,15 = 542,1 \text{ K} \quad (8.1.3e)$$

součinitel přestupu tepla

$$\alpha_1 = \alpha_{k1} + \alpha_s = 37,94 + 17,93 = 55,87 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.1.3f)$$

$$\alpha_2 = \alpha_{k2} = 77,76 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.1.3g)$$

8.1.4 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \frac{\psi \cdot \alpha_1}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \frac{0,94 \cdot 55,87}{1 + \frac{55,87}{77,76}} = 30,56 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.1.4)$$

8.1.5 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{173,5 - 189,6}{\ln \frac{173,5}{189,6}} = 181,43^\circ \text{C} \quad (8.1.5)$$

kde

$$\Delta t_1 = 173,5^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 189,6^\circ\text{C}$$

8.1.6 Teplo odebrané spalínám

$$Q_{mříž} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{30,56.181,43.53,807}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 120,278 \text{ kJ / kg} \quad (8.1.6)$$

8.2 Strop - nad mříží

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 1 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
délka trubek	l = 1 m
výška kanálu	C = 3,7 m
průměr trubek	Ød = 0,038 m
tl. stěny trubky	tl = 0,0036 m
počet trubek v řadě	z ₁ = 86

Teplota média	vstup	t _{m1} = 254 °C
voleno	výstup	t _{m1} = 255 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 431 °C	~ entalpie I _{sp1} = 7853,1 kJ/m ³
volená	výstupní	t ₂ = 420 °C	~ entalpie I _{sp2} = 7647,94 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (7853,1 - 7647,94) = 203,72 \text{ kJ / m}^3 \quad (8.2a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{431 + 420}{2} = 425,5^\circ\text{C} \quad (8.2b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = d \cdot l \cdot n = 0,038 \cdot 1,86 = 3,268 \text{ m}^2 \quad (8.2c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = B \cdot C - z \cdot l \cdot d = 6,7 \cdot 3,7 - 86 \cdot 1 \cdot 0,038 = 21,522 \text{ m}^2 \quad (8.2d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273+t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{21,522} \cdot \frac{273+425,5}{273} = 3,3 \text{ m/s} \quad (8.2e)$$

8.2.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot de}{\nu} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm =$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,0563}{4,138} \cdot \left(\frac{3,3 \cdot 4,138}{0,00000631} \right)^{0,8} \cdot 0,6175^{0,4} = 30,21 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (8.2.1)$$

kde

$$\lambda = 0,0563, \nu = 0,00000631, Pr = 0,6175$$

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F/O = 4,138 \text{ m}$

- světlý průřez kanálu $F = 21,522 \text{ m}^2$

- obvod kanálu $O = 20,8 \text{ m}$

8.2.2 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,3785 \cdot (420 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{541,65}{420 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{541,65}{420 + 273,15} \right)} = 17,41051 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (8.2.2)$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-12,66 \cdot 0,11 \cdot 2702} = 0,3785 \quad (8.2.2a)$$

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ Mpa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 12,66 \cdot 0,2957 = 3,744 \text{ } 1 / m \cdot MPa \quad (8.2.2b)$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_o}{1000} \right) = \quad (8.2.2c)$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 1,2702}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{425,5 + 273,15}{1000} \right) = 12,66 \frac{1}{m \cdot MPa}$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ Mpa} \quad (8.2.2d)$$

efektivní tloušťka sálavé vrstvy

$$s = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 \cdot s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,06 \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,231 \cdot 0,3}{0,06^2} - 1 \right) = 1,2702 \text{ m}^2 \quad (8.2.2e)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 \text{ K} \quad (8.2.2f)$$

součinitel přestupu tepla

$$\alpha_1 = \alpha_{k1} + \alpha_s = 30,21 + 17,41 = 47,26 \text{ W} / m^2 K \quad (8.2.2g)$$

8.2.3 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 47,26 = 44,76 \text{ W} / m^2 K \quad (8.2.3)$$

8.2.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{425,5 - 254,5}{\ln \frac{425,5}{254,5}} = 332,7^\circ C \quad (8.2.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 425,5^\circ C$$

$$\Delta t_{21} = 254,5^\circ C$$

8.2.5 Teplo odebrané spalinám

$$Q_{mříž} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{44,76 \cdot 332,7 \cdot 3,268}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 19,62 \text{ kJ / kg} \quad (8.2.5)$$

8.3 Výparník okolo Mříže - boky

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 0,5 m (5 trubek)
hloubka tahu	B = 6,7 m
výška	C = 3,7 m
průměr trubek	Ød = 0,06 m
tl. stěny trubky	tl = 0,005 m
počet trubek	n _{tr} = 10

Teplota média	vstup	t _{m1} = 230,4 °C
voleno	výstup	t _{m1} = 257,5 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 431 °C	~ entalpie I _{sp1} = 7853,1 kJ/m ³
volená	výstupní	t ₂ = 420 °C	~ entalpie I _{sp2} = 7647,94 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (7853,1 - 7647,94) = 203,72 \text{ kJ / m}^3 \quad (8.3a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{431 + 420}{2} = 425,5^\circ \text{C} \quad (8.3b)$$

Velikost výhřevné plochy S

$$S = A \cdot C + A \cdot C = 3,7 \cdot 0,5 + 3,7 \cdot 0,5 = 3,7 \text{ m}^2 \quad (8.3c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = B \cdot C - n \cdot d \cdot l = 6,7 \cdot 3,7 - 10 \cdot 0,06 \cdot 3,7 = 22,57 \text{ m}^2 \quad (8.3d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{sp} = \frac{M_{pv} \cdot O_{sp}}{F_{sp}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{22,57} \cdot \frac{273 + 425,5}{273} = 3,15 \text{ m / s} \quad (8.3e)$$

8.3.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny příčně

$$\alpha_{k1} = 0,2 \cdot c_z \cdot c_s \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{w \cdot d}{\nu} \right)^{0,65} \cdot \text{Pr}^{0,33} =$$

$$\alpha_k = 0,2 \cdot 1,0,84 \cdot \frac{0,06421}{6,269} \cdot \left(\frac{3,15 \cdot 6,269}{0,00000568} \right)^{0,65} \cdot 0,6175^{0,33} = 133,29 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.3.1)$$

kde

$$\lambda = 0,06421, \nu = 0,00000568, \text{Pr} = 0,6175, c_z = 1, c_s = 0,84$$

- ekvivalentní průměr $d_e = 4 \cdot F / O = 6,2694 \text{ m}$ - světlý průřez kanálu $F = 22,57 \text{ m}^2$ - obvod kanálu $O = 14,4 \text{ m}$

8.3.2 Součinitel přestupu tepla sáláním pro spaliny

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_{st} + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{t_z + 273,15}{t_s + 273,15} \right)} =$$

$$a_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,3785 \cdot (420 + 273,15)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{541,65}{420 + 273,15} \right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{541,65}{420 + 273,15} \right)} = 17,41051 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.3.2)$$

kde

stupeň černosti povrchu stěn volím $a_{st} = 0,8$

stupeň černosti ohniště

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot s} = 1 - e^{-12,66 \cdot 0,11 \cdot 2702} = 0,3785 \quad (8.3.2a)$$

tlak v ohništi $p = 0,1 \text{ MPa}$

součinitel zeslabení sálání

$$k = k_{sp} \cdot r_{sp} = 12,66 \cdot 0,2957 = 3,744 \text{ 1 / m} \cdot \text{MPa} \quad (8.3.2b)$$

součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{sp} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_o}{1000} \right) =$$

$$K_{sp} = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,2044}{3,16 \cdot \sqrt{0,0296 \cdot 1,2702}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{425,5 + 273,15}{1000} \right) = 12,66 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{MPa}} \quad (8.3.2c)$$

objemová část tříatomových plynů ze stechiometrie na začátku

$$r_{sp} = 0,2957$$

$$r_{H_2O} = 0,2044$$

$$\text{parciální tlak } p_{sp} = r_{sp} \cdot p = 0,2957 \cdot 0,1 = 0,0296 \text{ Mpa} \quad (8.3.2d)$$

efektivní tloušťka sálové vrstvy

$$s = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 \cdot s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,06 \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,231 \cdot 0,3}{0,06^2} - 1 \right) = 1,2702 \text{ m}^2 \quad (8.3.2e)$$

teplota vnějšího povrchu nánosů na trubkách

$$T_z = t_{střední} + \Delta t + 273,15 = 243,5 + 25 + 273,15 = 541,65 \text{ K} \quad (8.3.2f)$$

součinitel přestupu tepla

$$\alpha_1 = \alpha_k + \alpha_s = 125,35 + 17,41 = 142,77 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.3.2g)$$

8.3.3 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 142,77 = 134,2 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (8.3.3)$$

8.3.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{425,5 - 243,95}{\ln \frac{425,5}{243,95}} = 326,35^\circ \text{C} \quad (8.3.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 425,5^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 243,95^\circ \text{C}$$

8.3.5 Teplo odebrané spalínám

$$Q_{mříž\ boky} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{134,2 \cdot 326,35 \cdot 3,7}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 65,32 \text{ kJ / kg} \quad (8.3.5)$$

8.4 Celkový výkon ze všech těchto počítaných ploch

$$Q_{celkový} = Q_{výp\ mříž} + Q_{strop} + Q_{výp\ boky} \quad (8.4)$$

$$Q_{celkový} = 120,27 + 19,62 + 65,32 = 205,228 \text{ kJ / m}^3$$

Bilanční teplo spalín

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (7853,1 - 7647,94) = 203,72 \text{ kJ / m}^3 \quad (8.4a)$$

8.4.1 Odchylka celkové bilance v této části

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q_c}{Q_b} \cdot 100 = \frac{203,72 - 205,22}{203,72} \cdot 100 = -0,7\% \quad (8.4.1)$$

→ vyhovuje předepsané odchylce $\pm 2\%$

9. VÝPOČET DÍLČÍCH VÝKONŮ

Část 4

-tento prostor je složen

- z hladkých trubek (PP1)
- stropu

9.1 Přehřívák PP1

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 4 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
střední výška tahu	C = 3,7 m
průměr trubek	Ød = 0,038 m
tl. stěny trubky	tl = 0,0036 m
délka 1né tr po výšce	l _{lv} = 3,6 m
počet trubek	n _{tr} = 86

Teplota média	vstup	t _{m1} = 255 °C
voleno	výstup	t _{m1} = 256 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 420 °C	~ entalpie I _{sp1} = 7638,38 kJ/m ³
volená	výstupní	t ₂ = 335 °C	~ entalpie I _{sp2} = 6019,31 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (7638,38 - 6019,31) = 1608,14 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (9.1a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{420 + 335}{2} = 377,5^\circ \text{C} \quad (9.1b)$$

Velikost výhřevné plochy

$$S = 3,14 \cdot d \cdot l \cdot z_1 = 3,14 \cdot 0,038 \cdot 4,86 = 41,0461 \text{ m}^2 \quad (9.1c)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = A \cdot B - z_2 \cdot d \cdot l = 4 \cdot 6,7 - 87 \cdot 0,038 \cdot 4 = 13,72 \text{ m}^2 \quad (9.1d)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{sp} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{13,72} \cdot \frac{273 + 377,5}{273} = 4,82 \text{ m/s} \quad (9.1e)$$

9.1.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny příčně

$$\alpha_k = 0,2 \cdot c_z \cdot c_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{w_d \cdot d}{\nu} \right)^{0,65} \cdot \text{Pr}^{0,33} = \quad (9.1.1)$$

$$\alpha_k = 0,2 \cdot 0,7962 \cdot 0,3052 \cdot \frac{0,052522}{0,038} \cdot \left(\frac{5,13 \cdot 0,038}{0,0000056} \right)^{0,65} \cdot 0,6223^{0,33} = 51,47 \text{ W/m}^2\text{K}$$

kde

$$\lambda = 0,052522, \nu = 0,0000056, \text{Pr} = 0,6223,$$

c_s je oprava na uspořádání svazku v závislosti na poměrné příčné rozteči σ_1 a poměrné podélné rozteči σ_2 a hodnoty σ'_2 je poměrná úhlopříčná rozteč

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{d} = \frac{0,0706}{0,038} = 2 \quad (9.1.1a)$$

$$\sigma_2 = \frac{s_2}{d} = \frac{0,15}{0,038} = 3,947 \quad (9.1.1b)$$

$$\sigma'_2 = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 2^2 + 3,947^2} = 4,0721 \quad (9.1.1c)$$

$$\varphi_o = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma'_2 - 1} = \frac{2 - 1}{4,0721 - 1} = 0,3393 \quad (9.1.1d)$$

$$C_s = 0,34 \cdot \varphi_o^{0,1} = 0,34 \cdot 0,3393^{0,1} = 0,3052 \quad (9.1.1e)$$

$$c_z = (3,12 \cdot z_2^{0,05}) - 2,5 = (3,12 \cdot 3^{0,05}) - 2,5 = 0,7962 \quad (9.1.1f)$$

9.1.3 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 51,47 = 48,38 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (9.1.3)$$

9.1.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{137,5 - 77,5}{\ln \frac{137,5}{77,5}} = 104,64^\circ \text{C} \quad (9.1.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 137,5^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 77,5^\circ \text{C}$$

9.1.5 Teplo odebrané spalínám

$$Q_{PP1} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{48,38 \cdot 104,64 \cdot 753,64}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 1538,44 \text{ kJ / kg} \quad (9.1.5)$$

9.2 Strop - nad PP1

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 4 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
střední výška tahu	C = 3,7 m
průměr trubek	Ød = 0,032 m
délka 1né tr po výšce	l _{lv} = 3,6 m
tl. stěny trubky	tl = 0,0036 m
počet řad	z ₂ = 87
počet trubek	n _{tr} = 87
příčná rozteč	s ₁ = 0,0761 m
podélná rozteč	s ₂ = 0,15 m

Teplota média	vstup	t _{m1} = 257,5 °C
	výstup	t _{m1} = 282,5 °C

Teplota spalin	vstupní	t ₁ = 420 °C	~ entalpie I _{sp1} = 7638,38 kJ/m ³
	výstupní	t ₂ = 335 °C	~ entalpie I _{sp2} = 6019,31 kJ/m ³

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (7638,38 - 6019,31) = 1608,14 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (9.2a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{420 + 335}{2} = 377,5^\circ \text{C} \quad (9.2b)$$

Velikost výhřevné plochy

$$S = S_{lhada} \cdot z_1 = 8,66.87 = 753,42 \text{ m}^2 \quad (9.2c)$$

Plocha jedné trubky

$$S_{lhada} = \pi \cdot d_{tr} \cdot l_{tr} = 3,14 \cdot 0,038.72,6 = 8,662 \text{ m}^2 \quad (9.2d)$$

$$l_{tr} = (\text{poč smyček} \cdot l_{lv}) + 0,6 = (20 \cdot 3,6) + 0,6 = 72,6 \text{ m} \quad (9.2e)$$

Světltý průřez spalin

$$F_{sp} = B \cdot C - z_2 \cdot d \cdot l_{stf} = 6,7.3,7 - 87.0,038 \cdot 3,6 = 12,88 \text{ m}^2 \quad (9.2f)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806.11,2}{12,88} \cdot \frac{273 + 377,5}{273} = 5,13 \text{ m} / \text{s} \quad (9.2g)$$

9.2.1 Součinitel přestupu tepla konvekci pro spaliny podélně

$$\alpha_{k1} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{de} \cdot \left(\frac{w \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot ct \cdot cl \cdot cm = \quad (9.2.1)$$

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,04916}{2,64} \cdot \left(\frac{4,28.2,64}{0,00000504} \right)^{0,8} \cdot 0,6265^{0,4} = 47,07 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}$$

kde

$$\lambda = 0,04916, \nu = 0,00000504, \text{Pr} = 0,6265$$

- ekvivalentní průměr $de = 4 \cdot F / O = 2,64 \text{ m}$

- světltý průřez kanálu $F = 13,728 \text{ m}^2$

- obvod kanálu $O = 20,8 \text{ m}$

9.2.2 Výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94.47,07 = 44,24 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K} \quad (9.2.2)$$

9.2.3 Střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{164 - 80}{\ln \frac{164}{80}} = 117,01^\circ \text{C} \quad (9.2.3)$$

kde

$$\Delta t_1 = 164^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 80^\circ\text{C}$$

9.2.4 Teplo odebrané spalínám

$$Q_{strop\ pp1} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{44,24 \cdot 117,01 \cdot 41,046}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 85,68 \text{ kJ} / \text{kg} \quad (9.2.4)$$

9.3 Celkový výkon ze všech těchto počítaných ploch

$$Q_{celkový} = Q_{pp1} + Q_{strop} \quad (9.3)$$

$$Q_{celkový} = 1538,44 + 85,68 = 1624,12 \text{ kJ} / \text{m}^3$$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (7853,1 - 7647,94) = 203,72 \text{ kJ} / \text{m}^3$$

9.3.1 Odchylka celkové bilance v této části

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q_c}{Q_b} \cdot 100 = \frac{1608,14 - 1624,12}{1608,14} \cdot 100 = -0,99\% \quad (9.3.1)$$

→ vyhovuje předepsané odchylce $\pm 2\%$

10. VÝPOČET DÍLČÍCH VÝKONŮ

Část 5

- tento prostor je složen
- z mříže

10.1 Mříž nakonci - před EKO

Rozměry z výkresu

šířka tahu	A = 0,5 m
hloubka tahu	B = 6,7 m
střední výška tahu	C = 3,7 m

 Přepočet kotle při změně jmenovitých parametrů

průměr trubek	$\varnothing d = 0,032 \text{ m}$
střední délka tr.	$l_{stř} = 3 \text{ m}$
tl. stěny trubky	$tl = 0,0036 \text{ m}$
počet trubek v řadě	$z_1 = 3$
počet řad	$z_2 = 87$

příčná rozteč	$s_1 = 0,0761 \text{ m}$
podélná rozteč	$s_2 = 0,28 \text{ m}$

Teplota média	vstup	$t_{m1} = 256 \text{ }^{\circ}\text{C}$
voleno	výstup	$t_{m1} = 258 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplota spalin	vstupní	$t_1 = 335 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\sim$	entalpie	$I_{sp1} = 6019,31 \text{ kJ/m}^3$
volená	výstupní	$t_2 = 319 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\sim$	entalpie	$I_{sp2} = 5714,95 \text{ kJ/m}^3$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (6019,31 - 5714,95) = 300 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (10.1a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{335 + 319}{2} = 327 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.1b)$$

Velikost výhřevné plochy

$$S = S_{lhada} \cdot z_1 = 1,0739 \cdot 87 = 92,353 \text{ m}^2 \quad (10.1c)$$

Plocha jedné trubky

$$S_{lhada} = \pi \cdot d_1 \cdot l_{tr} = 3,14 \cdot 0,032 \cdot 9 = 0,884 \text{ m}^2 \quad (10.1d)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = B \cdot C - z_2 \cdot d \cdot l_{stř} = 6,73,7 - 87 \cdot 0,032 \cdot 3 = 14,98 \text{ m}^2 \quad (10.1e)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{SP} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{14,98} \cdot \frac{273 + 327}{273} = 4,07 \text{ m} / \text{s} \quad (10.1f)$$

10.1.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro příčné proudění spalin

$$\alpha_k = c_z \cdot c_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{w_d \cdot d}{\nu} \right)^{0,65} \cdot \text{Pr}^{0,33} = \quad (10.1.1)$$

$$\alpha_k = 0,7962 \cdot 0,2823 \cdot \frac{0,0485}{0,038} \cdot \left(\frac{4,07 \cdot 0,032}{0,00000488} \right)^{0,65} \cdot 0,6273^{0,33} = 123,55 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}$$

kde

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{d} = \frac{0,0761}{0,038} = 2,0026 \quad (10.1.1a)$$

$$\sigma_2 = \frac{s_2}{d} = \frac{0,28}{0,038} = 7,3684 \quad (10.1.1b)$$

$$\sigma'_2 = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 2,0026^2 + 7,3684^2} = 7,4361 \quad (10.1.1c)$$

$$\varphi_o = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma'_2 - 1} = \frac{0,0761 - 1}{7,4361 - 1} = 0,1558 \quad (10.1.1d)$$

$$Cs = 0,34 \cdot \varphi_o^{0,1} = 0,34 \cdot 0,1558^{0,1} = 0,2823 \quad (10.1.1e)$$

$$c_z = (3,12 \cdot z_2^{0,05}) - 2,5 = (3,12 \cdot 3^{0,05}) - 2,5 = 0,7962 \quad (10.1.1f)$$

10.1.2 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 123,55 = 113,66 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K} \quad (10.1.2)$$

10.1.3 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{77 - 63}{\ln \frac{77}{63}} = 69,76^\circ \text{C} \quad (10.1.3)$$

kde

$$\Delta t_1 = 77^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 63^\circ \text{C}$$

10.1.4 Teplo odebrané spalinám = celkový výkon

$$Q_{mříž} = Q_{celkový} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{113,66 \cdot 69,76 \cdot 92,35}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 295,25 \text{ kJ} / \text{kg} \quad (10.1.4)$$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (6019,31 - 5714,95) = 300 \text{ kJ} / \text{m}^3$$

10.2 Odchylka celkové bilance v této části

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q_c}{Q_b} \cdot 100 = \frac{300 - 295,25}{300} \cdot 100 = 1,58\% \quad (10.2)$$

→ vyhovuje předepsané odchylce $\pm 2\%$

11. VÝPOČET DÍLČÍCH VÝKONŮ

Část 6

- tento prostor je složen
- z ekonomizéru

11.1 Ekonomizér - EKO

Rozměry z výkresu

šířka tahu	$A = 3,78 \text{ m}$
hloubka tahu	$B = 6,7 \text{ m}$
průměr trubek	$\varnothing d = 0,032 \text{ m}$
tl. stěny trubky	$tl = 0,004 \text{ m}$
počet řad příčně	$z_1 = 23$
počet řad podélně	$z_2 = 5$

příčná rozteč	$s_1 = 0,224 \text{ m}$
podélná rozteč	$s_2 = 0,25 \text{ m}$

Žebra

Výška žebra	$h_z = 0,013 \text{ m}$
Tloušťka žebra	$\delta_z = 0,0012 \text{ m}$
Počet žeber na metr	$n_z = 107 \text{ ks}$
Průměr kruhového žebra	$D = 0,064 \text{ m}$
Rozteč žeber	$S_z = 0,0052 \text{ m}$

Teplota média

DÁNO	vstup	$t_{m1} = 105 \text{ °C}$
voleno	výstup	$t_{m1} = 230,4 \text{ °C}$

Teplota spalin

POŽADOVÁNO	vstupní	$t_1 = 319 \text{ °C}$	$\sim$ entalpie $I_{sp1} = 5714,95 \text{ kJ/m}^3$
	výstupní	$t_2 = 125 \text{ °C}$	$\sim$ entalpie $I_{sp2} = 2179,02 \text{ kJ/m}^3$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (5714,95 - 2179,02) = 3728,13 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (11.1a)$$

Střední teplota proudu spalin

$$t_{st} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{319 + 125}{2} = 222 \text{ °C} \quad (11.1b)$$

Plocha výměníku

$$S = S_{lm} \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot l \cdot 2 \cdot k_p = 0,5648 \cdot 23 \cdot 5,6 \cdot 7,2 \cdot 0,96 = 835,5861 \text{ m}^2 \quad (11.1c)$$

kde $k_p=0,96$ - je rezerva na plochu

Plocha jednoho metru žebrované trubky

$$S_{lm} = \left[2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D^2 - d^2}{4} \right) + \pi \cdot d \cdot \delta_z \right] \cdot n_z + \pi \cdot d \cdot [1 - (n_z \cdot \delta_z)] =$$

$$S_{lm} = \left[2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,064^2 - 0,038^2}{4} \right) + \pi \cdot 0,038 \cdot 0,0012 \right] \cdot 107 + \pi \cdot 0,038 \cdot [1 - (107 \cdot 0,0012)] = 0,5648 \text{ m}^2 \quad (11.1d)$$

Světlý průřez spalin

$$F_{sp} = A \cdot B - (z_1 \cdot d \cdot l + h_z \cdot \delta_z \cdot n_z \cdot z_1 \cdot l \cdot 2) =$$

$$F_{sp} = 3,78 \cdot 6,7 - (23 \cdot 0,038 \cdot 6,7 + 0,013 \cdot 0,0012 \cdot 107 \cdot 23 \cdot 6,7 \cdot 2) = 19,4478 \text{ m}^2 \quad (11.1e)$$

Rychlost proudění spalin v kanále

$$W_{sp} = \frac{M_{PV} \cdot O_{SP}}{F_{SP}} \cdot \frac{273 + t}{273} = \frac{2,4806 \cdot 11,2}{19,4478} \cdot \frac{273 + 222}{273} = 2,59 \text{ m/s} \quad (11.1f)$$

11.1.1 Součinitel přestupu tepla konvekcí pro spaliny příčně

(11.1.1)

$$\alpha_k = 0,105 \cdot c_z \cdot c_s \cdot \frac{\lambda}{S_z} \cdot \left(\frac{d}{S_z} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h_z}{S_z} \right)^{-0,14} \cdot \left(\frac{w_{sp} \cdot S_z}{v} \right) =$$

$$\alpha_k = 0,105 \cdot 0,7962 \cdot 0,332 \cdot \frac{0,04039}{0,0052} \cdot \left(\frac{0,038}{0,0052} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{0,013}{0,0052} \right)^{-0,14} \cdot \left(\frac{2,59 \cdot 0,0052}{0,00000347} \right) = 251,47 \text{ W/m}^2\text{K}$$

kde

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{d} = \frac{0,224}{0,038} = 5,8947 \quad (11.1.1a)$$

(11.1.1b)

$$\sigma_2 = \frac{s_2}{d} = \frac{0,25}{0,038} = 6,5789$$

$$\sigma'_2 = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 5,8947^2 + 6,5789^2} = 7,209 \quad (11.1.1c)$$

$$\varphi_o = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma'_2 - 1} = \frac{5,8947 - 1}{7,209 - 1} = 0,7883 \quad (11.1.1d)$$

$$C_s = 0,34 \cdot \varphi_0^{0,1} = 0,34 \cdot 0,7883^{0,1} = 0,332 \quad (11.1.1e)$$

$$c_z = (3,12 \cdot z_2^{0,05}) - 2,5 = (3,12 \cdot 3^{0,05}) - 2,5 = 0,7962 \quad (11.1.1f)$$

11.1.3 výsledný součinitel prostupu tepla

$$k = \psi \cdot \alpha = 0,94 \cdot 251,47 = 236,38 \text{ W / m}^2 \text{ K} \quad (11.1.3)$$

11.1.4 střední teplotní logaritmický spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{88 - 20}{\ln \frac{88}{20}} = 46,08^\circ \text{C} \quad (11.1.4)$$

kde

$$\Delta t_1 = 88^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{21} = 20^\circ \text{C}$$

11.1.5 Teplo odebrané spalínám

$$Q_{EKO} = Q_{celkový} = \frac{k \cdot \Delta t \cdot S}{M_{pv}} \cdot 10^{-3} = \frac{236,38 \cdot 46,08 \cdot 835,58}{2,4806} \cdot 10^{-3} = 3669,98 \text{ kJ / m}^3 \quad (11.1.5)$$

Bilanční teplo spalin

$$Q_b = \varphi \cdot (I_{sp1} - I_{sp2}) = 0,993 \cdot (5714,95 - 2179,02) = 3728,13 \text{ kJ / m}^3$$

11.2 Odchylka celkové bilance v této části

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q_c}{Q_b} \cdot 100 = \frac{3728,13 - 3669,98}{3728,13} \cdot 100 = 1,55\% \quad (11.2)$$

→ vyhovuje předepsané odchylce $\pm 2\%$

12.KONTROLA CELKOVÉ BILANCE

Teplo předané ve spalovací komoře

$$Q_S = 14463,1736 \text{ kJ/m}^3$$

Část 1

Teplo předané v DP vstupní

$$Q_1 = 1\,156,5574 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané v DP výstupní

$$Q_2 = 1348,8995 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané Stropem nad DP

$$Q_3 = 580,2791 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané Výparníkem okolo DP

$$Q_4 = 3941,8886 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané okolo Výstupku

$$Q_5 = 259,1449 \text{ kJ/m}^3$$

Část 2

Teplo předané PP3

$$Q_6 = 3592,4341 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané Stropem nad PP3

$$Q_7 = 417,2637 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané šikmým výparníkem pod PP3

$$Q_8 = 244,4773 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané výparníkem na stěnách u PP3

$$Q_9 = 632,1631 \text{ kJ/m}^3$$

Část 3

Teplo předané mříží na výstupu ze spalovací komory

$$Q_{10} = 6120,2786 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané stropem nad mříží

$$Q_{11} = 19,6215 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané výparníkem okolo Mříže

$$Q_{12} = 65,3288 \text{ kJ/m}^3$$

Část 4

Teplo předané PP1

$$Q_{13} = 1538,4425 \text{ kJ/m}^3$$

Teplo předané stropem nad PP1

$$Q_{14} = 85,6804 \text{ kJ/m}^3$$

Část 5

Teplo předané mříží před EKO

$$Q_{15} = 295,2517 \text{ kJ/m}^3$$

Část 6

Teplo předané Ekonomizérem

$$Q_{16} = 3669,98 \text{ kJ/m}^3$$

12.1 Celkové předané teplo

$$Q_B = Q_S + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16}$$

$$Q_B = 14463 + 1156 + 1348 + 580 + 3941 + 259 + 3592 + 417 + 244 + 632 + 120 + 19 + 65 + 1538 + 85 + 295 + 3669$$

$$Q_B = 32430,868 \text{ kJ/m}^3 \quad (12.1)$$

13.KONTROLA TEPELNÉ BILANCE

$$\Delta Q = Q_P \cdot \frac{\eta_k}{100} - Q_B \cdot \left(1 - \frac{\xi_C}{100}\right)$$

$$\Delta Q = 34340 \cdot \frac{94,207}{100} - 32431 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) \quad (13)$$

$$\Delta Q = -80,22 \text{ kJ} / \text{m}^3$$

13.1 Odchylka tepelné bilance

$$\Delta = \frac{\Delta Q}{Q_P} \cdot 100 = \frac{-80,22}{34340} \cdot 100 = -0,23\%$$

(13.1)

$\Rightarrow$ **vyhovuje předepsané toleranci $\pm 0,5\%$**

13.2 Odchylka tepelné bilance pro výparník

$$\text{výkon z bilance} \quad Q_b = 11537,5 \text{ kW} \sim 4651,1 \text{ kJ/m}^3 \quad (13.2a)$$

$$\text{výkon všech mou spočítaných výparníků} \quad Q_{\text{celk výp}} = 11487,9 \text{ kW} \sim 4631,1 \text{ kJ/m}^3 \quad (13.2b)$$

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q}{Q_b} * 100 = \frac{11537,5 - 11487,9}{11537,5} * 100 = 0,42 \% \quad (13.2)$$

$\Rightarrow$ vyhovuje předepsané toleranci $\pm 0,5 \%$

14. ZÁVĚR

Tímto tepelným výpočtem jsem se pokusil vystihnout danou problematiku. Došel jsem k zjištění, že mnou navržená opatření – jako odstranění ohříváku vzduchu, upravení velikosti výhřevných ploch i rozměry trubek a jejich uspořádání ve spalinovém kanále, byly v souladu s povolenou tolerancí správnosti, tudíž jsem došel k požadovanému cíli.

Hodnoty potřebné pro výpočet jsem čerpal z literatury uvedené v seznamu. Zároveň jsem postupoval podle rad a doporučení mého konzultanta a vedoucího.

15. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Budaj, F.: Parní kotle, Podklady pro tepelný výpočet, skriptum VUT , Brno 1992
- [2] Steamtab. ChemicalLogic SteamTab Companion . Thermodynamic and Transport Properties of Water and Steam, Version 2.0 (Based on the OAPWS-95 Formulation)
- [3] Dlouhý, T.: Výpočty kotlů a spalínových výměníků. ČVUT Praha 2007
- [4] Černý, V. – Janeba, B.-Tyssler, J.: Parní kotle. Technický průvodce 32, SNTL, 1983

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	m	rozměr tahu
Ar	%	procento popelovin v původním palivu
a	-	stupeň černosti plamene
a_0	-	stupeň černosti ohniště
ast	-	efektivní stupeň černosti plamene
B	-	rozměr tahu
Bo	-	Boltzmannovo číslo
c	$\text{kJ/m}^3\text{K}$	měrné teplo
C	m	rozměr tahu
csp	$\text{kJ/m}^3\text{K}$	měrné teplo spalin
c_z	-	oprava na počet podélných řad
c_s	-	oprava na uspořádání svazku
d	g/kg	obsah vody
d1	m	vnější průměr
d2	m	vnitřní průměr
de	m	ekvivalentní průměr
E	m	rozměr tahu
f	m^2	průřez pro páru nebo vodu
Fsp	m^2	světlý průřez pro spaliny
FU	m^2	účinná sálavá plocha stěn ohniště
g	kW/m^2	plošné zatížení ohniště
h	m	výška kotle
I_0	kJ/kg , kJ/m^3	entalpie spalin na výstupu z ohniště
Isp	kJ/kg , kJ/m^3	entalpie spalin
I_{VZmin}	kJ/kg , kJ/m^3	entalpie minimálního množství vzduchu
Ispmin	kJ/kg , kJ/m^3	entalpie minimálního množství spalin
i_{NV}	kJ/kg	entalpie napájecí vody
Δi	kJ/kg	entalpický spád
ksp	1/MPa	součinitel zeslabení sálání tříatomovými plyny
m	m	délka výstupního otvoru
M_{pV}	kg/s	množství skutečně spáleného paliva
M_p	kg/s	množství paliva přivedeného do kotle
M_{pp}	kg/s	množství přehřáté páry
O	m	obvod průřezu kanálu
Osp	m^3/kg	skutečné množství spalin
Ospmin	m^3/kg	minimální množství vlhkých spalin
O_{H_2Omin}	m^3/kg	minimální objem vodní páry
Pr	-	Prandtlovo číslo
p	-	podíly jednotlivých složek spalin
psp	MPa	celkový parciální tlak tříatomových plynů
Qpp	kJ/kg	teplo přivedené do kotle
Qir	kJ/kg	výhřevnost paliva
Q_U	kW	teplo uvolněné v ohništi
Q_V	kW	výrobní teplo páry
Q_{VZ}	kW	teplo přivedené do kotle vzduchem
r_{H_2O}	-	objemová část vodní páry
rsp	-	objemová část tříatomových plynů

Přepočet kotle při změně jmenovitých parametrů

S_0	m ²	předběžný průřez ohniště
s	m	účinná tloušťka sálavé vrstvy
s_1	m	příčná rozteč
s_2	m	podélná rozteč
T_0	K	absolutní teplota spalin na výstupu z ohniště
t_v	°C	teplota vzduchu
V_{vpravo}	m	rozměr tahu
V_{vlevo}	m	rozměr tahu
Z_c	%	ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích
Z_{cu}	%	ztráta v úletu
Z_{CO}	%	ztráta hořlavinou ve spalinách
z_f	%	ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků
z_{SO}	%	ztráta sdílením tepla do okolí
Z_k	%	komínová ztráta
z_1	-	počet trubek v řadě
z_2	-	počet řad
v	m ³ /kg	měrný objem páry nebo vody
w_{sp}	m/s	rychlost proudu spalin
w_p	m/s	rychlost páry
x	-	úhlový součinitel
α	-	přebytek vzduchu
α_1	W/m ² K	součinitel přestupu tepla ze spalin do stěny
α_2	W/m ² K	součinitel přestupu tepla ze stěny do media
α_K	W/m ² K	součinitel přestupu tepla konvekcí
α_S	W/m ² K	součinitel přestupu tepla sáláním
λ	W/mK	součinitel vedení tepla
k	W/m ² K	součinitel prostupu tepla
ν	m ² /s	kinematická viskozita
ε	m ² K/W	součinitel znečištění (zanešení) výhřevné plochy

17. SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres kotle