

Príspevek k výpočtu prirodzeného větrání plynových kotlen

Contribution to the calculation of natural ventilation of gas-fired boiler houses

Prof. Ing. Karel HEMZAL, CSc.
ČVUT, Fakulta strojní v Praze

Technická pravidla ukládají projektantovi doložit funkci přirozeného větrání výpočtem. Příspěvek přináší postup výpočtu, založený na rozboru podmínek proudění vzduchu kotelnou a algoritmus výpočtu s využitím tabulkového programu Microsoft Excel.

Klíčová slova: kotlina, plynová kotlina, větrání, přirozené větrání

Recenzent
Ing. Zdeněk Lerl

After the technical rules, designer must obligatory calculate the function of natural ventilation in gas-fired boiler house. The contribution deals with the procedure of airing calculation based on the analyse of condition for air flow through the boiler house. The calculation algorithm is written on spread sheet Microsoft Excel.

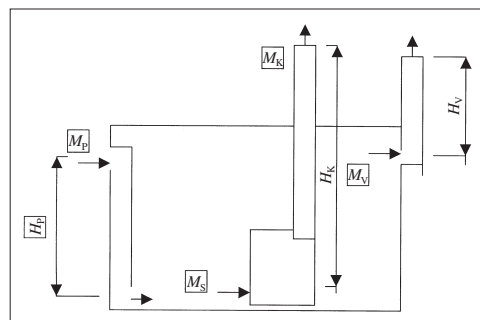
Key words: boiler house, gas-fired boiler house, ventilation, natural ventilation

K přirozenému proudění vzduchu kotelnou dochází působením vztaku – účinného tahu („komínového efektu“), který je vyvolán rozdílem měrných tíh vzduchu ve svislých šachtách, kterými je kotlina propojena s venkovním ovzduším: ve větrací šachtě, v příváděcí šachtě a v komíně a v okolí budovy. Účinek větru se při výpočtu a dimenzování větrací šachty a komína neuvažuje. Průtok vzduchu kotelnou sestává ze vzduchu spalovacího a vzduchu větracího. Předpokládáme, že vzduch je přiváděn do kotliny přívodní šachtou (vzduchovodem).

K přirozenému odvodu vzduchu z kotliny větrací šachtou dochází jen pokud účinný tah šachty je větší, než podtlak v kotelně.

Za chodu kotlů proudí komínem spaliny, skládající se z nespalitelných součástí spalovacího vzduchu a z produktů spalování plynu. Předpokládáme, že kotle mají atmosférické hořáky a nasávají spalovací vzduch z prostoru kotliny. Takové kotle musí být napojeny na komín přes přerušovač tahu. Vzhledem ke komplikovanému průtoku komínem, je účelné rozdělit výpočet na dva provozní stavy: – za provozní přestávky – za chodu kotle.

Uvažme uspořádání přirozeného větrání kotliny podle obr. 1. Účelem větrání je především odvod unikajícího topného plynu, který je 0,65 krát lehčí než vzduch, proto musí být odváděcí otvor větrací šachty pod stropem kotliny. Předpokládáme ustálené (stacionární) proudění a po celé výšce uvnitř kotliny stejnou teplotu a stejný tlak.



Obr. 1 Schéma přirozeného větrání plynové kotliny. Průtoky vzduchu přiváděného M_p , spalovacího M_s , větracího M_v , komínového M_k a průtok plynů P . Při vypnutém hořáku $M_s = M_k$.

1. ALGORITMUS ŘEŠENÍ VĚTRÁNÍ PŘI VYPNUTÉM KOTLI

Hybnou silou proudění jsou účinný tah větrací – odváděcí šachty účinný tah příváděcí šachty a účinný tah komína

$$\Delta p_v = g \cdot H_v \cdot \Delta \rho_v$$

$$\Delta p_p = g \cdot H_p \cdot \Delta \rho_p$$

$$\Delta p_k = g \cdot H_k \cdot \Delta \rho_k$$

které se spotřebují na

tlakové ztráty ve větrací šachtě $\Delta p_{zv} = (\Sigma \zeta + \lambda \cdot H/D)_v \cdot \rho_{av}$
tlakové ztráty v cestě spalin, které zahrnou i ztráty v kotli a kouřovém připojení na komín (při přímém napojení) a v komíně $\Delta p_{zk} = (\Sigma \zeta + \lambda \cdot H/D)_k \cdot \rho_{ak}$
tlakové ztráty v přívodu vzduchu do kotliny $\Delta p_{zp} = (\Sigma \zeta + \lambda \cdot H/D)_p \cdot \rho_{ap}$.

Rozdíly hustot v účinném tahu $\Delta \rho_i = \rho_e - \rho_i$ jsou dány hustotou venkovního vzduchu ρ_e a vzduchu v příslušné šachtě ρ_i kde index $i = P, V, K$.

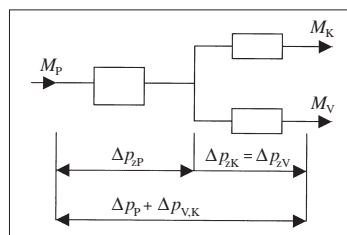
Předpokládáme, že vzduch je suchý a že jeho hustota nezávisí na tlaku, ale jen na teplotě $\rho \sim 1/T = 1/(t + 273)$ např. $\rho = 1,293 \cdot 273/(t + 273)$.

Do dynamických tlaků je třeba ve výpočtu dosadit z dosud neznámých průtoků M a zvolených průřezů A

$$\rho_{ai} = (M/A)^2 / 2 \rho_i \text{ kde index } i = P, V, K.$$

Pokud komínem i větrací šachtou dochází k odvodu vzduchu z prostoru kotliny, pak se rozdělí průtok přiváděného vzduchu do obou svislých průtoků $M_p = M_k + M_v$.

Schematicky jsou průtoky a tlakové ztráty uvedeny v blokovém zobrazení v obr. 2.



Obr. 2 Blokové schéma řešení průtoků vzduchu kotelnou při vypnutém kotli

Vztlak vyvolaný v šachtě přívodu vzduchu Δp_p bývá při běžných výpočtech zanedbáván. Výška H_p nebývá velká vůči výškám větrací šachty a komína. Tento vztlak v zimě i v létě průtoku napomáhá, pokud je venkovní teplota menší, než je v kotelně. Jeho účinkem se chladnější venkovní vzduch „tlačí“ šachtou dolů do kotliny. Zapsání do tabulky v Excelu nepřináší však žádnou komplikaci a číselné výsledky ukazují, jak bude doloženo v příkladech, že tento vztlak není zanedbatelný.

Úkolem je určit tři neznámé průtoky. Řešení vyžaduje tři nezávislé podmínky, sestavené pro daný případ takto:

$$\begin{aligned} \Delta p_v + \Delta p_k + \Delta p_p - \Delta p_{zp} - \Delta p_{zv} &= 0 & (1) \\ \Delta p_{zv} - \Delta p_{zk} &= 0 & (2) \\ M_p &= M_k + M_v & (3) \end{aligned}$$

První podmínka vyjadřuje rovnost výsledného účinného vztaku paralelně působících šachet komína a odvodu vzduchu a tlakových ztrát sériově řazených úseků: přívadecí šachta a větrací odváděcí šachta. Druhá podmínka vyjadřuje rovnost tlakových ztrát v cestě kouřovými cestami a větrací šachtou.

Tyto podmínky platí za průtoků všemi třemi cestami mezi vnější atmosférou a kotelnou, které musí splnit třetí podmínku, která je podmínkou kontinuity: přiváděný vzduch se rozděluje do cesty komínem a větrací šachtou. Zákon o zachování hmoty vyžaduje počítat s hmotnostními průtoky, které nejsou závislé na teplotě.

Výpočet v programu Excel

Příklad výpočtu je sestaven v tab. 1. Řešení spočívá v simultánním řešení těchto tří algebraických rovnic s určením tří neznámých průtoků M_p , M_k , M_v postupnou aproximací.

K tomu se výborně hodí **iterační nástroj „Hledání řešení“** v programu Excel. Postup je jednoduchý. Nástroj lze otevřít, když zkontrolujeme ve sledu pokynů „nástroje – možnosti – výpočty“, že jsou zapnuté „iterace“ a přesnost výsledku je vhodně omezena na „maximální změnu“ 0,001. Ve sloupci „Nástroje“ pod „Hledání řešení“ „nastavíme buňku“ s rovnicí (1) na „cílovou hodnotu“ = 0 a „měněnou buňku“ s hodnotou V_v . Následně je třeba postup opakovat avšak s rovnicí (2) a buňkou s hodnotou V_k . Na těchto průtocích jsou závislé tlakové ztráty ve

Tab. 1 Výpočet přirozeného větrání kotelny při vypnutém kotli s atmosférickým hořákem, napojeném na komín bez přerušovače tahu

Přirozené větrání plynové kotelny při vypnutém kotli			Zimní provoz	Letní extrém			Přechodné období (jiná data)					
Teploty °C venkovní vnitřní v komíně Výšky šachty m přívodní větrací komína Rozměr šachty mxm přívodní větrací (pro kruhový průřez dosadit = 1!) komína (pro kruhový průřez dosadit = 1!) Průměr šachty hydraulický m přívodní větrací (pro kruhový průřez dosadit!) komína (pro kruhový průřez dosadit!) Hustota vzduchu kg/m³ přívodního větracího v komíně Ztrátový součinitel v šachtě přívodní vstup (+sítka) +tvary (kolena) výstupem třením Ztrátový součinitel v šachtě větrací vstupem výstupem třením Ztrátový součinitel v kouřových cestách kotel + tvary výstupem třením Účinný tah šachty Pa přívodní větrací komína Tlaková ztráta šachty Pa přívodní větrací komína Průtok šachtou kg/s přívodní Mp = Mv + Mk (3) větrací komína Podmínky řešení Dpv + Dpk + Dpp - Dpzv - Dpzp = 0 (1) Dpzv - Dpzk = 0 (2) Intenzita výměny vzduchu v kotelně 1/h Objem kotelny m³ šířka m hloubka m výška m Intenzita výměny v kotelně 1/h Intenzita větrání šachtou 1/h Legenda	Makro ctrl+x											
	te	30	-12	30	30	30	6	6	12	13	14	10
	ti	35	7	35	35	35	15	15	15	15	15	15
	tk	35	7	35	35	35	15	15	15	15	15	15
	Hp	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
	Hv	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
	Hk	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
	0,45	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1	0,2	1	1	1	1	0,2
	Dp	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525
	Dv	0,150	0,150	0,150	0,164	0,164	0,150	0,15	0,15	0,15	0,15	0,150
	Dk	0,200	0,200	0,200	0,200	0,22	0,200	0,22	0,22	0,22	0,22	0,200
rp	1,165	1,352	1,165	1,165	1,165	1,265	1,265	1,239	1,234	1,230	1,247	
rv	1,146	1,261	1,146	1,146	1,146	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	
rk	1,146	1,261	1,146	1,146	1,146	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	
Zv	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	
Zvýst	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
lambda	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Zv	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
Zvýst	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
lambda	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Zv	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	
Zvýst	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
lambda	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Dpp	0,52	2,5	0,5	0,5	0,5	1,1	1,1	0,4	0,2	0,1	0,59	
Dpv	1,7	8,3	1,7	1,7	1,7	3,6	3,6	1,2	0,8	0,4	2,0	
Dpk	2,1	10,2	2,1	2,1	2,1	4,4	4,4	1,4	1,0	0,5	2,4	
Dpzp	0,12	0,6	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,03	0,14	
Dpzv	4,2	20,4	4,2	4,2	4,2	8,8	8,8	2,9	1,9	0,9	4,8	
Dpzk	4,2	20,4	4,2	4,2	4,2	8,8	8,8	2,9	1,9	0,9	4,8	
Mp	0,060	0,139	0,060	0,066	0,065	0,090	0,088	0,050	0,041	0,029	0,066	
Mv	0,027	0,063	0,027	0,033	0,033	0,040	0,040	0,023	0,019	0,013	0,030	
Mk	0,033	0,076	0,033	0,033	0,032	0,049	0,047	0,027	0,022	0,016	0,037	
f (Mv)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
f (Mk)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
O	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	
š	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
h	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
v	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	
nv	1,01	2,02	1,01	1,11	1,09	1,40	1,37	0,80	0,65	0,46	1,05	
ne	0,46	0,98	0,46	0,57	0,57	0,65	0,65	0,37	0,30	0,21	0,48	
buňky pro „Hledání řešení“												
konečné výsledky												
buňky pro volné vkládání zadávaných hodnot												
buňky s vypočítávanými hodnotami												

větrací šachtě a v komíně, které se průběžně při postupném přibližování k výsledku (vynulování cílových hodnot) automaticky přepočítávají.

Celý postup velmi ulehčí **použití makra**, do něhož se oba postupy nahrají bezprostředně za sebou. Makro se použije postupně tolikrát, až se výsledek nemě-

ní. Což lze ještě zmechanizovat využitím dalších možností programu Visual basic, pod nímž makra pracují. Nejjednodušší je do makra postup vícekrát za sebou (třeba 10 x) zkopírovat. Pro vyvolání makra je vhodné vložit do výpočtového listu spouštěcí „tlačítko“. Jednoduché je spouštění makra po jeho označení postupem „Nástroje“ – „Makra“ – „Možnosti“ – „ctrl+písmeno“.

Tab. 2 Výpočet přirozeného větrání kotelný za chodu kotle s atmosférickým hořákem, napojeném na komín přes přerušovač tahu

Přirozené větrání plynové kotelný za chodu kotle		Zimní provoz	Letní extrém	Přechodné období					
Teploty °C spalin		tsp	150	150	150	150	150	150	150
venkovní	te	20	-12	30	6	-6	0	20	20
vnitřní	ti	25	7	35	15	10	12	19	22,8
v komíně	tk	115	89	122	104	94	99	115	116
Výšky šachty m		Makro ctrl+y							
přívodní	Hp	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
větrací	Hv	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
komína	Hk	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
Rozměr šachty mxm									
přívodní		0,45	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
větrací (pro kruhový průřez dosadit = 1!)		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
komína (pro kruhový průřez dosadit = 1!)		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Průměr šachty hydraulický m									
přívodní	Dp	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525
větrací (pro kruhový průřez dosadit!)	Dv	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
komína (pro kruhový průřez dosadit!)	Dk	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
Hustota vzduchu kg/m³									
přívodního	rp	1,205	1,352	1,165	1,265	1,322	1,293	1,205	1,205
větracího (vnitřního)	rv	1,185	1,261	1,146	1,226	1,247	1,239	1,209	1,193
v komíně	rk	0,909	0,976	0,893	0,937	0,963	0,950	0,909	0,907
Ztrátový součinitel v šachtě přívodní									
vstup (+síta) +tvar (kolena)	Zv	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
výstupem	Zvýst	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
třením	lambda	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ztrátový součinitel v šachtě větrací									
vstupem	Zv	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
výstupem	Zvýst	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
třením	lambda	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ztrátový součinitel v kouřových cestách									
vstup + tvar (bez kotle !)	Zv	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
výstupem	Zvýst	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
třením	lambda	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Účinný tah šachty Pa									
přívodní	Dpp	0,56	2,52	0,52	1,09	2,05	1,50	-0,11	0,31
větrací	Dpv	1,82	8,28	1,71	3,57	6,75	4,91	-0,37	1,03
komína	Dpk	32,8	41,7	30,2	36,4	39,8	38,1	32,7	33,0
	Dpv-Dpk+Dpzk	1,87	15,7	1,8	5,5	12,4	8,4	-1,28	0,08
Tlaková ztráta šachty Pa									
přívodní	Dpzp	2,3	3,4	2,2	2,7	3,1	2,9	0,4	2,3
větrací	Dpzv	32,8	49,1	30,2	38,4	45,5	41,6	31,8	32,0
komína	Dpzk	32,8	49,1	30,2	38,4	45,5	41,6	31,8	32,0
Průtok šachtou kg/s									
přívodní Mp = Mv + Ms + Mo (4)	Mp	0,270	0,344	0,256	0,296	0,328	0,311	0,114	0,267
větrací	Mv	0,077	0,097	0,073	0,085	0,093	0,088	0,076	0,076
komína	Mk	0,199	0,253	0,190	0,219	0,242	0,229	0,196	0,197
Parametry kotlů		17,860							
Výkon kotlů MW	Q	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232
Výhřevnost plynu kJ/mn³	Hu	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4
Účinnost kotle	η	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Přebytek vzduchu	λ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Spotřeba plynu kg/s (r = 0,74 kg/mn³)	P	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064
Průtok kg/s									
obtokem kotle	Mo	0,055	0,109	0,046	0,074	0,098	0,085	0,053	0,053
spalovacího vzduchu (r = 1,293 kg/mn³)	Ms	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
spalin z kotle (r = 1,24 kg/mn³)	Msp	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
Podmínky řešení									
Dpv + Dpk + Dpp - Dpzv - Dpzk = 0 (1)	f (Mv)	0,001	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,001	0,001
Dpzv - Dpzk = 0 (2)	f (Mk)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mk - Msp - Mo = 0 (3a)	f (Mo)	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,001
Intenzita výměny vzduchu v kotelně 1/h									
Objem kotelný m³	O	183	183	183	183	183	183	183	183
šířka m	š	6	6	6	6	6	6	6	6
hloubka m	h	5	5	5	5	5	5	5	5
výška m	v	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Intenzita výměny v kotelně 1/h	nv	4,4	5,0	4,3	4,6	4,9	4,7	1,9	4,4
Intenzita větrání šachtou 1/h	ne	1,28	1,51	1,25	1,36	1,46	1,40	1,24	1,26
Legenda			buňky pro „Hledání řešení“						
			konečné výsledky						
			buňky pro volné vkládání zadávaných hodnot						
			buňky s vypočítávanými hodnotami						

Rovnice (3) řešení uzavírá, neboť průtok M_p , stanovený z průtoků M_k a M_v , se cyklicky používá ve výpočtu tlakové ztráty v šachtě pro přívod vzduchu do kotelný Δp_{zp} , která vystupuje v rovnici (1).

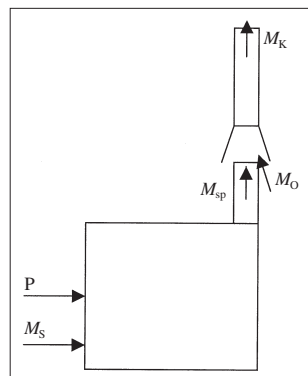
Aby bylo možné použít napsané **algoritmy i pro kruhové šachty**, je ve výpočtu zahrnuta logická volba při výpočtu průřezu šachet $A = a \cdot b$ se stranami obdélníka a , b a $A = \pi \cdot D^2/4$ s průměrem D . Ten se rovná dosaženému průměru kruhové šachty, pokud se dosadí $b=1$, jak je uvedeno v tab. 1 i 2.

K řešení musí být zadány teploty venku t_e , v kotelně t_i , v komíně t_k . Celý postup lze opakovat pro změněné podmínky, např. pro různé zvolené teploty v průběhu otopného období (venku -12, uvnitř +7 °C) a v létě (venku 30 a uvnitř 35 °C) při provozu kotlů jen k ohřevu TUV. Při nevyhovující vypočtené intenzitě větrání je nutné změnit průřez větrací šachty.

Výsledky vypočítaného příkladu pro zimní a letní provoz jsou v tab. 1. Řešení ukončené v prvním – výpočtovém – sloupci je přesouváno kopírováním vpravo přes pokyny „Úpravy“ – „Vložit jinak“ – „hodnoty“. Předtím je účelné postupem „Úpravy“ – „Vložit jinak“ – „Formáty“ do všech sloupců, kam budou výsledky přesouvány (zachová se zaokrouhlování čísel i barevné rozlišení buněk).

2. ALGORITMUS ŘEŠENÍ VĚTRÁNÍ ZA PROVOZU KOTLE

Pro podmínky stanovené v úvodu, musí být kotle připojeny na komín přes přerušovač tahu s pojistkou proti zpětnému proudění spalín do kotle – podle obr. 3. Za chodu kotle z něj vystupují spaliny M_{SP} , které jsou produkty hoření P (m_n^3/s nebo kg/s) plynu za přívodu M_S (kg/s) spalovacího vzduchu. **Spotřeba plynu**



Obr. 3 Proudové poměry u kotle s atmosférickým hořákem při napojení na komín přes přerušovač tahu s pojistkou proti zpětnému proudění spalín do kotle

o výhřevnosti H_u (pro zemní plyn 33,4 MJ/ m_n^3 = 46,39 MJ/kg – při hustotě 0,74 kg/ m_n^3) při výkonu kotlů ΣQ , (MW) a účinnosti kotle η (např. 0,8)

$$P = \frac{\Sigma Q}{\eta \cdot H_u}$$

Potřebný průtok spalovacího vzduchu M_S . Zemní plyn v ČR obsahuje 98,4 % metanu. Proto můžeme považovat spalování zemního plynu za totožné se spalováním metanu [2] s. 306. Vydeme-li ze zjednodušené stechiometrie spalování, pak je potřeba 10 m_n^3 vzduchu (2 m_n^3 kyslíku O_2 a 8 m_n^3 dusíku N_2) na spálení 1 m_n^3 zemního plynu a vznikne 11 m_n^3 vlhkých spalín (8 m_n^3 N_2 + 1 m_n^3 oxidu uhličitého CO_2 + 2 m_n^3 vodní páry H_2O).

Hmotnostní bilance: na spálení 1 kg ZP je třeba 3,97 O_2 + 13,89 N_2 = 17,86 kg vzduchu. Dokonalým spálením vznikne tedy 18,86 kg vlhkých spalín o hustotě 1,23 kg/ m^3 v nichž je 2,75 kg CO_2 + 2,22 kg vodní páry H_2O .

Tuto teoreticky potřebnou hodnotu spalovacího vzduchu je třeba násobit součinitelem přebytku vzduchu λ (= 1,1 až 1,4 pro atmosférické hořáky). Skutečný průtok spalovacího vzduchu

$$M_S = 17,86 \cdot P \cdot \lambda.$$

Vzduch v kotelně je teplotně rozvrstven, podlaha je zaplavena přiváděným vzduchem, u stropu je teplota nejvyšší. Teplota spalovacího vzduchu t_s bude blízká teplotě přiváděného vzduchu t_b , jehož vyústění musí být u podlahy, $t_s = t_b + b(t_i - t_b)$, kde b se může pohybovat od 0,1 do 0,9, je-li t_i průměrná teplota po výšce kotelný. Výpočet ukazuje, že většina vzduchu přiváděného do kotelný je použita jako vzduch spalovací a nemísí se příliš se vzduchem vnitřním. Přiváděný vzduch, s teplotou nižší než je v kotelně, je u podlahy stabilizován gravitační (vztlakovou) silou. Předložené výpočty hustot vzduchu s rozvrstvením nepočítají. Spalovací vzduch i větrací (odváděný) mají stejnou teplotu.

Velikost průtoku spalín M_{SP} plynovým kotlem závisí na mnoha faktorech, nejvíce na výkonu kotle, na složení paliva a na přebytku spalovacího vzduchu. Z kotle vystupuje průtok spalín

$$M_{SP} = (1 + 17,86 \cdot \lambda) P.$$

U atmosférických hořáků bez modulárního řízení není přívod spalovacího vzduchu upravován škrcením a potřebný průtok vzduchu se přisává účinkem vztlaku v kotli. Proto zejména přebytek vzduchu je hodnota nejistá.

Bilance průtoků vzduchu kotelnou, daná rovnicí (3), je pro tento případ modifikována:

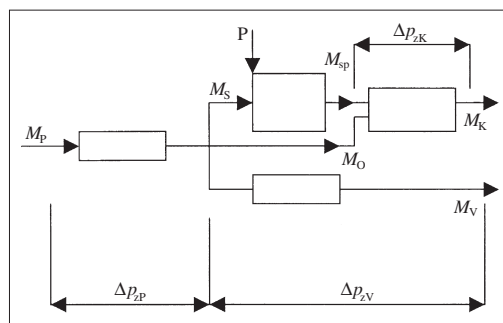
$$M_P = M_S + M_V + M_O \quad (3a)$$

Průtok komínem M_K je větší, než průtok spalín z kotle o vzduch přisávaný (musí být vždy kladná hodnota) obtokem kotle M_O

$$M_K = M_{SP} + M_O \quad (4)$$

jak ukazuje blokové schéma průtoků a tlaků v obr. 4.

Výsledky výpočtu průtoků kotelnou za provozu kotlů jsou v tab. 2. Neznámé jsou v tomto případě čtyři průtoky, pro jejichž určení jsou použity vztahy (1), (2), (3a) a (4).



Obr. 4 Schéma přirozeného větrání plynové kotelný s přerušovačem tahu

3. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH KRITIKA

Při posuzování výsledků je rozhodující **intenzita větrání šachtou n_s** , která je požadována technickými pravidly TPG 908 02, citovanými ve [2], [4], hodnotou minimálně 0,5 1/h za všech provozních podmínek. Výsledky ukazují řešení za letního a zimního extrému a v několika variantách teplot v přechodném období. Úpravou průřezů šachet je možné požadované hodnoty dosáhnout.

Pro řešení je předpokládáno, že proudění i tepelné stavy jsou časově ustálené. Ve skutečnosti jsou při přerušovaném chodu poměry vždy neustálené. Lze předpokládat, že i během provozní přestávky v létě – při chodu kotle jen pro ohřev TUV a to jen večer (např. od 18 h), bude vyhřátým komínem odcházet větrací vzduch po dosti dlouhou dobu. Jest-li to bude „za všech situací“, to nelze zaručit přirozeným větráním.

Výpočty je možné upřesnit např. zařazením

- výpočtu **aktuální hodnoty součinitele tření** $\lambda = f(Re, \varepsilon/D)$, kde Re závisí na teplotě a aktuální rychlosti, např. podle [1] s. 24, $\lambda = 0,28 [\log 5,5 \cdot D/(\varepsilon + 55 \cdot D/Re)]^{-2}$;
- výpočtu hustot ze **střední teploty v šachtách** t_m s uvažováním ochlazování nebo ohřevu vzduchu a spalín po délce šachty, např. podle [1] pro lineární pokles teploty

$$t_m = (t_1 + t_2)/2; \quad t_2 = [t_1(A - 1) + 2t_3]/(A + 1),$$

s teplotami vstupní t_1 a výstupní v šachtě t_2 , okolní t_3 s ochlazovacím číslem

$$A = 2 \cdot M \cdot c / (k \cdot U \cdot H),$$

v němž je M hmotnostní průtok v kg/s a c měrná tepelná kapacita (≈ 1050 J/kg K) plynu v šachtě, k součinitel prostupu tepla stěnou šachty, U obvod průřezu a H výška šachty. Hodnota k ($W/m^2 K$) je pro šachtu zděnou 2 až 3,5 pro plechové tepelně izolované šachty 1,5 až 2 a pro neizolované volně stojící komíny 3 až 6. Podle [3] s. 696 pro exponenciální změnu teplot uvnitř šachty,

$$t_m = t_3 + (1 - e^{-2/A}) (t_1 - t_3) \cdot A/2.$$

Výsledky výpočtu podle obou postupů jsou v daném případě téměř shodné.

- stanovení přesnější hodnoty průtoku spalín, zejména přebytku spalovacího vzduchu.

Tato upřesnění jsou užitečná pro toho, kdo se výpočty frekventovaně zabývá.

- Výpočet lze také modifikovat pro případ, kdy je **inverze z hlediska činnosti větrací šachty** (při $t_e \geq t_i$). Přirozené větrání funguje účinkem tahu komína, do kotleny se spalovací vzduch přivádí také větrací šachtou a bilance průtoků se změní na

$$M_p = M_s + (-M_v) + M_o$$

(3a)

K obrácení průtoku větrací šachtou (zvenku do kotleny) dojde při

$$\Delta p_v - \Delta p_k + \Delta p_{zk} \leq 0$$

Tab. 3 Výpočet přirozeného větrání plynové kotleny za inverze. Větrací šachtou je vzduch do kotleny přiváděn

Přirozené větrání plynové kotleny za inverze te > ti			Dpv - Dpk + Dpzk <0			Přesun: Makro ctrl+n				
Teploty °C	spalin	tsp	150	150	150	150	150	150	150	
		te	21	22	25	30	35	15	20	
		ti	20	20	20	20	20	7	15	
		tk	116	116	118	121	124	110	114	
Výšky šachty m	Makro ctrl+m									
		Hp	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	
		Hv	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	
		Hk	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	
Rozměr šachty mxm										
přívodní	větrací (pro kruhový průřez dosadit = 1!)	komína (pro kruhový průřez dosadit = 1!)		0,45	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
				0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
				0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Průměr šachty hydraulický m										
přívodní	větrací (pro kruhový průřez dosadit!)	komína (pro kruhový průřez dosadit!)	Dp	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525
			Dv	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
			Dk	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
Hustota vzduchu kg/m³										
přívodního	větracího (venkovního)	v komíně	rp	1,201	1,197	1,185	1,165	1,146	1,226	1,205
			rv	1,201	1,197	1,185	1,165	1,146	1,226	1,205
			rk	0,907	0,906	0,903	0,896	0,890	0,922	0,911
Ztrátový součinitel v šachtě přívodní										
vstup (+sítka) +tvary (kolena)	výstupem	třením	Zv	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
			Zvýst	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
			lambda	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ztrátový součinitel v šachtě větrací										
vstupem	výstupem	třením	Zv	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
			Zvýst	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
			lambda	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ztrátový součinitel v kouřových cestách										
vstup +tvary (bez kotle !)	výstupem	třením	Zv	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
			Zvýst	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
			lambda	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Účinný tah šachty Pa										
přívodní	větrací	komína	Dpp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Dpv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Dpk	32,5	32,2	31,3	29,8	28,4	33,7	32,5
			Dpv-Dpk+Dpz	-0,99	-0,98	-0,96	-0,91	-0,89	-1,02	-0,99
Tlaková ztráta šachty Pa										
přívodní	větrací	komína	Dpzp	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0
			Dpzv	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0
			Dpzk	31,5	31,2	30,3	28,9	27,5	32,6	31,6
Průtok šachtou kg/s										
přívodní Mp = (-Mv) + Ms + Mo (4)			Mp	0,176	0,174	0,171	0,166	0,162	0,180	0,176
větrací			Mv (<0)	0,013	0,013	0,013	0,013	0,012	0,014	0,013
komína			Mk	0,195	0,194	0,191	0,186	0,181	0,200	0,196
Parametry kotlů			17,860							
Výkon kotlů MW			Q	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232
Výhřevnost plynu kJ/mn³			Hu	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4
Účinnost kotle			η	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Přebytek vzduchu			λ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Spotřeba plynu kg/s (r = 0,74 kg/mn³)			P	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064
Průtok kg/s										
obtokem kotle			Mo	0,051	0,050	0,047	0,041	0,037	0,056	0,052
spalovacího vzduchu (r = 1,293 kg/mn³)			Ms	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
spalin z kotle (r = 1,24 kg/mn³)			Msp	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
Podmínky řešení										
Dpv + Dpk + Dpp - Dpzk - Dpzk = 0 (1)			f (Mk)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dpzk - Dpzk = 0 (2)			f (Mv)	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Mk - Msp - Mo = 0 (3a)			f (Mo)	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Intenzita výměny vzduchu v kotelně 1/h										
Objem kotleny m³			O	183	183	183	183	183	183	183
šířka m			š	6	6	6	6	6	6	6
hloubka m			h	5	5	5	5	5	5	5
výška m			v	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Intenzita výměny v kotelně 1/h			nv	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9
Intenzita větrání šachtou 1/h			ne	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22
Legenda			buňky pro "Hledání řešení"							
			konečné výsledky							
			buňky pro volné vkládání zadávaných hodnot							
			buňky s vypočítanými hodnotami							

Podmínku (1) je možné změnit na (1) = $f(M_k)$ a podmínku (2) na $\Delta p_{zv} - \Delta p_{zp} = f(M_v)$. Jak ukazují výsledky v tab. 3, průtok větrací šachtou je obrácený, vzduch proudí do kotleny. Za těchto klimatických stavů není vzduch odváděn pod stropem, ale veškerý přiváděný vzduch proudí komínem ven z kotleny. Kromě spalovacího vzduchu odchází část přiváděného vzduchu také obtokem kotle. Kotelná je větraná intenzitou n_v . Pozor! Při nevhodném vyústění šachty mohou být nasávaný spaliny.

4. ZÁVĚR

Výpočet přirozeného větrání plynové kotleny není jednoduchý. Je však zvládnutelný s využitím výborného nástroje inženýra – technika, kterým je tabulkový procesor MS Excel. Vybrané dva příklady ukazují podrobně jak lze sestavit algoritmus výpočtu a jak poté jednoduše řešit alternativní uspořádání s téměř okamžitou odpovědí na tendenci vlivu zadaných změn. Postup se hodně blíží skutečnosti, takže se není proč obávat o nesoulad vypočtených průtoků s naměřenými. Je pravda, že vstupní hodnoty se musí vyhledávat, např. pracné je zjišťování součinitelů tlakových ztrát v místních odporech, např. v [1] s. 25.

Výpočet vychází z přírodních zákonitostí a přes

určité odhady vstupních veličin dává určitě lepší výsledky než empirické globální údaje (o potřebných průřezích šachet, rychlostech větracího vzduchu apod., jak je např. v [2] na str. 1296).

Použití předloženého postupu je dokumentováno dvěma vyřešenými příklady. Podrobný výklad řešení v Excelu je určen méně zkušeným technikům. Těm přejí úspěch a věřím, že dobré zkušenosti je nadchnou pro četnější využívání Excelu místo (programovatelné) kalkulačky.

Největším přínosem výpočtu je možnost rychlého ověření funkčnosti navrženého přirozeného větrání koteleny včetně podmínek pro přívod spalovacího vzdu-

chu. Výpočtem je pak doložena funkce větrání tak, jak požadují technická pravidla, platná pro větrání kotelen.

Literatura:

- [1] CHYSKÝ, J., HEMZAL K. a kol. *Větrání a klimatizace. Technický průvodce 31*, Bolit Press 1993, Brno
- [2] *Topenářská příručka*. GAS s. r. o., Praha 2001
- [3] Recknagel – Sprenger – Schramek: *Taschenbuch für Heizung + Klima Technik*. Oldenbourg 1995
- [4] DRKAL, F.: *Větrání plynových kotelen*. VVI 3/2002, s. 93–100
- [5] HEMZAL, K.: *Aerodynamika větrání*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2002. ■

* Nové plastové kulové kohouty ASV Stübbe

Řada kulových kohoutů z termoplastů PVC a PP pro průmysl a úpravní vody je řešena jako kompaktní armatury plně využívající možnosti ekonomického a spolehlivého svařování k dosažení výhodného poměru ceny k výkonu. Jak je obvyklé u všech kulových armatur ASV Stübbe, mají největší možné vrtání koule s cílem dosažení nejvyšších hodnot k_v . S přivařovanými závitovými hrdly dle DIN 8063 se vyrábí ve variantách 15 až DN 50 pro pracovní tlak do PN 16. Přírubová provedení se připravují. Na přání se dodává s rozhraním pro ovládání pohony dle ISO 5211.

S novým kulovým kohoutem C 122–W z termoplastického polyethylenu PE 100 (PE-HD s pevností R_m min. 10 MPa) představuje ASV Stübbe první kulový kohout pro pracovní tlak PN 16, připuštěný DVGW pro pitnou vodu s certifikátem DW- 6210BM0178. Vyrábí se v provedeních 32 až DN 180. Maximální vrtání koule je přizpůsobeno světlosti používaných PE trubek s cílem minimálních tlakových ztrát. Koule armatury je opatřena po obvodě drážkou, která při otevření zajišťuje proplachování vnitřních prostor armatury a brání tak růstu mikroorganismů ve stojaté vodě. Způsob utěsnění vřetena vylučuje netěsnosti, řešení převodu od ND 63 brání vzniku tlakových rázů a jeho hermeticky těsné zapouzdření omezuje korozní účinky média a vylučuje přenos ovládacích sil na těleso armatury. Přivařování hrdel je možné obvodovým ohřevem fúzním svařováním nebo na tupo.

Pramen: [1] *Firemní informace ASV Stübbe GmbH, Vlotho, 2002.*

(AB)

* Novinky pozinkovaných plechů

Mezi říjnem 2000 a prosincem 2001 uvedl *ThyssenKrupp Stahl* do provozu dvě nová zařízení na žárové zinkování ocelových pásů v Neuwiedu a v Dortmundu. Zařízení FBA 8 ve Westfalenhütte v Dortmundu vyrábí ročně 3,8 mil. tun oboustranně zinkovaných ocelových pásů podle EN 10142 a jakosti Z 275 (oboustranně 275 g Zn/m²) v tloušťkách 0,3 až 1,5 mm a šířích 750 až 1 650 mm pro automobilový průmysl a stavebnictví. S polyesterovými povlaky coil-coating v 66 odstínech dle RAL jsou určeny pro spotřební elektrotechniku a zpracovávají se na střešní a stěnové systémy THYSSEN-Dach a THYSSEN-Wand v závodě Thyssen Bausysteme GmbH v Dinslaken.

Novinkou závodu Agozal Oberflächenveredlung GmbH v Neuwiedu je zejména nový typ oboustranně zinkovaných pásů agozal DoubleDip pro stavební účely v jakostech Z nebo ZA 420 až 1 000 (oboustranně 420 až 1 000 g Zn nebo ZnAl/m²) dle EN 10147, v tloušťkách 0,8 až 6 mm a šířích 200 až 800 mm. Technologie umožňuje povlakování vysokopevnostních ocelí až do meze kluzu R_e 1 200 MPa. Silně zinkované výrobky z pásů agozal DoubleDip se používají bez další úpravy na stavbu hal, skladových systémů, výrobu vzduchotechniky, vrat, dveří, rámu, zárubní, profilů a silničních zařízení.

Pramen: [1] *Tisková informace ThyssenKrupp Steel AG, Duisburg, k Mezinárodnímu veletrhu Hannover Messe 2002.*

(AB)

* Lepidlo Scotch-Weld DP 8005 pro přímé lepení PE a PP

Polyethylen (PE) a polypropylen (PP), jako levné, spolehlivé a ekologické 100% recyklovatelné plasty s nízkoeNERGETICKÝM povrchem, byly dosud při spojování odkázány na

předúpravu povrchu pro lepení chemickým leptáním, plamenem a plazmovým či koronovým výbojem, nebo na tavné a polyfúzní spojování a nejčastěji na mechanické způsoby spojování. Nové dvoukomponentní bezrozpouštědlové konstrukční lepidlo na akrylátové bázi firmy 3M pro lepení plastů, především polyolefinů PE a PP, má výhodu v tom, že nevyžaduje pro přípravu lepených PE/PE a PP/PP spojů nebo nesterorodých spojů s jinými materiály žádné předúpravy plastových povrchů. Lepidlo je vhodné též pro přípravu stejnorodých a nesterorodých adhezní lepených spojů plastů PET, PS (polystyren), PC (polykarbonát), ABS, PVC, plexiskla, elastomerů, oceli, nerezavějící oceli, hliníku a skla.

Použití pro potraviny a pitnou vodu je ve schvalovacím řízení americké FDA (Food and Drug Agency), představující v tomto oboru světovou autoritu, takže je zatím nelze používat pro rozvody pitné vody.

Jedna z německých firem, vyrábějící systémy domovních přípojek, Doyma GmbH & Co., Oyten, nabízí prostorově optimalizované kombinované společné prostupy přípojek elektrické energie, plynu, vody a telekomunikací pro nepodsklepené budovy. Prostup modelu Quadro-Secura BP-N tvoří ležatá hranolová skříň bednění z nerezavějící oceli do níž se vkládají trubky z nerezavějící oceli světlosti 76 mm o tloušťce stěny 2 mm různé délky, v nichž jsou zalepeny lepidlem DP 8005 ochranné ohebné korugované PE trubky o vnějším průměru 75 mm, které tvoří ochranný obal pro později zaváděné přípojky.

Pramen: [1] *Firemní informace 3M (Deutschland), Neuss, 2002.*

(AB)

* Mikroturbíny pro spalování bioplynu

Znepokojení kanadské vlády nad nedostatečným využitím úniku volného methanu z neřízených skládek komunálního odpadu, aniž by tento „skleníkový plyn“ vykonal práci, přimělo agenturu Suncor Energy Inc. k uzavření pětileté dohody s firmou Conestoga Rovers & Assoc. (CRA) na výstavbu řízených 30 až 35 skládek vybavených k výrobě elektřiny a tepla. Do výstavby prvních šesti lokalit a zařízení investuje asi 60 mil. CAD.

Podle ekologické firmy CRA zatím asi 25 % skládek v Kanadě již využívá bioplyn k výrobě elektřiny s vestavěným výkonem asi 100 MW. Daří se tak i snížení CO₂ asi o 6 mil. t ročně. Pro výrobu energie se využívá kompaktních spalovacích mikroturbin kalifornské firmy Capstone Turbine Corp. o výkonu 30 a 60 kW s hmotností 189 resp. 608 kg se snadnou montáží. Mikroturbíny jsou vybaveny kompresorem na stejné hřídeli jako generátor a rekuperátorem k předehřevu bioplynu spalínami. Turbíny jsou použitelné i pro výrobu energie spalováním uhlovodíků z pochodní na ropných polích, při těžbě zemního plynu a v petrochemických závodech. S ohledem na spalování agresivních plynů jsou vyrobeny převážně z korozivzdorných a žárupevných niklových slitin. Pro případ spalování kyselých plynů s až 7 % sirovodíku se vybavují pracím zařízením.

Při zkouškách na druhé největší světové skládce v Puento Hills blízko Los Angeles v USA pracují mikroturbíny Capstone a spalují bioplyn na spaliny s emisemi NO_x pouhých 1,3 ppm. Na ropných polích PanCanadian Petroleum Ltd. s rozptýlenými vrty spalí každá mikroturbína s výkonem 30 kW až 225 m³ zemního plynu denně, který by se jinak spaloval jako pochodeň.

Pramen: [1] *Nickel, 16, 2001, č. 3.*

(AB)