HYDRAULICKÝ VÝPOČET SAMOSTATNÉHO KOMÍNA

Obecné zásady

Zásadními podmínkami pro řešení výpočtu komínového průduchu jsou znalosti:

- výšky komínového průduchu
- výkonu, paliva, přebytku vzduchu a režimu provozu připojeného spotřebiče
- barometrického tlaku vzduchu (nadmořské výšky místa)
- složení stěny komína a tepelně technických vlastností materiálu komína

Samostatné komíny jsou nejčastěji řazeny do kategorie suchých komínů

Postup návrhu a posouzení komína s přirozeným komínovým tahem vyjadřuje tento postup:

1) Stanovení množství spalin při jmenovitém výkonu a sníženém výkonu připojeného spotřebiče - výpočet.
2) Statický tah – výpočet
3) Průřez komínového průduchu - návrh
4) Stanovení tahových ztrát kouřovodu, komínového průduchu a vzduchové cesty - - výpočet
5) Účinný komínový tah - výpočet
6) Porovnání účinného komínového tahu v porovnání s provozními podmínkami spotřebiče stanovenými pro připojení spotřebiče na komín - posouzení

Způsob stanovení množství spalin a jejich hmotnostního průtoku:

Stanovení teoretického množství spalin

Objem spalin lze stanovit přesnými stechiometrickými výpočty, které jsou uvedeny např. v kapitole 1.1.

Pro předběžný návrh komínového průduchu se běžně používá Rosin-Fehlingových vzorců vycházejících z výhřevnosti paliva a přebytku vzduchu. Podle těchto vztahů lze snadno získat objem spalin , který vznikne spálením jednotky paliva (1kg, $1m^3$) za normálních podmínek (t_p = 0 °C , atmosferickém tlaku p_n = 101 325 Pa) .

a) pro plynná paliva (Zemní plyn, propan – butan)

Teoretický objem spalin vzniklý při spálení $1m^3$ plynu a přebytku vzduchu n se stanoví (při teplotě t_p=0°C a atmosferickém tlaku p_b = 101 325 Pa) podle tab._._ .

$$S_{sn} = 1.n.S_{vt} \qquad (m^3_{spalin}.m^{-3}_{plynu}) \qquad [6.1]$$

kde

t_p je referenční teplota (°C)

n je součinitel přebytku spalovacího vzduchu (--)

(pro plynná paliva n = 1,1 až 1,4)

S_{vt} je teoretický objem vlhkých spalin podle tab. 5.1 ($m^3.m^{-3}$)

Podle Rosin Fehlingových vztahu lze počítat také:

$$S_R = 0{,}272.H_V + 0{,}25 + (n-1).(0{,}26.H_V + 0{,}25) \qquad (\ m^3_{spalin}.m^{-3}_{plynu}\ ) \qquad [6.2]$$

kde

H_V je výhřevnost paliva (viz.tab. 6.2) (MJ.kg)

n je součinitel přebytku spalovacího vzduchu (--)

(pro plynná paliva n = 1,1 až 1,4)

Tab. 6.1 – Základní parametry používaných plynů (vztaženo na 1 m^3 plynu)

Druh plynu	Spalné teplo	Výhřevnost H_v	Hustota ρ	Teoret. Objem vzduchu	Teoretický objem spalin z jednotky paliva ($m^3.m^3$)			S_{st}	S_{vt}
	MJ/m^3	$MJ.m^{-3}$	$kg.m^{-3}$	$m^3.m^{-3}$	CO_2	N_2	H_2O	Suché	Vlhké
ZP - karbonský	37,78	34,07	0,76	9,04	0,96	7,2	1,82	8,19	10,01
- tranzitní	39,77	35,87	0,729	9,53	1,00	7,6	1,91	8,55	10,46
Propan-butan -letní	115,2	106,15	2,3	27,71	3,52	21,9	4,34	25,45	29,79
-zimní	111,8	103,06	2,24	26,88	3,41	21,3	4,23	25,70	28,93
Bioplyn ze skládek	24,68	22,25	1,18	5,90	0,98	4,7	1,19	5,68	6,87
Směs PB-vzduch (53/47 %)	63,35	58,44	1,88	14,78	1,94	12,0	2,38	14,01	16,39
Směs ZP-vzduch (54/46 %)	21,47	19,35	0,99	4,68	0,54	4,08	1,03	4,62	5,65

b) pro tuhá paliva

Přibližný teoretický objem spalin vzniklý při spálení 1 kg tuhého paliva při součiniteli přebytku vzduchu n a při teplotě t_p=0°C a atmosferickém tlaku p_b = 101 325 Pa se stanoví podle Rosin Fehlingového vztahu:

$$S_R = H_V.0{,}212 + 1{,}65.(n-1).(H_V.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04 \qquad (\ m^3_{spalin}\ .\ kg^{-1}\ ) \qquad [6.3]$$

kde

H_V je výhřevnost paliva (viz.tab. 6.2) (MJ.kg)

n je přebytek spalovacího vzduchu (--)

- pro koks a dřevo n = 1,7
- pro černé a hnědé uhlí n = 1,3 až 1,7

tab. 6.2 - Orientační parametry tuhých paliv

Tuhé palivo	Výhřevnost ($MJ.m^{-3}$)	Hustota sypaného paliva ($kg.m^{-3}$)
Koks Kamenouhelný	21,7 – 28,0	400 – 650
Polokoks Hnědouhelný	13,8 – 20,0	450 – 690
černé uhlí	22,6 – 30,1	650 – 850
hnědé uhlí A	16,7 – 19,0	600 – 800
hnědé uhlí B	13,0 – 16,0	600 – 800
hnědé uhlí C	9,5 – 13,0	600 – 800
Lignit	5,4 – 12,6	600 – 700
Dřevo (polena)	10,8 – 19,3	320 – 550

Tab. 6.3 – Výhřevnost hlavních druhů palivového dřeva a objemová hmotnost

Druh paliva	Objemová hmotnost sušiny	Objemová hmotnost při vlhkosti 25 %		Výhřevnost při vlhkosti 25 %		
	(kg / m^{-3})	(kg / pm)	(kg / rm)	(kJ / kg)	(KJ / pm)	(KJ / rm)
Smrk	430	575	415	13,1	7350	5440
Jedle	430	575	415	14,0	8040	5800
Borovice	510	680	495	13,6	9250	6730
Modřín	545	725	525	13,4	9720	7040
Topol	400	530	360	12,3	6540	4440
Olše	480	640	430	12,9	8260	5550
Vrba	500	665	450	12,8	8490	5740
Bříza	585	780	525	13,5	10550	7100
Jasan	650	865	585	12,7	11010	7450
Buk	650	865	585	12,5	10830	7320
Dub	630	840	565	13,2	11050	7430
Habr	680	905	610	12,1	10970	7400
Akát	700	930	630	12,7	11850	8030

pm = 1 m^3 samotného dřeva (pevný metr)
rm = 1 m^3 rovnaných polen = 60 – 75 % dřevo, ostatní vzduch

c) pro kapalná paliva

Teoretický objem spalin vzniklý při spálení 1 kg kapalného paliva při součiniteli přebytku vzduchu n (při teplotě t_p=0°C a atmosferickém tlaku p_b = 101 325 Pa) se stanoví přibližně z Rosing Fehlingova vztahu:

$$S_R = H_V.0{,}265 + (n-1).(H_V.0{,}21 + 1{,}7).1{,}04 \qquad (\text{m}^3_{\text{spalin}}.\text{kg}^{-1}) \qquad [6.4]$$

H_V je výhřevnost paliva (viz.tab. 6.4) (MJ.kg^{-1})
n je přebytek spalovacího vzduchu (--)
- kapalná paliva n = 1,2 až 1,5

tab. 6.4 - Orientační hodnoty paliv

Kapalné palivo	Výhřevnost	Hustota při 20°C
	(MJ.kg^{-1})	(kg.m^{-3})
Topná nafta motorová	42,0 – 46,0	810 – 859
Olej topný lehký L	42,3	Max. 910
Olej topný střední S	41,9	Max. 930
Olej topný (mazut) M	40,8	Max. 990

Skutečný objem spalin S_s za provozních podmínek dostaneme úpravou stavové rovnice.

$$\frac{p_b.S_R}{273} = \frac{b.S_S}{T_s} \quad \Rightarrow \quad \boxed{S_s = \frac{p_b}{b}.\frac{t_s + 273}{273}.S_R} \qquad (\text{m}^3.\text{kg}^{-1}\ (\text{m}^3_{\text{plynu}})) \qquad [6.5]$$

b je skutečný atmosferický tlak (tab. 6.9) (Pa)
p_b je referenční atmosferický tlak p_b = 101 325 Pa (Pa)
t_s je střední teplota spalin (°C)
S_R je objem spalin při t_L = 0 °C , p_b = 101 325 Pa (m^3.kg^{-1} (m^{-3}))

Potřeba paliva B za časovou jednotku při výhřevnosti H_v:

$$B = \frac{Q_s.3{,}6}{H_v.\eta} \qquad (\ m^3_p.h^{-1}\ ) \qquad [6.6]$$

Q_s je výkon spotřebiče (kW)
H_v je výhřevnost paliva (viz. výše uvedená tabulka) ($MJ.m^{-3}$; $MJ.kg^{-1}$)
η je účinnost spotřebiče (v intervalu 0 až 1) (--)

Objemový průtok spalin S_{sp} při výkonu spotřebiče Q_s:

$$S_{SP} = S_s.B \qquad (\ m^3_{spalin}.h^{-1}\ ) \qquad [6.7]$$

B je potřeba paliva za časovou jednotku ($m^3_p.h$)
S_s je skutečný objem spalin za provozních podmínek ($m^3_p.kWh$)

Hmotnostní průtok spalin dostaneme:

$$\dot{m}_{sp} = S_{sp}.\rho_{sp} \qquad (\ kg.h^{-1}\ ) \qquad [6.8]$$

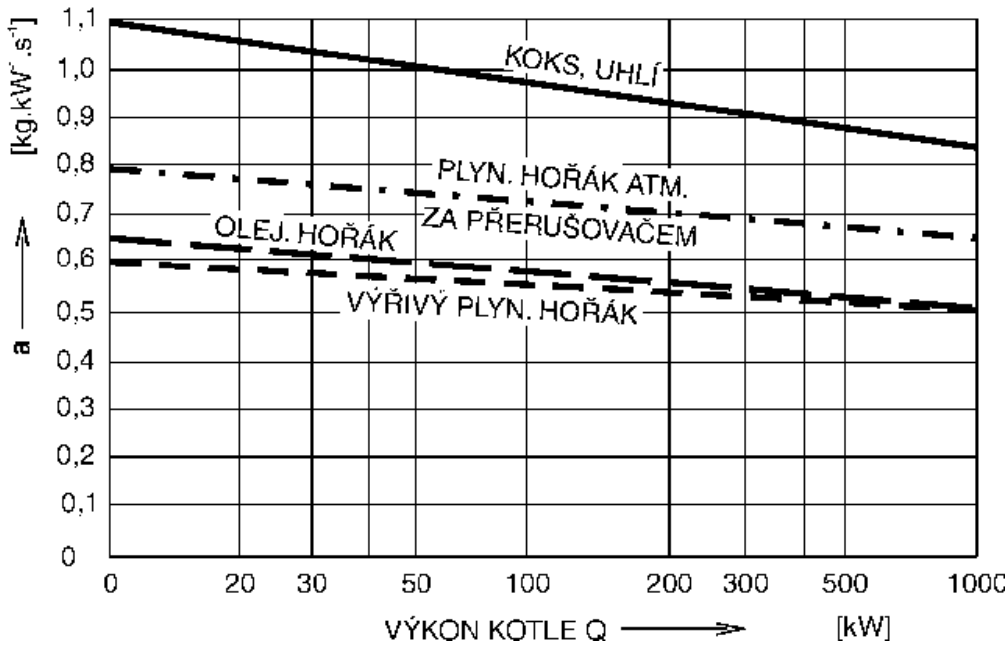
ρ_{sp} je hustota spalin ($kg.m^{-3}$)

Pro předběžné výpočty, nebo výpočty od kterých neočekáváme vysokou přesnost, lze použít zjednodušených vztahů. Mezi které patří např.:

$$\dot{m} = a.Q.10^{-3} \qquad (\ kg.s^{-1}\ ) \qquad [6.9]$$

kde
a je součinitel odečtený z diagramu na obr. 6.1 v závislosti na výkonu spotřebiče a druhu použitého paliva. (--)
Q je výkon spotřebiče (kW)

Obr. 6.1 - Přibližný výpočet hmotnostního toku spalin podle výkonu spotřebiče pro různá paliva



Příklad P 6.1:
Vypočtěte skutečné množství spalin pro plynový spotřebič na zemní plyn s jmenovitým výkonem Qs = 24,0 kW a účinnosti 85%. Palivem bude zemní plyn tranzitní s výhřevností H_v=35,87 MJ/kg, při přebytku vzduchu při spalování n = 1,4. Teplota spalin t_s = 140°C. Kotelna (místnost se spotřebičem je umístěna v místě s nadmořskou výškou 200 m.n.m.)

Teoretické množství spalin při teplotě 0 °C, barometrickém tlaku 101 325 Pa

$$S_{sn} = 1.n.S_{vt} \qquad (m^3_{spalin}.m^{-3}_{plynu})$$

$$S_{sn} = 1.1{,}4.10{,}46 = \underline{\underline{14{,}644}}\ m^3_{spalin}.m^{-3}_{plynu}$$

Skutečné množství spalin při jejich teplotě spalin t_s = 150 °C a atmosferickém tlaku p_b= 98 860 Pa (200 m.n.m)

$$S_s = \frac{p_b}{b}.\frac{t_s + 273}{273}.S_{sn} \qquad (m^3.kg^{-1})$$

$$S_s = \frac{101325}{98860}.\frac{140+273}{273}.14{,}644 = \underline{\underline{22{,}71}}\ m^3_{spalin}.m^{-3}_{plynu}$$

Pro plynové spotřebiče s atmosferickým hořákem a přerušovačem tahu je třeba uvažovat přebytek vzduchu, který je měřen za přerušovačem tahu a který je přímo závislý na komínovém tahu.
Potřeba tepla za časovou jednotku:

$$\dot{U} = \frac{Q_s.3{,}6}{H_v.\eta} \qquad (m^3_p/h)$$

$$\dot{U} = \frac{24{,}0.3{,}6}{35{,}87.0{,}85} = 2{,}83\ m^3_p.h^{-1}$$

Objemový průtok spalin při jmenovitém výkonu spotřebiče:

$$\dot{V}_{SP} = S_s.\dot{U} \qquad (m^3_{spalin}.h)$$

$$\dot{V}_{SP} = 22{,}71.2{,}834 = 64{,}36\ m^3_{spalin}.h^{-1}$$

Hmotnostní průtok spalin dostaneme ze vztahu:

$$\dot{m}_{sp} = \dot{V}_{sp}.\rho_{sp} \qquad (kg.h^{-1})$$

$$\dot{m}_{sp} = 64{,}36.0{,}780 = 50{,}2\ kg_{spalin}.h^{-1}$$

Příklad P 6.2:
Vypočtěte skutečné množství spalin pro kotel na tuhé palivo s jmenovitým výkonem 50 kW s účinností 80%. Spalováno bude černé uhlí o výhřevnosti H_v=22,6 MJ/kg, při přebytku vzduchu n = 1,6. Teplota spalin na kouřovém hrdle spotřebiče t_s = 150 °C. Kotelna je umístěna v nadmořské výšce 800 m.n.m.

Teoretické množství spalin při teplotě 0 °C, barometrickém tlaku 101 325 Pa

$$S_{sn} = H_V.0{,}212 + 1{,}65 + (n-1).(H_V.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04 \qquad (m^3_{spalin}.kg^{-1})$$

$$S_{sn} = 22{,}6.0{,}212 + 1{,}65 + (1{,}6-1).(22{,}6.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04 = \underline{\underline{10{,}15}}\ m^3_{spalin}.kg^{-1}_{\text{černého uhlí}}$$

Skutečné množství spalin při jejich teplotě na kouřovém hrdle t_s = 150 °C a atmosferickém tlaku p_b = 92 060 Pa (800 m.n.m)

$$S_s = \frac{p_b}{b}.\frac{t_s + 273}{273}.S_{sn} \qquad (m^3.kg^{-1})$$

$$S_s = \frac{101325}{92060}.\frac{150+273}{273}.10{,}15 = \underline{\underline{17{,}31}}\ m^3_{spalin}/kg^{-1}_{\text{černého uhlí}}$$

Potřeba tepla za časovou jednotku:

$$\dot{U} = \frac{Q_s.3{,}6}{H_v.\eta} \qquad (\ m^3{}_p.h^{-1}\ )$$

$$\dot{U} = \frac{50{,}0.3{,}6}{22{,}6.0{,}8} = 9{,}96\ \ m^3{}_p.h^{-1}$$

Objemový průtok spalin při jmenovitém výkonu spotřebiče:

$$\dot{V}_{SP} = S_s.\dot{U} \qquad (\ m^3{}_{spalin}.h^{-1}\ )$$

$$\dot{V}_{SP} = 17{,}31.9{,}96 = 172{,}4\ \ m^3{}_{spalin}.h^{-1}$$

Hmotnostní průtok spalin dostaneme ze vztahu:

$$\dot{m}_{sp} = \dot{V}_{sp}.\rho_{sp} \qquad (\ kg.h^{-1}\ )$$

$$\dot{m}_{sp} = 172{,}4.0{,}790 = 136{,}2\ \ kg_{spalin}.h^{-1}$$

Příklad P 6.3:

Vypočtěte skutečné množství spalin vzniklé spalováním kapalného paliva v teplovodním kotli s sjemovitým výkonem 50,0 kW, jehož účinnost je 82%. Palivem je topný olej lehký (LTO) s výhřevnosti H_v=42,3 MJ/kg. Ke spalování dochází při součiniteli přebytku vzduchu n = 1,4 .

Teoretické množství spalin při teplotě 0 °C, barometrickém tlaku 101 325 Pa

$$S_{sn} = H_V.0{,}212 + 1{,}65 + (n-1).(H_V.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04 \qquad (\ m^3{}_{spalin}.kg^{-1}\ )$$

$$S_{sn} = 42{,}3.0{,}212 + 1{,}65 + (1{,}4 - 1{,}0).(42{,}3.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04 = \underline{\underline{15{,}613}}\ \ m^3{}_{spalin}.kg^{-1}{}_{LTO}$$

Skutečné množství spalin při jejich teplotě na kouřovém hrdle t_s = 200 °C a atmosferickém tlaku p_b = 98 860 Pa (200 m.n.m)

$$S_s = \frac{p_b}{b}.\frac{t_s + 273}{273}.S_{sn} \qquad (\ m^3.kg^{-1}\ )$$

$$S_s = \frac{101325}{98860}.\frac{200 + 273}{273}.15{,}613 = \underline{\underline{27{,}73}}\ \ m^3{}_{spalin}.kg^{-1}{}_{LTO}$$

Potřeba tepla za časovou jednotku:

$$\dot{U} = \frac{Q_s.3{,}6}{H_v.\eta} \qquad (\ m^3{}_p.h^{-1}\ )$$

$$\dot{U} = \frac{50{,}0.3{,}6}{42{,}3.0{,}82} = 5{,}19\ \ m^3{}_p.h^{-1}$$

Objemový průtok spalin při jmenovitém výkonu spotřebiče:

$$\dot{V}_{SP} = S_s.\dot{U} \qquad (\ m^3{}_{spalin}.h^{-1}\ )$$

$$\dot{V}_{SP} = 27{,}73.5{,}19 = 143{,}92\ \ m^3{}_{spalin}.h^{-1}$$

Hmotnostní průtok spalin dostaneme ze vztahu:

$$\dot{m}_{sp} = \dot{V}_{sp}.\rho_{sp} \qquad (\ kg.h^{-1}\ )$$

$$\dot{m}_{sp} = 143{,}92.0{,}7 = 100{,}75\ \ kg_{spalin}.h^{-1}$$

Hmotnostní průtok spalin lze také stanovit podle diagramu na obr. 6.1 až 6.3 z výkonu spotřebiče a obsahu CO_2 ve spalinách. Přibližný obsah CO_2 ve spalinách je v diagramech vyznačen pro atmosferický a přetlakový hořák.

Výpočet velikosti průřezové plochy komínového průduchu

Na základě celkového množství spalin a předpokládané rychlosti jejich proudění určujeme průřezovou plochu komínového průduchu.

Průřezová plocha komínu při střední hustotě spalin :

$$S = \frac{\dot{V}_{sp}}{3600.w_{spm}} = \frac{\dot{m}_{sp}}{3600.w_{spm}.\rho_{spm}} \qquad (\mathrm{m}^2) \qquad [6.10]$$

$\dot{V}_{sp}$ je objemový průtok spalin ($m^3.h^{-1}$) (viz. kap. 6.1)

$\dot{m}_{sp}$ je hmotnostní tok spalin ($kg.h^{-1}$)

$\dot{m}_{sp} = \dot{V}_{sp}.\rho_{spm}$ ($kg.h^{-1}$)

w_{spm} je rychlost spalin (viz.tab 5.5) ($m.s^{-1}$)

Přibližné hodnoty střední rychlosti spalin jsou uvedeny v tab. 6.5

ρ_{spm} je střední hustota spalin ($kg.m^{-3}$)

tab. 6.5 - Střední rychlosti spalin v komínovém průduchu podle výpočtové výšky

tah	tuhá a kapalná paliva		plynná paliva	
	výpočtová výška komínového průduchu H	rychlost spalin w_{spm}	Výpočtová výška komínového průduchu H	Rychlost spalin W_{spm}
	(m)	($m.s^{-1}$)	(m)	($m.s^{-1}$)
Přirozený	10	1,6	3	1,5
	12	1,8	5	2,0
	14	1,9	10	2,4
	16	2,1	15	2,7
	18	2,3	20 a více	3,0
	20	2,4		
	25	2,7		
	30 a více	3,0		
Umělý		6,0 – 10,0		

Kriteria pro výpočet teploty v okolí komína:

Ke stanovení výpočtového tahu komína se volí venkovní výpočtová teplota podle provozu spotřebiče:

- T_L = 288,15 K (t_L=15°C) pro kotle na vytápění
- T_L = 298,15 K (t_L= 25°C) pro spotřebiče na přípravu TUV

Ke stanovení výpočtové teploty okolí komína se používá následujících hodnot:

- *U komínů vestavěných:*

- pro vytápěný prostor budovy T_{vi} = 293,15 K (t_{vi} = 20°C)
- pro nevytápěný prostor budovy T_{vi} = 273,15 K (t_{vi} = 0°C)

- *U komínů přistavěných nebo volně stojících:*

- pro komíny se suchým provozem T_{ve} = 293,15 K (t_{ve} = 0°C)
- pro komíny s mokrým provozem T_{ve} = 258,15 K (t_{ve} = -15°C)

Komíny, které jsou navrženy částmi budovy s rozdílnou teplotou mohou být vypočteny buď s teplotou svého okolí, nebo podle součtu podílů komína k příslušné teplotě. Tato teplota by neměla překročit 288,15 (15°C). Pokud část venkovní plochy vně a v nevytápěných prostorách nepřekročí 1/4 celkové vnější plochy komína, bere se za teplotu okolí komína 288,15 K (15°C).

Tepelně technické vlastnosti komínové stěny

Součinitel prostupu tepla.

- Za předpokladu teplotní setrvačnosti komínového průduchu se vypočte součinitel prostupu tepla ze vztahu:

A) pro čtvercový nebo obdélníkový průřez komína lze přibližně psát:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \qquad (\mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}}) \quad [6.11]$$

α_i je součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu komínového průduchu (kouřovodu) lze stanovit podle obr. 6.5 , 6.6 , nebo výpočtem ze vztahu:

$$\alpha_i = 2{,}326 + 11{,}63.\sqrt{v_m} \qquad (\mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}}) \quad [6.12]$$

v_m je střední rychlost spalin (tab. 6.5)

α_e je součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu komína, který vyjadřujeme hodnotou:

α_e = 8 $\mathrm{W.m^{-2}.K}$ pro vestavěné komíny

α_e = 23 $\mathrm{W.m^{-2}.K}$ pro komíny přistavěné, nebo samostatně stojící

nebo výpočtem podle vztahu : $\alpha_e = 2{,}56.\sqrt[4]{\Delta t}$ je-li $\Delta t \geq 10$ °C ($\mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}}$) [6.13]

λ_i je součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy pláště komína ($\mathrm{W.m^{-1}.K^{-1}}$)

s_i je tloušťka i-té vrstvy stěny komína (kouřovodu) (m)

B) pro kruhový průřez komína lze psát:

$$k \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i . D_i} + \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{2.\lambda_j} . \ln . \frac{D_j''}{D_j'} + \frac{1}{\alpha_e . D_e}} \qquad (W.m^{-2}.K^{-1}) \quad [6.14]$$

kde

D_i je vnitřní průměr válcové stěny průduchu (m)
D_e je vnější průměr válcové stěny komína (m)
D_j'' je vnější průměr j-té vrstvy stěny komína (m)
D_j' je vnitřní průměr j-té vrstvy stěny komína (m)

- Za předpokladu nedostatečné teplotní setrvačnosti komínového průduchu podle vztahu:

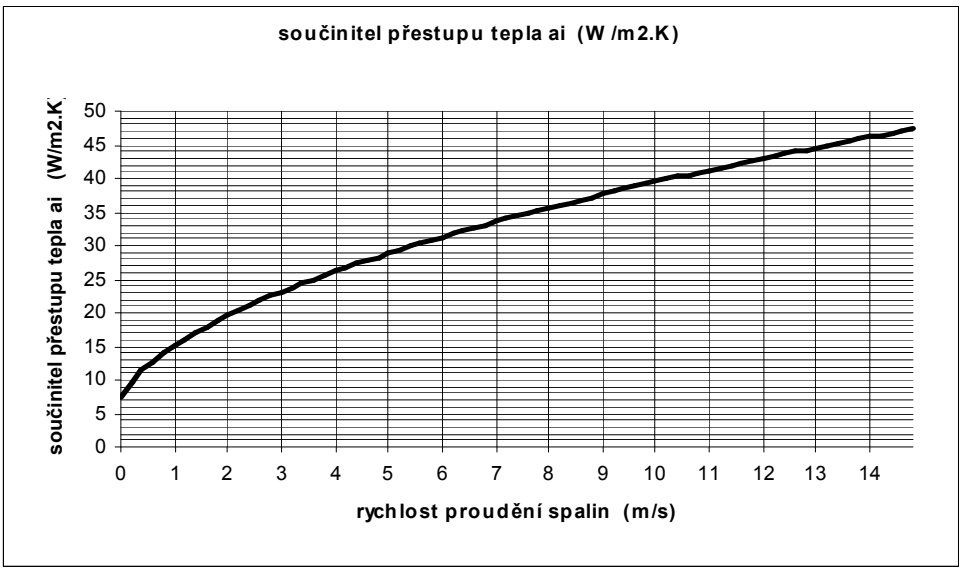
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H . \left[\sum_{1}^{n} \frac{s_i}{\lambda_i} + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he} . \alpha_e} \right) \right]} \qquad (W.m^{-2}.K^{-1}) \quad [6.15]$$

kde

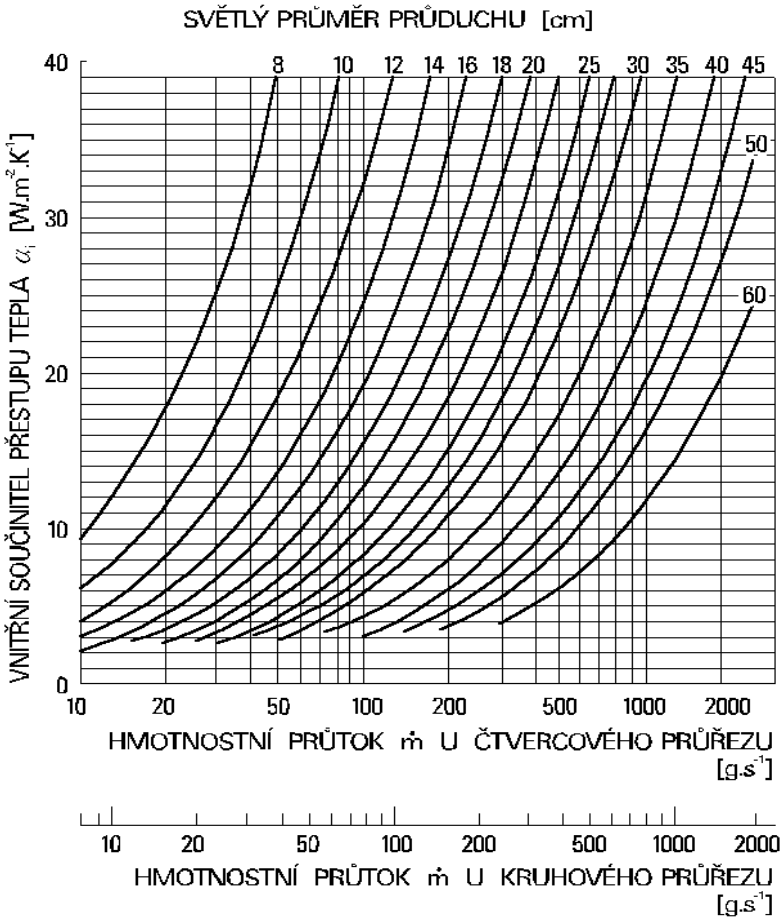
D_{hi} je hydraulický průměr komínového průduchu (m)
D_{he} je hydraulický průměr vnějšího rozměru pláště komína (m)
S_H je Součinitel neustáleného teplotního stavu, vyjadřující kolísání teplot při přerušovaném provozu spotřebiče. Součinitel závisí na konstrukci kotle a regulaci výkonu podle zařazení v kap. 2.7.

Poznámka:

Součinitel S_H se může volit pro lehké potrubí kouřového průduchu s minimální tloušťkou stěny, např. pro plechové potrubí hodnotou $S_H = 1$. V případě přerušovaného provozu se komínový průduch rychle ohřeje a tepelná izolace nedovoluje ochlazování vnějšího povrchu potrubí komínového průduchu. Pro součinitele $S_H = 1$ platí, že provoz spotřebiče je trvalý a celá konstrukce komína i s pláštěm a tepelnou izolací brání prostupu tepla. Nejčastěji se u plynových spotřebičů, kde předpokládáme přerušovaný provoz, volí součinitel $S_H = 0,5$. Pro hořáky s regulací Zapnuto/Vypnuto je $S_H = 0,5$.



Obr. 6.5 – Součinitel přestupu na vnitřním líci průduchu α_i / $W/m^2.K$ /



Obr. 6.6 – Součinitel přestupu tepla na vnitřním líci průduchu α_i (W.m^{-2}.K^{-1}) stanovený v závislosti na hmotnostním průtoku spalin:

Tab. 6.6 - Hodnoty tepelné vodivosti λ (W.m^{-1}.K^{-1}):

Materiál	Teplota (°C)	λ (W.m^{-1}.K^{-1})
Ocel	20	58
Zdivo nebo lehký beton	20	0,35 až 0,75
Beton	20	1,0 až 2,0
Omítka	20	0,5 až 0,9
Šamot	20	1,0
Šamot	200	1,1
Minerální vata	20	0,035
Minerální vata	100	0,045
Minerální vata	200	0,060

V závislosti na průměru komínového průduchu a součiniteli přestupu tepla je možné uvažovat součinitele prostupu tepla následovně:
k = 2,0 až 3,0 zděné komíny s tloušťkou komínového pláště 250 mm
k = 2,5 až 3,5 zděné komíny s tloušťkou komínového pláště 125 mm
k = 1,5 až 2,0 tepelně izolované potrubí komínového průduchu (vložky)
k = 3,5 až 6,0 neizolované potrubí komínového průduchu (vložky) nebo kouřovodu dle použitého materiálu.

a) Stanovení součinitele prostupu tepla pro komínové systémy

KOMTEC – ECO-CLASIC
-COMPLET

KOMTEC – ECO-FOSIL
ROKA RS 3000 PLUS
ROKA RS 2000 AQUA

Příklad P 6.4:

KOMTEC – ECO-CLASIC
-COMPLET

Skladba stěny komínového systému: (komínový průduch → exteriér)

- šamotová tvarovka tl. stěny 15 mm
- tepelná izolace minerální plstí tl. 30 mm
- plášťová tvarovka z Liaporu tl. 45 mm
- tenkovrstvá omítka tl. 3 mm

č.	Materiál	Tloušťka vrstvy	Lambda	tepelná kapacita	Měrná hmotnost	Faktor difúzního odporu
		d (m)	λ (W/m.K)	c (J/kg.K)	ρ (kg/m^3)	μ (-)
1	Šamotová tvarovka	0,015	1,360	980,0	2100,0	150,0
2	Minerální plsť	0,030	0,054	1150,0	350,0	9,0
3	Liaporová tvárnice	0,045	0,235	1100,0	700,0	3,9
4	Omítka tenkovrstvá	0,010	0,19	1000,0	800,0	35,0

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H \cdot \left[\left(\sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} \right) + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e} \right) \right]} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + 1{,}0.\left[\left(\frac{0{,}015}{1{,}36} + \frac{0{,}03}{0{,}054} + \frac{0{,}045}{0{,}235} + \frac{0{,}005}{0{,}19} \right) + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e} \right) \right]}$$

kde

α_i je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně (z diagramu 6.5 , 6.6 , nebo podle [6.12]
D_{hi} je hydraulický průměr komínového průduchu (m)
D_{he} je hydraulický průměr vnějšího rozměru pláště komína (m)
α_i je součinitel přestupu tepla na vnější straně (viz. kapitola 6.3 , nebo podle [6.13]

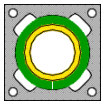
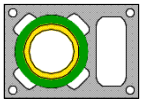
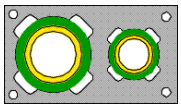
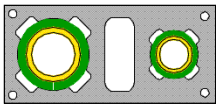
b) Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla pro konkrétní podmínky.

Pro jednoprůduchový komín s průduchem průměru 180 mm a plášťovou tvarovkou typu 1018 určeným k odvodu spalin od spotřebič viz. **příklad P 6.2** platí:
Ze známého hmotnostního průtoku spalin (viz příklad P 6.2 $\dot{m}_{sp} = 136{,}2 kg_{spalin}/h$)
stanovíme např. podle diagramu 6.6 součinitel přestupu tepla α_i:
Přepočteme hmotností tok m_{sp}=136,2 kg/h = 37,83 g/s $\Rightarrow \alpha_i = 6$ W.m^{-2}.K^{-1}
Komín bude přistavěn k budově: $\Rightarrow$ $\alpha_e = 23$ W.m^{-2}.K^{-1}

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H \cdot \left[\left(\frac{s_i}{\lambda_i} \right) + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e} \right) \right]} = \frac{1}{\frac{1}{6} + 1{,}0.\left[\left(\frac{0{,}015}{1{,}36} + \frac{0{,}03}{0{,}054} + \frac{0{,}045}{0{,}235} + \frac{0{,}005}{0{,}19} \right) + \left(\frac{0{,}18}{0{,}38.23} \right) \right]} =$$

$$= \frac{1}{0{,}\overline{16} + 1{,}0.\left[\left(0{,}011 + 0{,}\overline{5} + 0{,}192 + 0{,}026 \right) + \left(0{,}0206 \right) \right]} = \frac{1}{0{,}\overline{16} + 1{,}0.\left[0{,}8051 \right]} = \underline{\underline{1{,}03 W.m^{-2}.K^{-1}}}$$

Tab 6.7 – Výpočtové hodnoty D_{hi} a D_{he} pro komínové systémy KOMTEC ECO

Provedení	typ	D_{hi} (m)	D_{he} (m)
Jednoprůduchový 	1012	0,12	0,335
	1014	0,14	0,335
	1016	0,16	0,360
	1018	0,18	0,380
	1020	0,20	0,400
Jednoprůduchový s odvětráním 	1512	0,12	0,335
	1514	0,14	0,335
	1516	0,16	0,360
	1518	0,18	0,380
	1520	0,20	0,400
Dvouprůduchový 	2605	0,18	0,380
		0,12	0,335
	2606	0,18	0,380
		0,14	0,335
	2607	0,18	0,380
		0,16	0,360
	2609	0,20	0,400
		0,12	0,335
	2626	0,20	0,400
		0,14	0,335
	2627	0,20	0,400
		0,16	0,360
Dvouprůduchový s odvětráním 	2705	0,18	0,380
		0,12	0,335
	2706	0,18	0,380
		0,14	0,335
	2707	0,18	0,380
		0,16	0,360
	2709	0,20	0,400
		0,12	0,335
	2726	0,20	0,400
		0,14	0,335
	2727	0,20	0,400
		0,16	0,360

Příklad P 6.5:

Stanovte součinitel prostupu tepla k ($W.m^{-2}.K^{-1}$) pro komín ROKA RS 3000 PLUS o průměru komínového průduchu 180 mm. Množství spalin převzato z předchozího příkladu: Ze známého hmotnostního průtoku spalin (viz příklad P 6.2 $\dot{m}_{sp} = 136{,}2 kg_{spalin}/h$) stanovíme např. podle diagramu 6.6 součinitel přestupu tepla α_i:

Přepočteme hmotností tok m_{sp}=136,2 kg/h = 37,83 g/s $\Rightarrow \alpha_i = 6\ W.m^{-2}.K^{-1}$

Komín bude přistavěn k budově: $\Rightarrow \alpha_e = 23\ W.m^{-2}.K^{-1}$

č.	Materiál	Tloušťka vrstvy	lambda	tepelná kapacita	Měrná hmotnost	Faktor difúzního odporu
		d (m)	λ (W/m.K)	c (J/kg.K)	ρ (kg/m^3)	μ (-)
1	Nerezový plech	0,0010	58,00	440,0	7850,0	> 700000,0
2	Minerální plsť	0,0600	0,054	1150,0	350,0	9,0
3	Nerezový plech	0,0006	58,00	440,0	7850,0	> 700000,0

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H.\left[\left(\sum_1^N \frac{s_i}{\lambda_i}\right) + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e}\right)\right]} = \frac{1}{\frac{1}{6} + 1{,}0.\left[\left(\frac{0{,}001}{58{,}0} + \frac{0{,}06}{0{,}054} + \frac{0{,}0006}{58{,}0}\right) + \left(\frac{0{,}18}{0{,}3.23}\right)\right]} =$$

$$= \frac{1}{0{,}\overline{16} + 1{,}0.\left[\left(1{,}724.10^{-5} + 1{,}1\overline{1} + 1{,}0345.10^{-5}\right) + \left(0{,}0261\right)\right]} = \frac{1}{0{,}\overline{16} + 1{,}0.[1{,}137]} = \underline{\underline{0{,}767.W.m^{-2}.K^{-1}}}$$

Výpočet střední teploty spalin:

$$t_m = t_u + \frac{t_E - t_u}{K}.(1 - e^{-K}) \qquad (\ °C\ ) \quad [6.14]$$

kde

e^{-K} se odečte např. z grafu na obr.6.7

t_u je teplota vzduchu v okolí komína (°C)

(pro samostatně stojící nebo přistavěné komíny platí $t_u = t_L$)

- pro spotřebiče používané v topném období se volí T_L= 283,0 K , ρ_L = 1,242 kg/m^3
- pro celoročně používané spotřebiče se volí T_L= 297,0 K , ρ_L = 1,162 kg/m^3

$t_E(t_{EA})$ je teplota spalin v sopouchu (spalinovém hrdle spotřebiče) (°C)

$$t_E = t_u + (t_w - t_u).(1 - e^{-K}) \qquad (\ °C\ ) \qquad [6.15]$$

kde

K je exponent chladnutí: $K = \frac{U.k.L}{c_{sp}.\dot{m}_{sp}}$ (--) [6.16]

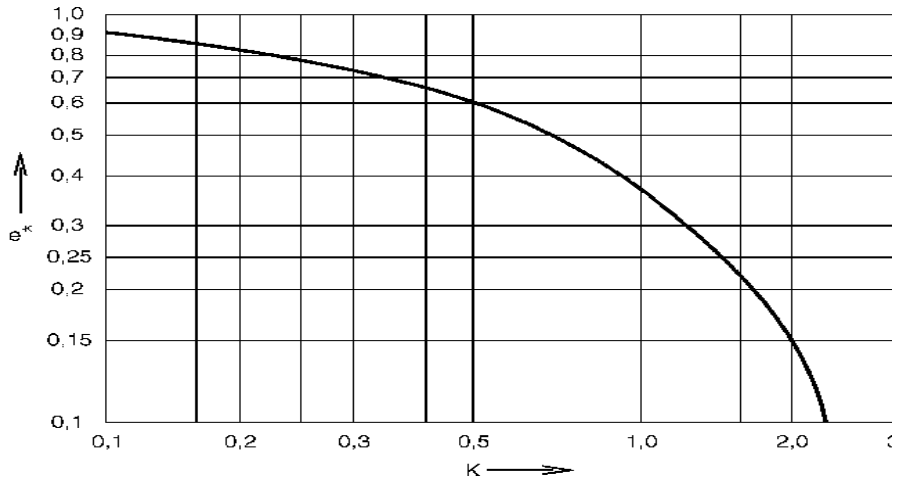
U je obvod komínového průduchu (m)

k je součinitel prostupu tepla (podle vztahu 6.11 až 6.15) ($W.m^{-2}.K$)

L je délka komínového průduchu (kouřovodu) (m)

c_{sp} je měrná tepelná kapacita spalin stanovená podle obr. 6.8 ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)

$\dot{m}_{sp}$ je hmotnostní průtok spalin ($kg.s^{-1}$)



Obr. 6.7 - Stanovení exponentu chladnutí K v exponenciální závislosti na e^{-K}

Hustoty vzduchu a spalin:

Střední hustota vzduchu: $\rho_L = \dfrac{b}{R_L.T_L}$ ($kg.m^{-3}$) [6.17]

kde

b je atmosferický tlak (tab. 6.9) (Pa)

R_L je plynová konstanta vzduchu $R_L = 287$ ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)

T_L je střední výpočtová teplota vzduchu (K)

Tab. 6.7 - Hustoty suchého vzduchu ρ_L při tlaku 101 325 Pa, t_L = teplota vzduchu (°C)

T_L	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
ρ_L	1,395	1,368	1,342	1,317	1,293	1,270	1,247	1,226	1,205	1,185	1,165	1,146
při 101 325 Pa												

Střední hustota spalin: $\rho_m = \dfrac{b}{R_{sp}.T_m}$ ($kg.m^{-3}$) [6.18]

kde

b je atmosferický tlak (viz. tab. 6.9) / Pa /

R_{sp} je plynová konstanta spalin při spalování zemního plynu se volí R_{sp} = 300 J/kg.K

Pro jiná paliva se R_{sp} vyhledá v diagramu na obr. 6.9 , 6.10.

T_m je stanovena výpočtem podle [6.14]

Pro zjednodušené výpočty je možno uvažovat pro 0°C a přetlak 101 325 Pa

hustota suchého vzduchu $\rho_{LO} = 1{,}293$ $kg.m^{-3}$

hustota spalin ze spálení koksu $\rho_{mO} = 1{,}350$ $kg.m^{-3}$

hustota spalin ze spálení černého uhlí $\rho_{mo} = 1{,}330$ $kg.m^{-3}$

hustota spalin ze spálení kapalného paliva $\rho_{mo} = 1{,}290$ $kg.m^{-3}$

hustota spalin ze spálení plynu $\rho_{mo} = 1{,}250$ $kg.m^{-3}$

Tab. 6.8 - Hustota suchých spalin v kg/m^3 podle měřeného obsahu CO_2 ve spalinách
$\Phi CO_{2měr}$ je obsah měřeného (skutečného)
ΦCO_2 je obsah CO_2 při stechiometrickém spalování

		měřený obsah $\Phi CO_{2měr}$												
největší obsah ΦCO_2		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	5	1,293	1,293	1,294	1,294									
	8	1,293	1,297	1,301	1,304	1,308								
	10	1,293	1,299	1,305	1,311	1,317	1,322							
	12	1,293	1,301	1,308	1,315	1,322	1,329	1,337						
	14	1,293	1,301	1,310	1,318	1,326	1,334	1,343	1,351					
	16	1,293	1,302	1,311	1,320	1,329	1,338	1,347	1,356	1,365				
	18	1,293	1,303	1,312	1,322	1,331	1,341	1,351	1,360	1,370	1,379			
	20	1,293	1,303	1,313	1,323	1,333	1,343	1,353	1,363	1,374	1,384	1,394		
	22	1,293	1,303	1,314	1,325	1,335	1,345	1,356	1,366	1,377	1,387	1,397	1,408	
	24	1,293	1,304	1,319	1,325	1,336	1,347	1,358	1,368	1,379	1,390	1,401	1,412	1,422

Statický tah komínového průduchu:

Statický tah je rozdíl mezi přetlakem (p_L) venkovního vzduchu a přetlakem spalin v komíně (p_m). Obecně platí vzdtah:

$$p_H = p_L - p_m \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.19]$$

kde
p_L je přetlak venkovního vzduchu (atmosferický tlak tab. 6.9) (Pa)
p_m je přetlak spalin v komínovém průduchu (Pa)

Statický tah lze vypočítat z rozdílu hustoty vzduchu a spalin

$$p_H = H.g.(\rho_L - \rho_m) \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.20]$$

kde
H je účinná výška komína – od sopouchu k ústí komína (m)
ρ_L je hustota venkovního vzduchu [6.17] (kg.m^{-3})
ρ_m je střední hustota spalin [6.18] (kg.m^{-3})
g je gravitační tíhové zrychlení (doporučená hodnota 9,81) (m.s^{-2})

$$p_H = H.g.\left(\rho_L.\frac{T_o}{T_L} - \rho_{mo}.\frac{T_o}{T_m}\right).\frac{b}{101325} \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.21]$$

kde
T_o = 273,15 K
T_L je teplota venkovního vzduchu (°C)
T_m je střední teplota spalin (°C)
b je atmosferický tlak – (tab. 6.9) (Pa)
Po dosazení:

$$p_H = H.g.\left(\rho_L.\frac{273{,}15}{T_L} - \rho_m.\frac{273{,}15}{T_m}\right).\frac{b}{101325} \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.22]$$

Tab. 6.9 – Atmosférický tlak vzduchu se stanoví přibližně podle nadmořské výšky:

Nadmořská výška	Atmosférický tlak vzduchu b	Kolísání tlaku vzduchu vlivem větru	Výpočtový Atmosférický tlak vzduchu B
(m)	(Pa)	(Pa)	(Pa)
0	101 395	~ 4300	97 000
200	98 860		94 500
400	96 590		92 000
600	94 190		90 000
800	92 060		00

Stanovení tahových ztrát v komínovém průduchu:

Celková tahová ztráta v komínovém průduchu vznikne, sečteme-li dílčí tahové ztráty a získáme ji ze vztahu :

$$p_R = S_E . p_E + p_A + S_{EG} . p_G + p_w + p_L \qquad \text{(Pa)} \qquad [6.23]$$

kde

S_E je bezpečnostní koeficient z proudění spalin (Pa)
p_E je ztráta třením a místní ztráty v komínovém průduchu (Pa)
p_A je ztráta třením a místní ztráty v kouřovodu (Pa)
S_{EG} je bezpečnostní koeficient z proudění spalin - součinitel dynamické ztráty (Pa)
p_G je dynamická ztráta (viz. 5.27) (Pa)
p_w je ztráta vzniklá prouděním spalin spotřebičem (udává výrobce zařízení) (Pa)
pro plynové spotřebiče s přerušovačem tahu p_w=0 Pa
p_L je ztráta na straně sání vzduchu pro spalovaní (Pa)

Poznámka:

Dynamická ztráta p_G je obsažena ve ztrátě z nasávání vzduchu p_L při přirozeném přívodu vzduchu otvorem, nebo průduchem a při nuceném přetlakovém přívodu vzduchu. Pro výpočet tlakových ztrát v komíně a kouřovodu platí vztahy:

p_E je ztráta třením a místní ztráty v komínovém průduchu/ Pa /

$$p_E = \left(\psi . \frac{H}{d_h} + \sum_1^n \xi_i \right) . \frac{\rho_m}{2} . w_m^2 \qquad \text{(Pa)} \qquad [6.24]$$

p_A . . . . . ztráta třením a místní ztráty v kouřovodu (Pa)

$$p_A = \left(\psi_A . \frac{L}{d_{hA}} + \sum_1^n \xi_{Ai} \right) . \frac{\rho_{Am}}{2} . w_{Am}^2 \qquad \text{(Pa)} \qquad [6.25]$$

Dále lze tento vztah rozepsat na:

$$p_R = S_E.\left(\psi.\frac{H}{d_h} + \sum_1^n \xi_i\right).\frac{\rho_m}{2}.w_m^2 + S_{EG}.p_G + p_L + \left(\psi_A.\frac{L}{d_{hA}} + \sum_1^n \xi_{Ai}\right).\frac{\rho_{Am}}{2}.w_{Am}^2 \quad (\text{Pa}) \quad [6.26]$$

kde

ψ (ψ_A) je součinitel tření v komínovém průduchu (kouřovodu) (--)
(přibližně lze stanovit podle obr. 6.11)

$$\psi = 0{,}118.\frac{r^{0,25}}{d_h^{0,40}} \qquad \left(\psi_A = 0{,}118.\frac{r_A^{0,25}}{d_{hA}^{0,40}}\right) \qquad (\text{--}) \qquad [6.27]$$

r (r_A) je střední drsnost vnitřního povrchu komínového průduchu (kouřovodu) (m)

- potrubí z hliníkového, ocelového plechu 0,001 m
- potrubí skleněné nebo z plastických hmot 0,0005 m
- potrubí plechové se spojkami 0,002 m
- potrubí betonové 0,003 m
- šamotové tvarovky 0,0015 m
- šamotové cihly 0,002 m

d_h (d_{hA}) je hydraulický průměr komína (kouřovodu) se stanoví ze vztahu: (m)

$$d_h = \frac{4.S}{U} \qquad \left(d_{hA} = \frac{4.S_A}{U_A}\right) \qquad (\text{m}) \qquad [6.28]$$

S (S_A) je průřez komínového průduchu (kouřovodu) (m^2)

pro kruhový průduch $S = \frac{\pi.d^2}{4}$ (m^2)

d je průměr komínového průduchu (m)

pro obdélníkový průduch $S = a.b$ (m^2)

a , b jsou stěny komínového průduchu (m)

Pro kruhový průřez platí: $d_h = \frac{4.S}{U} = \frac{4.\pi.d^2}{4.(\pi.d)} = \underline{\underline{d}}$ (m)

Pro obdélníkový průřez platí: $d_h = \frac{4.S}{U} = \frac{4.a.b}{2.(a+b)} = \underline{\underline{\frac{2.a.b}{(a+b)}}}$ (m)

H je účinná výška komínového průduchu (od sopouchu po ústí komína) (m)
L je rozvinutá délka kouřovodu (m)
d_h(d_{hA}) je hydraulický průměr komínového průduchu (kouřovodu) (viz. [6.26]) (m)
$\sum_1^n \xi_i$ je součet součinitelů místních ztrát komínového průduchu (viz.tab. 6.10) (--)
$\left(\sum_1^n \xi_{Ai}\right)$ je součet součinitelů místních ztrát kouřovodu (viz.tab. 6.10) (--)
ρ_m je střední hustota spalin proudících průduchem ($kg.m^{-3}$)
w_m je střední rychlost proudění spalin ($m.s^{-1}$)
U(U_A) je obvod komínového průduchu (kouřovodu)
Tab. 6.10a Součinitele místních ztrát ξ

Dynamická ztráta nasávaného vzduchu: $p_G = \frac{\rho_1}{2}.w_p^2$ (Pa) [6.29]

W_p je rychlost proudění nasávaného vzduchu v otvoru, nebo průduchu ($m.s^{-1}$)

Změna dynamické ztráty p_G :

$$p_G = \frac{\rho_2}{2}.w_{m2}^2 - \frac{\rho_1}{2}.w_{m1}^2 \quad \text{(Pa)} \quad [6.30]$$

ρ_1 je hustota spalin před změnou rychlosti proudění spalin ($kg.m^{-3}$)
ρ_2 je hustota spalin po změně rychlosti proudění ($kg.m^{-3}$)
w_{m1} je rychlost proudění spalin před změnou rychlosti proudění ($m.s^{-1}$)
w_{m2} je rychlost proudění spalin po změně rychlosti proudění ($m.s^{-1}$)

rychlost proudění spalin v průduchu se vypočte ze vztahu:

$$w_m = \frac{\dot{m}_{sp}}{S.\rho_m} \quad \text{(m.s}^{-1}\text{)} \quad [6.31]$$

kde
$\dot{m}_{sp}$ je hmotnostní průtok spalin ($kg.s^{-1}$)
S je průřez komínového průduchu (m^2)
ρ_m je hustota spalin ($kg.m^{-3}$)

Tahová ztráta z nasávání spalovacího vzduchu p_L je podrobně popsána v kapitole 4.6.4. Je nutné vždy s hodnotu ztrátového tlaku na sání spalovacího vzduchu zahrnout do celkové bilance posuzovaného komína.

Účinný tah komínového průduchu:

$$p_z = p_H - p_R \quad \text{(Pa)} \quad [6.32]$$

kde
p_H je statický tah (viz. kap. 6.5 , vzorec [6.19] až [6.22]) (Pa)
p_R jsou tlakové ztráty (viz. kap. 6.6 , vzorec [6.23] resp. [6.28]) (Pa)

Podmínka: $\boxed{p_z \geq 0}$ [6.33]

Je-li splněna podmínka [6.33], potom navržený komínový průduch **<u>vyhovuje</u>**. Pro podmínku 6.33 platí, že čím větší získáme hodnotu p_u tím dochází k většímu předimenzování komínového průduchu. Při skutečném proudění spalin je hodnota p_u nulová. Ke zpřesnění výpočtu je tedy třeba, abychom hodnotu p_u snížily na minimum.

Výpočet komínového průduchu pomocí tabulky

V tabulce jsou přehledně zpracovány veškeré potřebné vztahy pro návrh a výpočet komínového průduchu, včetně vysvětlivek k jednotlivým symbolům.

Tabulkou jsme se snažili zpřehlednit postup výpočtu a použité symboliky. Podrobněji jsou jednotlivé výrazy a symboly včetně tabulkových hodnot a grafů uvedeny v kap. 6.1 až 6.8.

č.	Symbol	veličina	Rozměr	Vztah	Vztah
1	S_{sn}	Objem spalin vzniklý spálením jednotky paliva při t_L = 0 °C , p_b = 101 325 Pa	$m^3.m^{-3}$	$S_{sn} = 1.n.S_{vt}$	[6.1]
2	A	Součinitel přebytku vzduchu	---		
3	S_{Vt}	Teoretický objem vlhkých spalin	$m^3.m^{-3}$	tab. 6.1	
4	S_R	Objem spalin vzniklý spálením jednotky paliva pro zemní plyn	$m^3.m^{-3}$	$S_R = 0{,}272.H_V + 0{,}25 + + (n-1).(0{,}26.H_V + 0{,}25)$	[6.2]
5	H_V	Výhřevnost paliva	$MJ.kg^{-1}$	tab. 6.1 , 6.2 , 6.3 , 6.4	
6	S_R	Objem spalin vzniklý spálením jednotky paliva pro tuhá paliva	$m^3.kg^{-1}$	$S_R = H_V.0{,}212 + 1{,}65.(n-1).$ $.(H_V.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04$	[6.3]
7	S_R	Objem spalin vzniklý spálením jednotky kapalného paliva	$m^3.kg^{-1}$	$S_R = H_V.0{,}265 + (n-1).$ $.(H_V.0{,}21 + 1{,}7).1{,}04$	[6.4]
8	S_s	Skutečný objem spalin za provozních podmínek	$m^3.kg^{-1}$ $m^3.m^{-3}$	$S_s = \frac{p_b}{b}.\frac{t_s + 273}{273}.S_R$	[6.5]
9	B	Skutečný atmosferický tlak	Pa	tab. 6.9	
10	P_b	Referenční atmosferický tlak	Pa	p_b = 101 325 Pa	
11	t_s	teplota spalin na kouřovém hrdle	°C		
12	B	Potřeba paliva	m^3_p/h	$B = \frac{Q_s.3{,}6}{H_v.\eta}$	[6.6]
13	Q_s	výkon spotřebiče	KW		
14	η	Účinnost spotřebiče	--	0 až 1	
15	V_{sp}	Objemový průtok spalin	$m^3_{sp}.h^{-1}$	$\dot{V}_{SP} = S_s.B$	[6.7]
16	m_{sp}	Hmotnostní průtok spalin	kg/h	$\dot{m}_{sp} = \dot{V}_{sp}.\rho_{sp}$	[6.8]
17	ρ_{sp}	Hustota spalin	$kg.m^{-3}$		
18	m_{sp}	Hmotnostní průtok spalin	$kg.s^{-1}$	$\dot{m}_{sp} = a.Q.10^{-3}$	[6.9]
19	a	Součinitel odečtený z diagramu	--	obr. 6.1	
20	Q	Výkon spotřebiče	KW		
21	S	Průřez průduchu	m^2	$S = \frac{\dot{m}_{sp}}{3600.w_{spm}.\rho_{spm}}$	[6.10]
22	$\dot{V}_{sp}$	Objemový průtok spalin	$m^3.h^{-1}$		
23	w_{spm}	Střední rychlost spalin	$m.s^{-1}$	tab 6.5	
24	ρ_{spm}	Střední hustota spalin	$kg.m^{-3}$		

25	K	Součinitel prostupu tepla	$W.m^{-2}.K^{-1}$	$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}}$	[6.11]
26	K	Součinitel prostupu tepla	$W.m^{-2}.K^{-1}$	$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H.\left[\sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e}\right)\right]}$	[6.15]
27	D_{hi}	hydraulický průměr komínového průduchu	m		
28	D_{he}	hydraulický průměr vnějšího rozměru pláště komína	m		
29	S_H	Součinitel neustáleného teplotního stavu, vyjadřující kolísání teplot při přerušovaném provozu spotřebiče.	-		
30	V_m	střední rychlost spalin	$m.s^{-1}$		
31	α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu komínového průduchu	$W.m^{-2}.K^{-1}$	$\alpha_i = 2{,}326 + 11{,}63.\sqrt{v_m}$ nebo tab. 6.5 , 6.6	[6.12]
32	α_e	pro vestavěné komíny	$W.m^{-2}.K^{-1}$	$\alpha_e = 8\ W.m^{-2}.K$	
33	α_e	pro komíny přistavěné, nebo samostatně stojící	$W.m^{-2}.K^{-1}$	$\alpha_e = 23\ W.m^{-2}.K$	
34	α_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně	$W.m^{-2}.K^{-1}$	$\alpha_e = 2{,}56.\sqrt[4]{\Delta t}$	[6.13]
36	λ_i	součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy pláště komína	$W.m^{-1}.K^{-1}$	Tab.6.6, nebo ČSN 730540-3	
37	s_i	tloušťka i-té vrstvy stěny komína (kouřovodu)	m		
38	T_m	střední teplota spalin	K	$t_m = t_u + \frac{t_E + t_u}{K}.(1 - e^{-K})$	[6.14]
39	e^{-K}		K	Obr. 6.5	
40	t_u	teplota vzduchu v okolí komína	°C		
41	t_E	teplota spalin v sopouchu	°C	$t_E = t_u + (t_w - t_u).(1 - e^{-K})$	[6.15]
42	K	exponent chladnutí		$K = \frac{U.k.L}{c_{sp}.\dot{m}_{sp}}$	[6.16]
43	U	obvod komínového průduchu	m		
44	k	součinitel prostupu tepla	$W.m^{-2}.K$		
45	L	délka komínového průduchu	m		
46	c_{sp}	měrná tepelná kapacita spalin	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	Obr. 6.8	
47	ρ_L	Střední hustota vzduchu:	$kg.m^{-3}$	$\rho_L = \frac{b}{R_L.T_L}$	[6.17]
48	b	atmosferický tlak	Pa	Tab. 6.7	
49	R_L	plynová konstanta vzduchu	J/kg.K	$R_L = 287$	
50	T_L	střední výpočtová teplota vzduchu	K	$T_L = t_L + 273$	

51	ρ_m	Střední hustota spalin:	kg.m^{-3}	$\rho_m = \frac{b}{R_{sp}.T_m}$	[6.18]
52	b	atmosferický tlak	Pa	Tab. 6.7	
53	R_{sp}	Plynová konstanta spalin	J.kg^{-1}.K^{-1}	Obr. 6.8 , 6.9.	
54	p_H	statický tah	Pa	$p_H = p_L - p_m$	[6.19]
55	p_H	statický tah	Pa	$p_H = H.g.(\rho_L - \rho_m)$	[6.20]
56	p_L	přetlak venkovního vzduchu	Pa		
57	p_m	přetlak spalin v komínovém průduchu	Pa		
58	H	účinná výška komína	m		
59	ρ_L	hustota venkovního vzduchu	kg.m^{-3}		
60	ρ_m	střední hustota spalin	kg.m^{-3}		
61	g	gravitační tíhové zrychlení	m.s^{-2}	doporučená hodnota 9,81	
62	p_H	statický tah	Pa	$p_H = H.g.\left(\rho_L.\frac{T_o}{T_L} - \rho_m.\frac{T_o}{T_m}\right).\frac{b}{101325}$	[6.21]
63	T_L	teplota venkovního vzduchu	°C		
64	T_m	střední teplota spalin	°C		
65	b	atmosferický tlak	Pa		
66	p_r	tlakové ztráty	Pa	$p_R = S_E.p_E + p_A + S_{EG}.p_G + p_w$	[6.23]
67	S_E	bezpečnostní koeficient z proudění spalin	Pa		
68	S_{EG}	bezpečnostní koeficient z proudění spalin - součinitel dynamické ztráty	Pa		
69	p_G	dynamická ztráta	Pa		
70	p_w	ztráta vzniklá prouděním spalin spotřebičem	Pa	Udává výrobce spotřebiče	[6.27]
71	p_L	ztráta na straně sání vzduchu	Pa		
72	P_E	ztráta třením a místní ztráty v komínovém průduchu	Pa	$p_E = \left(\psi.\frac{H}{d_h} + \sum_1^n \xi_i\right).\frac{\rho_m}{2}.w_m^2$	[6.24]
73	P_A	ztráta třením a místní ztráty v kouřovodu	Pa	$p_A = \left(\psi_A.\frac{L}{d_{hA}} + \sum_1^n \xi_{Ai}\right).\frac{\rho_{Am}}{2}.w_{Am}^2$	[6.25]
74	ψ	součinitel tření v komínovém průduchu	--	$\psi = 0{,}118.\frac{r^{0,25}}{d_h^{0,40}}$	[6.27]
75	ψ_A	součinitel tření kouřovodu	--	$\left(\psi_A = 0{,}118.\frac{r_A^{0,25}}{d_{hA}^{0,40}}\right)$	
76	r	střední drsnost vnitřního povrchu komínového průduchu	m		
77	r_A	střední drsnost vnitřního povrchu kouřovodu	m		

78	d_h	hydraulický průměr komína	m	$d_h = \frac{4.S}{U}$	[6.26]
79	d_{hA}	hydraulický průměr kouřovodu	m	$\left(d_{hA} = \frac{4.S_A}{U_A}\right)$	
80	S	průřez komínového průduchu			
81	S_A	průřez kouřovodu			
82		pro kruhový průduch	m^2	$S = \frac{\pi.d^2}{4}$	
83		pro obdélníkový průduch	m^2	$S = a.b$	
84	d	průměr komínového průduchu	m		
85	a , b	stěny komínového průduchu	m		
86	d_h	hydraulický průměr pro kruhový průřez	m	$d_h = \frac{4.S}{U} = \frac{4.\pi.d^2}{4.(\pi.d)} = \underline{\underline{d}}$	
87	d_h	hydraulický průměr pro obdélníkový průřez	m	$d_h = \frac{4.S}{U} = \frac{4.a.b}{2.(a+b)} = \underline{\underline{\frac{2.a.b}{(a+b)}}}$	
88	H	účinná výška komínového průduchu	m		
89	L	rozvinutá délka kouřovodu	m		[6.26]
90	d_h	hydraulický průměr komínového průduchu	m		
91	d_{hA}	hydraulický průměr kouřovodu			
92	$\sum_1^n \xi_i$	součet součinitelů místních ztrát komínového průduchu	-	Tab. 6.10	
93	$\left(\sum_1^n \xi_{Ai}\right)$	součet součinitelů místních ztrát kouřovodu		tab. 6.10	
94	ρ_m	střední hustota spalin proudících průduchem	$kg.m^{-3}$		
95	w_m	střední rychlost proudění spalin	$m.s^{-1}$	$w_m = \frac{\dot{m}_{sp}}{S.\rho_m}$	[6.31]
96	p_G	Rozdíl dynamické ztráty	Pa	$p_G = \frac{\rho_2}{2}.w_{m2}^2 - \frac{\rho_1}{2}.w_{m1}^2$	[6.30]
97	ρ_1	hustota spalin před změnou rychlosti proudění spalin	$Kg.m^{-3}$		
98	ρ_2	hustota spalin po změně rychlosti proudění	$kg.m^{-3}$		
99	w_{m1}	rychlost proudění spalin před změnou rychlosti proudění	$m.s^{-1}$		
100	w_{m2}	rychlost proudění spalin po změně rychlosti proudění	$m.s^{-1}$		
101			$m.s^{-1}$		
102	$\dot{m}_{sp}$	hmotnostní průtok spalin	$kg.s^{-1}$		
103	S	průřez komínového průduchu	m^2		
104	ρ_m	hustota spalin	$kg.m^{-3}$		

105	p_z	Účinný komínový tah	Pa	$p_z = p_H - p_R$	[6.29]

PŘÍKLAD

Zadání:

Navrhněte a posuďte komín pro spotřebič na tuhá paliva o jmenovitém výkonu 50 kW. Účinnost zařízení η = 80 %. Palivem je černé uhlí o výhřevnosti H_v = 22,6 MJ.kg^{-1}. Spalování probíhá při součiniteli přebytku vzduchu n = 1,6 (-). Teplota spalin na kouřovém hrdle spotřebiče t_s = 150 °C. Kotelna je umístěna v nadmořské výšce 800 m.n.m.

Postup výpočtu:

1) Stanovení hmotnostního průtoku spalin při jmenovitém výkonu spotřebiče
2) Návrh průřezu kouřovodu a komínového průduchu
3) Výpočet statického tahu kouřovodu
4) Výpočet statického tahu komína
5) Výpočet celkových tahových ztrát
6) Posouzení provozní podmínky
7) Závěr

Řešení:

1) Stanovení hmotnostního průtoku spalin při jmenovitém výkonu spotřebiče

- Teoretické množství spalin při teplotě 0 °C, barometrickém tlaku 101 325 Pa

$$V_{sn} = H_V.0{,}212 + 1{,}65 + (n-1).(H_V.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04 \qquad (\mathrm{m^3_{spalin}.kg^{-1}})$$

$$V_{sn} = 22{,}6.0{,}212 + 1{,}65 + (1{,}6-1).(22{,}6.0{,}241 + 0{,}5).1{,}04 = \underline{\underline{10{,}15}}\ \mathrm{m^3_{spalin}\ .\ kg^{-1}_{černého\ uhlí}}$$

- Skutečné množství spalin při jejich teplotě na kouřovém hrdle t_s = 150 °C a atmosferickém tlaku p_b = 92 060 Pa (800 m.n.m)

$$V_s = \frac{p_b}{b}.\frac{t_s + 273}{273}.V_{sn} \qquad (\mathrm{m^3.kg^{-1}})$$

$$V_s = \frac{101325}{92060}.\frac{150+273}{273}.10{,}15 = \underline{\underline{17{,}31}}\ \mathrm{m^3_{spalin}\ /\ kg^{-1}_{černého\ uhlí}}$$

- Potřeba tepla za časovou jednotku:

$$\dot{U} = \frac{Q_s.3{,}6}{H_v.\eta} \qquad (\mathrm{m^3_p.h^{-1}})$$

$$\dot{U} = \frac{50{,}0.3{,}6}{22{,}6.0{,}8} = 9{,}96\ \mathrm{m^3_p.h^{-1}}$$

- Objemový průtok spalin při jmenovitém výkonu spotřebiče:

$$\dot{V}_{SP} = V_s.\dot{U} \qquad (\mathrm{m^3_{spalin}.h^{-1}})$$

$$\dot{V}_{SP} = 17{,}31.9{,}96 = 172{,}4\ \mathrm{m^3_{spalin}.h^{-1}}$$

- Hmotnostní průtok spalin dostaneme ze vztahu:

$$\dot{m}_{sp} = \dot{V}_{sp}.\rho_{sp} \qquad (\mathrm{kg.h^{-1}})$$

$$\dot{m}_{sp} = 172{,}4.0{,}790 = 136{,}2\ \mathrm{kg_{spalin}.h^{-1}}$$

2) Návrh průřezu kouřovodu a komínového průduchu

Kouřovod bude proveden z nerezového neizolovaného potrubí průměru d_A = 150 mm systému firmy ROKA, typ: RS 2000 AQUA.

Světlost komínového průduchu bude navržena na základě návrhu. Komín bude proveden systémem firmy KOMTEC v provedení ECO-COMPLET s použitím jednoprůduchové tvarovky typu 10. Komínový průduch bude tvořen šamotovými vložkami.

Kouřovod:

- Průřez kouřovodu $S_A = \frac{\pi.d^2}{4} = \frac{\pi.0{,}15^2}{4} = 0{,}0176715 m^2$
- Výpočet rychlosti spalin:

$$S_A = \frac{\dot{m}_{sp}}{3600.w_{sp}.\rho_{sp}} \Rightarrow w_{sp} = \frac{\dot{m}_{sp}}{3600.\rho_{sp}.S_A} = \frac{136{,}2}{3600.0{,}79.0{,}01767} = 2{,}71 m.s^{-1}$$

- Stanovení součinitele prostupu tepla pro kouřovod ROKA RS 2000 AQUA

$$k_A = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H.\left[\sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e}\right)\right]} = \frac{1}{\frac{1}{20{,}1} + 1{,}0.\left[\frac{0{,}0006}{58} + \left(\frac{0{,}15}{0{,}15.8}\right)\right]} = \qquad [6.15]$$

$$= \frac{1}{0{,}05 + 1{,}0.(1{,}0345.10^{-5} + (0{,}125))} = \underline{\underline{5{,}7 W.m^{-2}.K^{-1}}}$$

- Stanovení střední teploty v kouřovodu:
  - teplota v kotelně t_u = 5 °C
  - teplota spalin na kouřovém hrdle t_E = 150 °C

$$t_{mA} = t_u + \frac{t_w - t_u}{K}.(1 - e^{-K}) \qquad (°C) \qquad [6.14]$$

K_A je exponent chladnutí kouřovodu:

$$K_A = \frac{U_A.k_A.L}{c_{sp}.\dot{m}_{sp}} \qquad (--) \qquad [6.16]$$

- Obvod kouřovodu $U_A = \pi.d_A = \pi.0{,}15 = 0{,}47$ m
- Rozvinutá délka kouřovodu L =3 m
- Měrná tepelná kapacita spalin stanovená podle obr. 6.8d, c_{sp} = 1055 $J.kg^{-1}.K^{-1}$
- Hmotnostní průtok spalin $\dot{m}_{sp}$ = 136,2 $kg.h^{-1}$ = 0,03783 $kg.s^{-1}$

$$K_A = \frac{0{,}47.5{,}7.3}{1055.0{,}03783} = \frac{8{,}037}{39{,}91065} = \underline{\underline{0{,}2014}}$$

$$t_{mA} = 5 + \frac{150 - 5}{0{,}2014}.(1 - e^{-0{,}2014}) = 5 + 719{,}96.(1 - 0{,}81718) = \underline{\underline{136{,}3°C}}$$

- teplota v sopouchu komína:

$$t_{EA} = t_u + (t_w - t_u).e^{-K_A} \qquad (°C) \qquad [6.15]$$

$$t_E = 5 + (150 - 5).e^{-0{,}2014} = 5 + 145.0{,}8176 = \underline{\underline{123{,}5°C}}$$

- Výpočet statického tahu kouřovodu:

$$p_{HA} = L_H.g.(\rho_L - \rho_{Am}) \qquad (Pa) \qquad [6.20a]$$

- Hustota vzduchu v kotelně:

$$\rho_L = \frac{b}{R_L.T_L} \qquad (\text{kg.m}^{-3}) \qquad [6.17]$$

b je atmosferický tlak stanovený podle nadmořské výšky (tab. 6.9)
T_L je střední výpočtová teplota vzduchu (5+273 = 278 K)
R_L je plynová konstanta vzduchu $R_L = 287{,}0\ \text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$$\rho_L = \frac{92060}{287.(5+273)} = \frac{92060}{287.278} = \frac{92060}{79786} = 1{,}154\ \text{kg.m}^{-3}$$

- Střední hustota spalin: $\rho_{Am} = \dfrac{b}{R_{sp}.T_m}$ (kg.m^{-3}) [6.18]

R_{sp} je plynová konstanta spalin se vyhledá v diagramu na obr. 6.9 , 6.10.

$$\rho_{Am} = \frac{92060}{282.(136{,}3+273)} = \frac{92060}{282.409{,}3} = 0{,}798\ \text{kg.m}^{-3}$$

Statický tah vzniklý ve svislém potrubí kouřovodu:

$$p_{HA} = L_H.g.(\rho_L - \rho_m) = 1{,}0.9{,}81.(1{,}154 - 0{,}798) = 3{,}5\ \text{Pa}$$

L_H je svislá část potrubí kouřovodu $L_H = 1{,}0$ m
g je gravitační tíhové zrychlení $g = 9{,}81\ \text{m.s}^{-2}$

Komínový průduch:

Komínový průduch bude veden budovou. Komínová hlava bude vyvedena 1,5 m nad střechu objektu. Účinná komínová výška (výška od sopouchu po ústí komína) je 10,0 m. Průměr komínového průduchu bude 180 mm.

Komín bude v jednoprůduchovém provedení od firmy KOMTEC typ.ECO-CLASIC 1018

- Navržený průřez komínového průduchu: $S = \dfrac{\pi.d^2}{4} = \dfrac{\pi.0{,}18^2}{4} = 0{,}0255 m^2$
- Stanovení rychlosti spalin v komínovém průduchu:

$$w_{sp} = \frac{\dot{m}_{sp}}{3600.\rho_{sp}.S_A} = \frac{136{,}2}{3600.0{,}79.0{,}0255} = 1{,}88 m^2$$

hustota spalin stanovena z teploty na kouřovém hrdle spotřebiče (teploty v sopouchu)

Stanovení součinitele prostupu tepla pro komín KOMTEC ECO-CLASIC typ.1018
(podrobný popis postupu výpočtu je uveden v kap.6.4)

Ze známého hmotnostního průtoku spalin $\dot{m}_{sp} = 136{,}2 kg_{spalin}.h^{-1}$ stanovíme např. podle diagramu 6.6 součinitel přestupu tepla α_i:
Přepočteme hmotností tok m_{sp}=136,2 kg/h = 37,83 g/s $\Rightarrow \alpha_i = 6\ \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

- Komínová část umístěná v budově: $\Rightarrow \alpha_e = 8\ \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

$$k_{\text{int}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H.\left[\left(\frac{s_i}{\lambda_i}\right) + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e}\right)\right]} = \frac{1}{\frac{1}{6} + 1{,}0.\left[\left(\frac{0{,}015}{1{,}36} + \frac{0{,}03}{0{,}054} + \frac{0{,}045}{0{,}235} + \frac{0{,}005}{0{,}19}\right) + \left(\frac{0{,}18}{0{,}38.8}\right)\right]} =$$

$$= \frac{1}{0{,}1\overline{6} + 1{,}0.\left[\left(0{,}011 + 0{,}\overline{5} + 0{,}192 + 0{,}026\right) + \left(0{,}059\right)\right]} = \frac{1}{0{,}1\overline{6} + 1{,}0.[0{,}8436]} = \underline{\underline{0{,}99 W.m^{-2}.K^{-1}}}$$

- Komínová hlava provětrávaná umístěná nad střechou budovy $\alpha_e = 23\ W.m^{-2}.K^{-1}$

$$k_{HLAVA} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H.\left[\left(\frac{s_i}{\lambda_i}\right) + \left(\frac{D_{hi}}{D_{he}.\alpha_e}\right)\right]} = \frac{1}{\frac{1}{6} + 1{,}0.\left[\left(\frac{0{,}015}{1{,}36} + \frac{0{,}03}{0{,}054} + \frac{0{,}045}{0{,}235}\right) + \left(\frac{0{,}18}{0{,}38.23}\right)\right]} =$$

$$= \frac{1}{0{,}\overline{16} + 1{,}0.\left[\left(0{,}011 + 0{,}\overline{5} + 0{,}192\right) + \left(0{,}0206\right)\right]} = \frac{1}{0{,}\overline{16} + 1{,}0.\left[0{,}7792\right]} = \underline{\underline{1{,}057 W.m^{-2}.K^{-1}}}$$

Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla:

- světlá výška kotelny je 3,3 m, teplota vzduchu v kotelně 5°C
- délka úseku vedená uvnitř budovy s teplotou okolí 15°C je 5,5 m
- délka komínové hlavy nad střechou objektu je 1,5m, venkovní výpočtová teplota je –15°C

Součinitel prostupu tepla k ($W.m^{-2}.K^{-1}$)		Délka úseku (m)	Okolní teplota (°C)
$k_{kotelna}$	0,990	3,0	5,0
k_{int}	0,990	5,5	15,0
k_{HLAVA}	1,283	1,5	-15,0
∅k	1,034		7,5

- Výpočet průměrné hodnoty součinitele prostupu tepla

$$\varnothing k = \frac{0{,}99.3 + 0{,}99.5{,}5 + 1{,}283.1{,}5}{10} = 1{,}034 W.m^{-2}.K^{-1}$$

- Výpočet průměrné teploty okolí komína:

$$\varnothing t = \frac{3.5 + 5{,}5.15 + 1{,}5.(-15)}{10} = 7{,}5°C$$

- Stanovení střední teploty spalin v komínovém průduchu:
  - průměrná teplota v okolí komínového průduchu $t_u = 7{,}5$ °C
  - teplota spalin v sopouchu $t_E = 136{,}3$ °C

$$t_m = t_u + \frac{t_E - t_u}{K}.(1 - e^{-K}) \qquad (°C) \qquad [6.14]$$

K je exponent chladnutí kouřovodu:

$$K = \frac{U.k.H}{c_{sp}.\dot{m}_{sp}} \qquad (--) \qquad [6.16]$$

- Obvod komínového průduchu $U = \pi.d = \pi.0{,}18 = 0{,}566$ m
- Účinná výška komína H = 10 m
- Měrná tepelná kapacita spalin stanovená podle obr. 6.8 $c_{sp} = 1055\ J.kg^{-1}.K^{-1}$
- Hmotnostní průtok spalin $\dot{m}_{sp} = 136{,}2\ kg.h^{-1} = 0{,}03783\ kg.s^{-1}$

$$K = \frac{0{,}566.1{,}034.10{,}0}{1055.0{,}03783} = \frac{5{,}852}{39{,}91065} = \underline{\underline{0{,}1466}}$$

$$t_m = 7{,}5 + \frac{136{,}3 - 7{,}5}{0{,}1466}.(1 - e^{-0{,}1466}) = 7{,}5 + 878{,}59.(1 - 0{,}8636) = \underline{\underline{127{,}34°C}}$$

- Výpočet statického tahu komína:

$$p_H = H.g.(\rho_L - \rho_m) \qquad (Pa) \qquad [6.20]$$

- Hustota vzduchu v okolí komína:

$$\rho_L = \frac{b}{R_L.T_L} \qquad (\text{kg.m}^{-3}) \qquad [6.17]$$

b je atmosferický tlak stanovený podle nadmořské výšky (tab. 6.9)
T_L je střední výpočtová teplota vzduchu (5+273 = 278 K)
R_L je plynová konstanta vzduchu $R_L = 287{,}0\ \text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$$\rho_L = \frac{92060}{287.(7{,}5+273)} = \frac{92060}{287.280{,}5} = \frac{92060}{80503{,}5} = 1{,}1436\ \text{kg.m}^{-3}$$

- Střední hustota spalin:

$$\rho_m = \frac{b}{R_{sp}.T_m} \qquad (\text{kg.m}^{-3}) \qquad [6.18]$$

R_{sp} je plynová konstanta spalin se vyhledá v diagramu na obr. 6.9 , 6.10.

$$\rho_m = \frac{92060}{282.(127{,}3+273)} = \frac{92060}{282.400{,}3} = 0{,}8155\ \text{kg.m}^{-3}$$

- Statický tah komínového průduchu:

$$p_H = H.g.(\rho_L - \rho_m) = 10{,}0.9{,}81.(1{,}1436 - 0{,}8155) = \underline{\underline{32{,}2}}\ \text{Pa}$$

H je účinná výška komínového průduchu (m)
g je gravitační tíhové zrychlení $g = 9{,}81\ \text{m.s}^{-2}$

5) Výpočet celkových tahových ztrát:

- Výpočet tahových ztrát kouřovodu:

$$p_a = \left(\psi_A.\frac{L}{d_{hA}} + \sum_1^n \xi_{Ai}\right).\frac{\rho_{Am}}{2}.w_{Am}^2 \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.25]$$

$$\psi_A = 0{,}118.\frac{r_A^{0,25}}{d_{hA}^{0,40}} \qquad (\text{--}) \qquad [6.27]$$

(r_A) je střední drsnost vnitřního povrchu kouřovodu (m)
(d_{hA}) je hydraulický průměr kouřovodu se stanoví ze vztahu: (m)

$$d_{hA} = \frac{4.S_A}{U_A} \qquad (\text{m}) \qquad [6.28]$$

Pro kruhový průřez platí: $d_{hA} = \frac{4.S_A}{U} = \frac{4.\pi.d^2}{4.(\pi.d)} = \underline{\underline{d}} = 0{,}15\ \text{m}$

$$\psi_A = 0{,}118.\frac{r_A^{0,25}}{d_{hA}^{0,40}} = 0{,}118.\frac{0{,}001^{0,25}}{0{,}15^{0,40}} = 0{,}118.\frac{0{,}17783}{0{,}46821} = 0{,}04482$$

místní odpory kouřovodu:
ξ_1 . . . . . redukce kouřovodu ∅130/∅150 $\xi_1 = 0{,}04$
ξ_2 . . . . . koleno 87° $\xi_2 = 0{,}58$
ξ_3 . . . . . sopouch 3° $\xi_3 = 0{,}89$

$$p_A = \left(0{,}04482.\frac{3{,}0}{0{,}15} + (0{,}04 + 0{,}58 + 0{,}89)\right).\frac{0{,}798}{2}.2{,}71^2 = 7{,}1Pa$$

- Výpočet tahových ztrát komínového průduchu:

$$p_E = \left(\psi.\frac{H}{d_h} + \sum_1^n \xi_i\right).\frac{\rho_m}{2}.w_m^2 \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.24]$$

$$\psi = 0{,}118.\frac{r^{0,25}}{d_h^{0,40}} \qquad (\text{--}) \qquad [6.27]$$

(r) je střední drsnost vnitřního povrchu komínového průduchu (m)
(d_h) je hydraulický průměr komína se stanoví ze vztahu: (m)

$$d_h = \frac{4.S}{U} \qquad (\text{m}) \qquad [6.28]$$

Pro kruhový průřez platí: $d_h = \frac{4.S}{U} = \frac{4.\pi.d^2}{4.(\pi.d)} = \underline{\underline{d}} = 0{,}18\,\text{m}$

$$\psi = 0{,}118.\frac{r^{0,25}}{d_h^{0,40}} = 0{,}118.\frac{0{,}0015^{0,25}}{0{,}18^{0,40}} = 0{,}118.\frac{0{,}1968}{0{,}5036} = \underline{\underline{0{,}0461}}$$

místní odpory komína:

ξ_4 . . . . . Meidingerova hlava $\xi_4 = 1{,}5$

$$p_E = \left(0{,}0461.\frac{10{,}0}{0{,}18} + (1{,}5)\right).\frac{0{,}8155}{2}.1{,}88^2 = \underline{\underline{5{,}9\,Pa}}$$

Změna dynamické ztráty p_G :

$$p_G = \frac{\rho_2}{2}.w_{m2}^2 - \frac{\rho_1}{2}.w_{m1}^2 \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.29]$$

ρ_1 je hustota spalin před změnou rychlosti proudění spalin ρ_{Am}=0,798 kg.m^{-3}
ρ_2 je hustota spalin po změně rychlosti proudění ρ_m = 0,8155 kg.m^{-3}
w_{m1} je rychlost proudění spalin před změnou rychlosti proudění w_{sp1} = 2,71 m.s^{-1}
w_{m2} je rychlost proudění spalin po změně rychlosti proudění w_{sp2} = 1,88 m.s^{-1}

$$p_G = \left(\frac{0{,}8155}{2}.1{,}88^2 - \frac{0{,}798}{2}.2{,}71^2\right) = 1{,}441 - 2{,}930 = -1{,}489 \text{ Pa}$$

Tlaková ztráta spotřebiče podle údajů výrobce p_w=18,5 Pa
Tlaková ztráta nasáváním spalovacího vzduchu p_L= 3,2 Pa

Celkové tahové ztráty:

$$p_R = S_E.p_E + p_A + S_{EG}.p_G + p_w + p_L \qquad (\text{Pa}) \qquad [6.23]$$

S_E je bezpečnostní koeficient z proudění spalin S_E =1,4
p_E je ztráta třením a místní ztráty v komínovém průduchu p_E = 5,9 Pa
p_a je ztráta třením a místní ztráty v kouřovodu p_a = 7,1 Pa
S_{EG} je bezpečnostní koeficient z proudění spalin - součinitel dynamické ztráty S_{EG}=1,0 Pa
p_G je dynamická ztráta (viz. 6.27) p_G = -1,498 Pa
p_w je ztráta vzniklá prouděním spalin spotřebičem (udává výrobce zařízení) p_w = 18,5 Pa
p_L je ztráta na straně sání vzduchu pro spalovaní p_L = 3,2 Pa

$$p_R = 1{,}4.5{,}9 + 7{,}1 + 1{,}0.(-1{,}498) + 18{,}5 + 3{,}2 = 35{,}57\,\text{Pa}$$

Celkový statický tah:

Celkový statický tah = statický tah kouřovodu + statický tah komínového průduchu

$$p_{HC} = p_{HA} + p_H \qquad \text{(Pa)}$$
$$p_{HC} = 3{,}5 + 32{,}2 = \underline{\underline{35{,}7}}\ \text{Pa}$$

Účinný tah

$$p_z = p_{HC} - p_R \qquad \text{(Pa)} \qquad [5.31]$$
$$p_z = 35{,}7 - 35{,}6 = 0{,}1\ \text{Pa}$$

Podmínka: $\boxed{p_u \geq 0}$ [6.33]

Podmínka: $0{,}1 \geq 0$ $\Rightarrow$ vyhovuje

Příklad 2 - zadání

č. zadání	Palivo	Q_N	η	λ	H	L	p_v	t_s
1	ZP	50	0,90	1,15	6	1,5	30	80
2	ZP	70	0,85	1,20	8	2,0	50	70
3	ZP	90	0,80	1,30	7	2,5	10	80
4	ZP	110	0,82	1,20	11	1,4	15	90
5	ZP	120	0,85	1,30	12	1,7	20	100
6	ZP	125	0,70	1,20	12	1,9	50	110
7	ZP	115	0,80	1,10	14	1,5	30	120
8	ZP	120	0,85	1,30	15	2,0	0	100
9	ZP	105	0,80	1,20	16	2,1	0	130
10	ZP	95	0,90	1,30	17	2,2	0	120
11	ZP	90	0,85	1,60	10	2,3	0	150
12	ZP	85	0,80	1,50	22	2,4	0	120
13	LTO	100	0,90	1,20	20	3,0	20	110
14	LTO	100	0,85	1,30	18	2,8	30	100
15	LTO	105	0,80	1,20	17	2,7	50	110
16	LTO	100	0,80	1,1	16	2,6	30	95
17	LTO	85	0,85	1,3	15	2,4	60	90
18	LTO	80	0,80	1,2	13	2,2	10	105
19	LTO	75	0,90	1,1	12	2,0	0	110
20	LTO	70	0,85	1,3	11	1,8	0	120
21	LTO	80	0,80	1,4	10	1,6	0	130
22	LTO	70	0,95	1,3	12	1,4	0	140
23	ČU	70	0,80	1,6	13	1,6	0	150
24	ČU	85	0,75	1,8	12	2,0	0	130
25	ČU	75	0,80	1,6	15	1,2	0	140
26	ČU	70	0,75	1,7	18	1,1	0	135

Příklad 2 – zadání

Palivo:
- zemní plyn **ZP**
- lehký topný olej **LTO**
- černé uhlí **ČU**

Výkon kotle Q_N =

Účinnost kotle η =

Součinitel přebytku vzduchu λ =

Účinná výška komína H =

Délka kouřovodu L =

Dispoziční tlak ventilátoru v ústí komína p_v =

Teplota ve spalinovém hrdle spotřebiče t_s =

Teplota v kotelně t_u = +5 °C

Teplota v budově t_u = +15

Venkovní výpočtová teplota t_e = -15 °C

Koleno v kouřovodu – součinitel místní tlakové ztráty η_k = 1,2