

Experimentální vzduchový zemní výměník tepla a jeho technické provedení

Antonín Kolbábek¹, Michal Jaroš¹

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav,
Technická 2896/2, Brno, ykolba00@stud.fme.vutbr.cz, jaros@fme.vutbr.cz

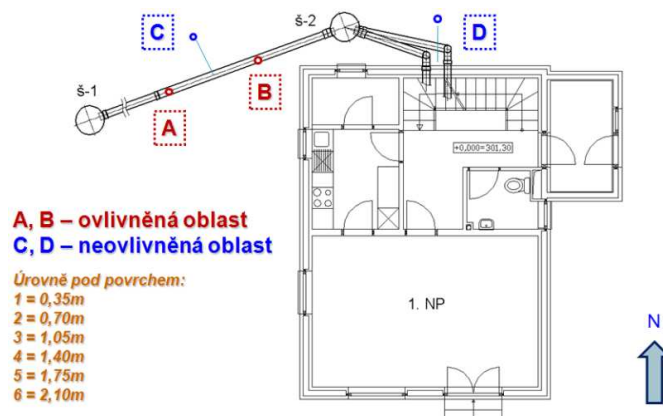
Abstrakt Příspěvek se zabývá volbou vhodného potrubního systému pro nově realizovaný zemní výměník tepla, který byl vybudován jako doplněk experimentálního nízkoenergetického domu FSI VUT v Brně v rámci projektu FRVŠ 3206/2011/G1 „Zemní výměník tepla jako nový prvek v technice prostředí“. Posouzen je vliv materiálu čtyř nejvyužívanějších typů potrubí na parametry výměníku a výši investičních nákladů (poměr cena/výkon). Jako nejvýhodnější se z tohoto pohledu jeví použitý potrubní systém KG-System (PVC)[®] SN4.

1 Úvod

Zemní výměníky tepla (ZVT) využívají relativně stabilního teplotního rozvrstvení v dostatečné hloubce pod povrchem země. Od cca 2 až 2,5 m se již změny nastávající na povrchu (místní klima) projevují jen minimálně. Tepelná setrvačnost zeminy umožňuje využít tento relativně „nevyčerpatelný“ zásobník tepla k předehřevu větracího vzduchu v zimě a přechodných obdobích roku, resp. k jeho předchlazení v létě. Zařízení tak přináší určité energetické úspory při větrání, ale zejména se ho využívá jako protimrazové ochrany následného zařízení pro zpětné získávání tepla (deskového rekuperačního výměníku) a jako částečné klimatizace (např. místo chladičových SPLIT systémů). Vzduch se může ohřívat buď přímo při průchodu zemním potrubím nebo potrubním systémem (vzduchové ZVT), nebo nepřímo – v zemi je uloženo potrubí s nemrznoucí kapalinou, která ohřívá/ochlazuje vzduch přes výměník (kapalinové ZVT). Některé konstrukce ZVT umožňují i cirkulační chlazení vnitřního vzduchu, což přináší další energetické úspory.

2 Experimentální vzduchový zemní výměník FSI VUT

Aby bylo možno s tímto relativně novým zařízením seznámit studenty oboru Technika prostředí a zároveň získat praktické zkušenosti s jeho provozem, byl na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně s podporou projektu FRVŠ 3206/2011/G1 vybudován cirkulační vzduchový zemní výměník tepla (**obr. 1**). Jeho zvláštností je, že díky své geometrii (která byla vynucena využitelným prostorem v okolí experimentálního nízkoenergetického domku) umožňuje až 7 provozních režimů. Jako materiál potrubí byl zvolen „obyčejný“ kanalizační KG-System PVC[®] průměru DN 200. Obě větve potrubí jsou uloženy nad sebou v konstantních hloubkách 1,4 m a 2,0 m (osově) pod povrchem. Celková délka je cca 35 m (2×15 m mezi šachtami + připojení). Sání vzduchu je možné přepínat motoricky ovládanou klapkou buď z prostoru 2.NP (cirkulační režim pro ochlazení vnitřního vzduchu v letním období) nebo přes nasávací žaluzii zvenčí (přímý režim pro předehřev větracího vzduchu v zimním období, případně jeho ochlazení v létě). Instalovaná měřicí aparatura zaznamenává aktuální provozní parametry včetně teplotního rozvrstvení okolní zeminy v „ovlivněné“ a „neovlivněné“ oblasti. Detailní popis výměníku lze nalézt v článku [1].



Obr. 1 Půdorys vybudovaného zemního výměníku tepla.

3 Vliv materiálu potrubí

Energetický přínos zemního výměníku tepla závisí na řadě parametrů. Mezi ty, které ovlivnit nemůžeme, patří např. klimatická oblast, dispozice pozemku a typ okolní zeminy. Některé parametry ovšem ovlivnit můžeme – jedná se zejména o hloubku uložení, geometrii a typ ZVT (klasický, cirkulační, kapalinový), materiál a celkovou délku potrubí i rychlost proudění vzduchu v potrubí. Při zjednodušeném výpočtu energetického výkonu ZVT se většinou uvažuje, že teplota vnitřního povrchu potrubí T_s je rovna aktuální teplotě zeminy v dané hloubce uložení T_g . Výstupní teplota vzduchu jdoucího z výměníku se stanoví z rovnice (1), platné pro vnitřní proudění v potrubí s konstantní teplotou povrchu:

$$\overline{T_{a,out}} = T_s - (T_s - T_g) \cdot \exp\left(-\frac{\overline{h_a} \cdot S_p}{\dot{m}_a \cdot c_{p,a}}\right) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

Analogicky se vypočte i výstupní hustota vodní páry. Z obou hodnot se pak stanoví měrná vlhkost a entalpie vystupujícího vzduchu, resp. celkový tepelný/chladicí výkon ZVT [2].

Stěna potrubí však představuje určitý (nezanedbatelný) tepelný odpor, který snižuje tepelný tok z/do zeminy. To lze podle [3] zohlednit zavedením celkového součinitele prostupu tepla zemina-vzduch, který pak bude použit v rovnici (1) namísto prostého součinitele přestupu tepla h_a :

$$\overline{h_c} = \frac{\overline{h_a} \cdot h_p}{\overline{h_a} + h_p} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]} \quad (2a)$$

$$\overline{h_a} = \frac{\overline{Nu_D} \cdot \lambda_a}{D_i}, \quad h_p = \frac{2 \cdot \lambda_p}{D_i \cdot \ln \frac{D_o}{D_i}} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]} \quad (2b), (2c)$$

Hodnota h_c zahrnuje jak vliv konvekce (rov. 2b), tak i tepelný odpor stěny potrubí, vyjádřený fiktivním součinitelem přestupu tepla h_p (rov. 2c). Obecně – při stejných okrajových podmínkách – lze říci, že při vyšším součiniteli prostupu tepla h_c bude stejné výstupní teploty vzduchu dosaženo v kratším potrubí.

Pro konstrukci ZVT můžeme využít několik typů potrubí: betonové, kameninové, kovové nebo nejčastěji plastové (z PVC, PE a PP). V **tab. 1** jsou uvedeny vybrané parametry čtyř typů plnostěnných plastových potrubních systémů, vhodných pro realizaci zemních výměníků. Jedná se o „klasický“ kanalizační systém z PVC s únosností SN4 nebo SN8, kanalizační systém z polypropylénu (PP) a potrubní systém určený speciálně pro zemní výměníky – REHAU

AWADUKT Thermo® (PP potrubí s postříbřeným povrchem kvůli eliminaci možného mikrobiologického znečištění s dvojstupňovým těsněním). Závislost součinitele prostupu tepla h_c na konvektivním součiniteli h_a pro uvedené čtyři typy potrubí je uvedena na **obr. 2**.

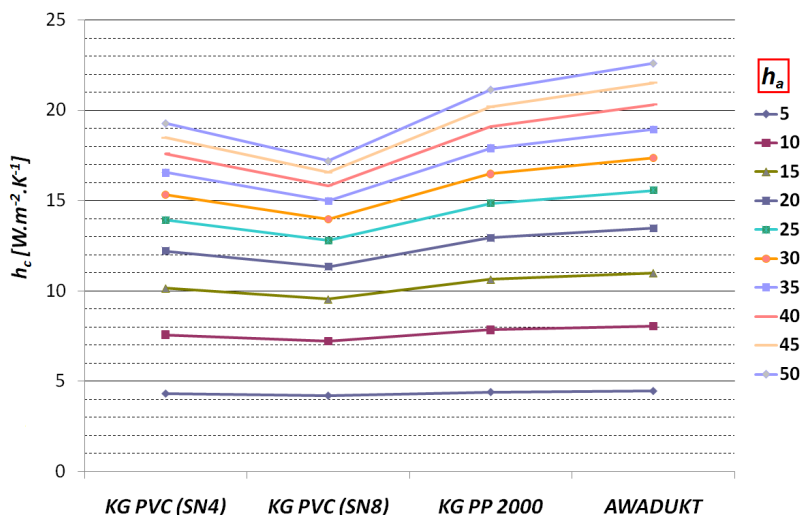
Tab. 1 Parametry některých druhů potrubí, vhodných pro vzduchové zemní výměníky (DN200).

Parametr	Jednotka	KG-Systém (PVC)®		KG 2000 Polypropylen®	AWADUKT Thermo
		4	8	8	8
Kruhová únosnost (SN)	kN/m ²	4	8	8	8
Tloušťka stěny δ_p	mm	4,9	5,9	6,2	7,3
Tepelná vodivost λ_p	W/(m.K)	0,15	0,15	0,22	0,29
Fiktivní součinitel h_p	W/(m ² .K)	31,39	26,21	36,64	41,27
Celkový součinitel $\overline{h_c}^{**}$	W/(m ² .K)	7,58	7,24	7,86	8,05
Exponent, rce (1) ^{***}	---	0,095 (0 %)	0,108 (+14,0 %)	0,090 (-5,0 %)	0,087 (-7,8 %)
Měrná cena za 1 bm ^{***}	Kč/m	389,30 (0 %)	592,10 (+52,1 %)	836,90 (+115,0 %)	704,00 (+80,8 %)

*) platí pro konvektivní součinitel 10 W/(m².K), odpovídá průtoku cca 220-230 m³/h, dle typu potrubí;

**) platí pro délku potrubí 35 m, průtok 200 m³/h, hustotu vzduchu 1,2 kg/m³ a $c_{p,a}=1009$ J/(kg.K);

***) stanoveno z ceny 5 m trubky (pro AWADUKT z ceny 6 m trubky), cena uvedena včetně 20 % DPH k 2q 2012. [4, 5]



Obr. 2 Celkový součinitel prostupu tepla zemina-vzduch (pro DN200).

V **tab. 2** je pak uveden vliv objemového průtoku na rychlost vzduchu v potrubí w_a , konvektivní součinitel přestupu tepla h_a a měrnou tlakovou ztrátu p_z pro doporučený průměr 200 mm (předpokládaný průtok pro větrací vs. cirkulační režim: 200/500 m³/h).

Tab. 2 Vliv objemového průtoku na parametry proudění vzduchu pro potrubí KG-PVC (SN4), DN200.

V^*	m ³ /h	100	200	300	400	500	750	1000
h_a	W/(m ² .K)	5,1	8,9	12,3	15,4	18,5	25,5	32,1
w_a	m/s	0,98	1,96	2,93	3,91	4,89	7,33	9,78
p_z	Pa/m	0,09	0,31	0,62	1,03	1,53	3,14	5,27

4 Diskuse

Z **obr. 2** je patrné, že při nízkých průtocích vzduchu v potrubí se celkový součinitel prostupu h_c pro jednotlivé varianty liší jen nepatrně. Rozdíl mezi materiály PVC a PP se výrazně projevuje

až cca od hodnoty $h_a = 35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Naším cílem ale je, aby exponent v rovnici (1) byl minimální – pak se bude výstupní teplota blížit aktuální teplotě zeminy v dané hloubce uložení. Z tohoto pohledu je při nižších průtocích výhodnější použít potrubí s lepší tepelnou vodivostí, přičemž je také nutné posoudit výši investičních nákladů, resp. poměr cena/výkon (viz poslední a předposlední řádek **tab. 1**). Pro optimalizaci tlakových ztrát by však rychlost vzduchu v potrubí neměla překročit 2–3 m/s [6], což odpovídá hodnotám h_a kolem $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ (viz **tab. 2**). Za těchto podmínek nehraje volba materiálu potrubí významnou roli.

S ohledem na tyto skutečnosti bylo pro experimentální ZVT použito „nejlevnější“ potrubí KG-Systém (PVC)[®] SN4 (v době realizace – 1. pololetí 2011 – navíc o 14,5 % levnější, než je uvedeno v **tab. 1**). Nutno dodat, že je to i nejpoužívanější potrubí zemních výměníků v běžné praxi, kdy významnou roli hraje snaha o minimalizaci investičních nákladů. Potrubí dle výrobce zajišťuje těsnost spojů při deformaci nebo vychýlení trubky, což pro daný účel zcela postačuje. V poměru cena/výkon je PVC potrubí lepší variantou než PP. Jako nejméně výhodná varianta se jeví potrubí KG 2000 Polypropylen, poté následuje potrubí AWADUKT Thermo.

5 Závěr

Z uvedené analýzy vyplývá, že volba materiálu potrubí nemá na výkon ZVT zásadní vliv. V porovnání poměru cena/výkon vychází běžný kanalizační PVC systém jako nejlepší; pro potrubí z PP je tento poměr vzhledem k vyšším investičním nákladům horší. Pro detailnější hodnocení energetického přínosu zemního výměníku s různými typy potrubí by bylo nutno provést energetickou simulaci jeho provozu. Jelikož je chod ZVT ve většině případů řízen dle aktuální venkovní teploty a pracuje pouze omezenou dobu (zima, léto), uvedená metodika hodnocení vlivu materiálu se jeví jako dostačující. Aplikace PVC kanalizačního systému však může přinášet riziko mikrobiologického znečištění přiváděného vzduchu (z tohoto hlediska je nejvhodnější systém AWADUKT Thermo). Další práce autorů se bude proto věnovat hodnocení kvality přiváděného vzduchu z již provozovaných vzduchových zemních výměníků tepla.

Poděkování Autoři děkují grantům GAČR 101/09/H050 „Výzkum energeticky úsporných zařízení pro dosažení pohody vnitřního prostředí“ a FSI-S-11-6 „Komplexní modelování interakce člověka a prostředí v kabinách dopravních prostředků a obytných prostorách a návrhové nástroje“ za podporu při zpracování a prezentaci tohoto příspěvku.

Literatura

- [1] KOLBÁBEK A., JAROŠ, M.: Nový experimentální zemní výměník tepla FSI VUT. In *Klimatizace a větrání 2012*, Praha: STP, 2012.
- [2] JAROŠ, M., KOLBÁBEK A.: Energetický a ekonomický přínos zemního výměníku tepla v teplovzdušném vytápěcím systému s rekuperací. *Vytápění, větrání, instalace*, 19 (5): 222–228, 2010.
- [3] KOPECKÝ, P.: Hygro-thermal performance of earth-to-air heat exchangers: numerical model, analytical and experimental validation, measurements in-situ, design. Disertační práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2008. Dostupné z: <http://kopeckyp.wz.cz/files/pdf/PK_DIZ08.pdf>.
- [4] WAVIN-OSMA, ceník KG potrubí [online] [cit. 2012-04-25], Dostupné z: <<http://www.wavin-osma.cz/cz/cenik>>.
- [5] REHAU, ceník potrubí Awadukt Thermo, [online] [cit. 2012-04-25], Dostupné z: <http://www.lonicera.cz/_foto/awadukt_thermo_cenik_2012.pdf>.
- [6] CHICHMANOV I.: Zemní kolektor - nový prvek v systémech řízeného větrání budov [online] [cit. 2012-04-20], Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/2047-zemni-kolektor-novy-prvek-v-systemech-rizeneho-vetrani-budov>>.