

Vliv vzduchu v oběhové vodě na provozní vlastnosti tepelných soustav

Influence of air contained in the circulating water on the operational characteristics of heating systems

Ing. Vladimír VALENTA
 Projekce vytápění Říčany

Článek objasňuje princip pohlcování vzduchu do vod v otopných soustavách. Výsledky jsou dovedeny do praktických závěrů, umožňujících stanovit objemový podíl pohlceného vzduchu v různých místech otopných soustav v závislosti na tlaku a teplotě.

Klíčová slova: otopná soustava, vzduch, rozpustnost, pohlcování, difuze

Recenzent
 doc. Ing. Karel Brož, CSc.

The article explains the principle of air absorption in the water of heating systems. The results are carried through into practical conclusions enabling to specify the volumetric portion of absorbed air at different points of heating systems in dependence on pressure and temperature

Key words: heating system, air, absorption solubility, diffusion

ROZPUSTNOST PLYNŮ VE VODĚ

Voda ve styku se vzduchem rozpouští kyslík O_2 , dusík N_2 a oxid uhličitý CO_2 , z nichž O_2 a CO_2 působí korozivně na zařízení a je třeba je z vody odstraňovat. Dusík je plyn netečný a z hlediska chemického režimu oběhové vody otopných soustav je nezávadný. Z provozního hlediska plyny rozpuštěné ve vodě snižují měrnou tepelnou kapacitu teplosměnné látky, zvyšují čerpací práci a spolupůsobí při vzniku kavitačního hluku. Jedinou kladnou vlastností vody s rozpuštěnými plyny je její pružnost. Voda se chová jako stlačitelná kapalina a tlumí tlakové rázy.

Rozpustnost nedisociovatelných plynů O_2 , N_2 , CO_2 v čisté vodě se řídí zákonem Henryho, který platí pro čisté plyny a pro zanedbatelný tlak vodní páry. Formulaci zákona „Zvolený objem kapaliny pohlcuje za různých tlaků při stejné teplotě vždy stejný objem plynu“, lze popsat vztahem

$$V_p / V_k = \alpha, \quad (1)$$

kde V_p je objem plynu pohlceného kapalinou při určitém tlaku $[m^3]$
 V_k – objem kapaliny $[m^3]$
 α – součinitel rozpustnosti podle Ostvalda $[-]$.

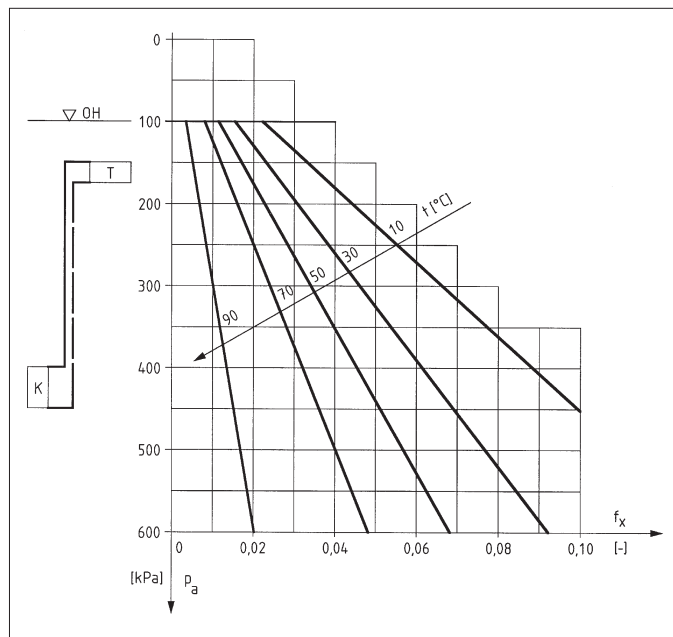
Je-li potřebné převést objem plynu V_p , který je rozpuštěn při parciálním tlaku p_i , na objem plynu při tlaku $p_o = 101,3$ kPa a při stejné teplotě, použije se vztah

$$V_{po} / V_k = (V_p / V_k) \cdot p_i / p_o = \alpha \cdot p_i / p_o = f, \quad (2)$$

kde V_{po} je objem plynu při tlaku p_o $[m^3]$
 V_p – objem plynu při tlaku p_i $[m^3]$
 p_i – parciální tlak plynu nad kapalinou $[kPa]$
 p_o – tlak plynu 101,3 $[kPa]$
 f – objemová koncentrace plynu pohlceného kapalinou při tlaku p_i , přepočítaná na tlak p_o $[m^3 \cdot m^{-3}]$.

Parciální (dílní) tlak plynu nad kapalinou se musí používat v případech, kdy se plyn nad hladinou vyskytuje ve směsi s dalšími plyny a parami, což je případ vzduchu. Celkový tlak směsi je dán součtem parciálních tlaků jednotlivých složek. Z posledního vztahu lze po úpravě získat vztah pro hmotnost plynu pohlceného kapalinou, za použití výrazu $m_p = V_{po} \cdot \rho_o$

$$m_p / V_k = \alpha \cdot p_i \cdot \rho_o / p_o, \quad (3)$$



Obr. 1 Závislost objemové koncentrace vzduchu rozpuštěného ve vodě při nasycení na absolutním tlaku a na teplotě vody

kde m_p je hmotnost plynu pohlceného kapalinou $[kg]$
 ρ_o – hustota plynu při tlaku 101,3 kPa a teplotě 0 °C $[kg \cdot m^{-3}]$.

Tím získáváme další formulaci Henryho zákona: „Hmotnost plynu rozpuštěného za určité teploty v určitém objemu kapaliny je přímo úměrná tlaku plynu za téže teploty“. Při teplotách vyšších než 0 °C je ve vzduchu, který je nad vodou, již znatelné množství vodní páry na mezi systoty.

Proto se musí zohlednit parciální tlak vodní páry, takže

$$p_i = p_{io} \cdot (p_c - p_s) / p_c, \quad (4)$$

kde p_{io} je parciální tlak plynu v suchém vzduchu $[kPa]$
 p_c – celkový tlak vzduchu $[kPa]$
 p_s – parciální tlak vodní páry za příslušné teploty $[kPa]$.

Pokud se vypočtou koncentrace jednotlivých složek vzduchu ze vztahů (2) a (4), získáme koncentrace rozpuštěného vzduchu ve vodě při tlaku 101,3 kPa a teplotách od 0 do 100 °C (tab. 1). Parciální tlaky plynů v suchém vzduchu při uvedeném tlaku byly uvažovány ve výši:

- pro O₂ 21,2 kPa,
- pro N₂ 80,1 kPa,
- pro CO₂ .. 0,01 kPa.

Tab. 1 Rozpustnost vzduchu ve vodě $f [10^{-3} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$ při tlaku 101,3 kPa

Teplota [°C]										
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
26,8	22,1	18,4	15,4	13,2	11,5	9,8	8,0	6,0	3,4	0

Kyslík O₂ se rozpouští ve vodě intenzivněji než dusík N₂. Jeho koncentrace ve vodě dosahuje polovinu hodnoty koncentrace dusíku, i když je jeho objemový podíl v okolním vzduchu pouze 21 %. U nových tepelných soustav kyslík rychle chemicky reaguje s čistými kovovými vnitřními povrchy a jako plyn mizí. U soustav, které mají již kovové vnitřní povrchy danou reakci pasivované, je možné kyslík odvádět spolu s dusíkem odváděcí a odvzdušňovací nebo vázat chemickými látkami přidávanými do vody.

VSTUP VZDUCHU DO SOUSTAV

Do vodních tepelných soustav se dostává vzduch:

- ☐ po dokončení montáže, případně po vypuštění vody ze soustavy,
- ☐ při doplňování neodplyněnou vodou,
- ☐ difúzí,
- ☐ malými otvory v zařízení soustav při poklesu tlaku v části soustavy pod tlak okolního vzduchu.

V prvním případě se jedná o počáteční zavzdušnění vnitřního prostoru soustavy, v dalších dvou případech o provozní zavzdušňování. Pokud je únik oběhové vody ze soustavy minimální, bude i množství vzduchu zanesené do soustavy doplňovací vodou minimální a to i v případě, že se použije voda z vodovodu. O difúzi bude v další části pojednáno podrobněji. Poslední případ by neměl během provozu soustavy vůbec nastat, a to ani při jejím odstavení.

DIFUZE VZDUCHU

Při difúzi prochází vzduch buď přes hladinu (přímá difúze) nebo skrz prvky tepelné soustavy z porézních materiálů (nepřímá difúze) do oběhové vody. Za porézní elementy se považuje většina nekovových těsnění, ucpávky, případně plastové trubky bez difúzní bariéry. Při nepřímé difúzi je difúzní tok závislý na odporu difúzního místa.

Hnací silou difúzního toku je rozdíl parciálních tlaků vzduchu v okolí a uvnitř tepelné soustavy. Pokud je v „kontaktu“ s tepelnou soustavou pouze atmosférický vzduch o tlaku přibližně 100 kPa, je parciální tlak vzduchu v oběhové vodě téměř nulový. Potom má difúzní tlakový rozdíl celé tepelné soustavy téměř stálou hodnotu ve výši přibližně 100 kPa. Přitom nezáleží, zda je vnitřní přetlak vody 0,1 nebo 2,5 MPa!

Je-li u expanzních nádob udržován přetlak vody stlačeným vzduchem nebo jiným plynem, bude difúzní tlakový rozdíl u této části tepelné soustavy několika-násobně vyšší, protože bude dán přibližně absolutním provozním tlakem soustavy. Potom provozní koncentrace plynu v oběhové vodě se může značně zvýšit. Platí to zejména pro soustavy s tlakovými expanzními nádobami s kompresory, kdy je stlačený vzduch v přímém styku s vodní hladinou. Dnes jsou naštěstí tato expanzní zařízení zakázána.

Zatím nelze spolehlivě vypočítat difúzní tok, protože se jejich měření pro různé typy difúzních míst teprve připravují.

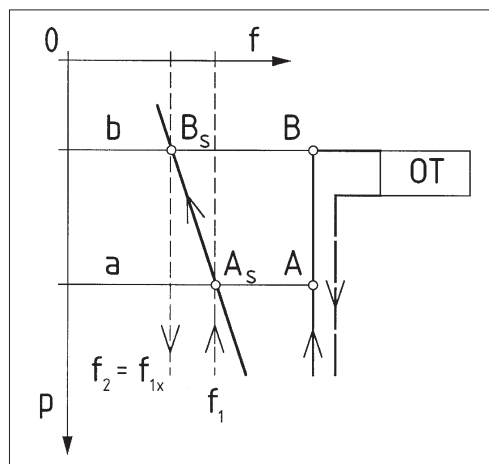
ODVÁDĚNÍ VZDUCHU ZE SOUSTAV

Z oběhové vody soustavy lze odvádět pouze volný vzduch a ne vzduch rozpuštěný. Počáteční odvzdušnění se musí provádět při napouštění vody na všech lokálně nejvyšších místech soustavy. Odvzdušňovací místa pro provozní odvzdušňování musí být na všech nejvyšších místech soustavy, kde jsou ideální podmínky pro vylučování vzduchu z vody. Jednak nejnižší tlak, jednak nejvyšší teplota vody. Jiná místa jsou pro osazení odváděčů nevhodná. Pokud se mají určená místa odvzdušňovat při provozu, musí být také zajištěna nízká rychlost vody a jímací prostor.

KONCENTRACE VZDUCHU V OBĚHOVÉ VODĚ

Představu o provozní koncentraci vzduchu v oběhové vodě můžeme získat pomocí následujícího děje. Při postupu přívodní vody o teplotě t_1 a koncentraci f_1 stoupacím potrubím k nejvyššímu otopnému tělesu klesá tlak (obr. 2). V bodě A na hladině a (hladina vylučování vzduchu) se začne z vody vylučovat vzduch. K vylučování dochází proto, že pořadnice koncentrace f_1 protíná čáru sytosti při teplotě t_1 v bodě A_s. Vylučování vzduchu se děje při postupu vody až do nejvyšší hladiny b procházející horní částí otopného tělesa v bodě B. Koncentrace v bodě B bude f_{1x} . Je dána průsečíkem čáry sytosti při teplotě t_1 s hladinou b v bodě B_s.

Do otopného tělesa vstupuje voda o koncentraci f_1 , resp. jednak voda s koncentrací f_{1x} , jednak volný vzduch, který se z tělesa odvádí. Z otopného tělesa vystupuje zpětná voda s koncentrací $f_2 = f_{1x}$. Tato hodnota představuje nejvyšší úroveň koncentrace v určité tepelné soustavě. Naopak hodnota f_1 představuje nejvyšší úroveň koncentrace. V ostatních místech soustavy dosahuje koncen-



Obr. 2 Snižování koncentrace vzduchu v nejvyšším tělese

trance vzduchu proměnných hodnot v rozsahu f_2 až f_1 . Pro uvedený děj samozřejmě platí, že množství vzduchu, které vstupuje do tepelné soustavy bude v rovnováze s množstvím vzduchu, které je ze soustavy odváděno.

Pro rozdíl koncentrací vzduchu ve skutečné soustavě lze odvodit vztah

$$\Delta f = f_1 - f_2 = n_d \cdot m_{d1} \cdot \rho_v / (u \cdot m_{vc} \cdot \rho_{ao}), \quad (5)$$

kde f_1 je objemová koncentrace vzduchu v přívodní vodě [-]
 f_2 – koncentrace vzduchu ve zpětné vodě [-]
 n_d – počet difúzních míst v soustavě [-]
 m_{d1} – difúzní tok vzduchu do soustavy jedním dif. místem [kg.h⁻¹]

ρ_v – hustota vody [kg.m⁻³]
 u – odlučovací podíl průtoků vody místy, ve kterých dochází k vylučování, k celkovému průtoku [-]
 m_{vc} – celkový průtok vody soustavou [kg.h⁻¹]
 ρ_{ao} – hustota vzduchu při tlaku 101,3 kPa [kg.m⁻³].

Ve vztahu se pro zjednodušení předpokládá, že difuzní tok je pro všechna difuzní místa shodný, tzn. že difuzní odpor i tlakový rozdíl jsou shodné. Pokud jsou tepelné výkony všech otopných těles přibližně stejné, lze určit odlučovací podíl ze vztahu

$$u = n_u / n_c \quad (6)$$

kde n_u – počet otopných těles soustavy, ze kterých se odvádí vzduch [-]
 n_c – celkový počet otopných těles v soustavě [-].

Ze vztahu (5) vyplývají následující poznatky. Úroveň koncentrace f_2 je pevná hodnota, daná bodem B_s na křivce sytosti při teplotě t_i a tlaku p_B . Rozdíl koncentrací je úměrný množství vzduchu vstupujícího do soustavy a nepřímo úměrný vylučovacímu podílu.

Mírou počtu odváděcích míst může být podíl počtu otopných těles na nejvyšším podlaží objektu či okrsku k celkovému počtu těles v objektu. U objektových vytápěcích horizontálních soustav se spodním rozvodem provedených pouze v jednom podlaží je podíl roven 1. Rozdíl koncentrací je potom nepatrný. U objektových vytápěcích vertikálních soustav bývá podíl převážně nad hodnotou

0,1, což představuje dostatečný počet odváděcích míst. Při tomto počtu by se neměla projevovat zhoršená funkce otopných těles. U některých okrskových vytápěcích soustav ve výškově členitém terénu nebo s objekty o různých výškách může podíl klesnout i na úroveň 0,01. Nízký podíl bude znamenat zvýšení koncentrace vzduchu a následně možné zavzdušňování těles i na nižších podlažích. Pokud na těchto tělesech budou osazeny TRV a naopak nebudou osazeny odvzdušňovací ventily, dojde ke snižování tepelného výkonu těles, které může znamenat úplné odstavení tělesa.

V závěru odpovíme na otázku, jak se mění nejnižší koncentrace f_2 vzduchu v oběhové vodě soustavy 90/70 °C během vytápěcího období. Odpověď nám napomůže diagram rozpustnosti (obr. 1). Nechť expanzní zařízení je schopno udržovat absolutní tlak v nejvyšším bodě soustavy v minimálním rozmezí, např. na hodnotě 150 kPa. To je možné v případě otevřené horní expanzní nádrže. Potom nejnižší koncentrace vzduchu f_2 bude kolísat v rozmezí 0,005 (při 90 °C) do 0,020 (při 40 °C). Tyto hodnoty se odečtou z diagramu pro průřezky přímky nasycení při určité teplotě a tlakové hladiny. U podlahové soustavy 40/30 °C bude kolísání koncentrace v rozmezí 0,020 do 0,023. Pokud by se absolutní tlak během vytápěcího období měnil vlivem činnosti např. membránové expanzní nádoby v rozsahu od 150 do 300 kPa, bude u soustavy 90/70 °C kolísat nejnižší koncentrace vzduchu v rozmezí 0,010 do 0,020.

Literatura:

- [1] Kolektiv: Topenářská příručka. Praha: Gas, 2 001. ISBN 80-86176-81-9.
- [2] PÁČA, P., PANÁČEK, F., VALENTA, V.: Oběhová voda v tepelných soustavách. Brno: CTI, 1999. ISBN 80-86208 05-2.

Rozšíření nabídky stávajících servopohonů s havarijní funkcí

Offer extension of existing servomechanisms with emergency functioning

Belimo CZ, Praha

Sortiment servopohonů řady AF... (15 Nm, havarijní funkce), doplňuje Belimo pěti novými pohony s pružinovým zpětným chodem, s krouticím momentem 15 Nm. Typové označení tohoto nového výrobku je AFR..., kde R slouží k označení redukované vybavenosti pohonu.

Ne každé bezpečnostní použití vyžaduje veškeré funkce, které nabízejí pohony AF... Z tohoto důvodu byly vyrobeny o něco jednodušší, zato cenově příznivější pohony AFR... Mohou být použity všude tam, kde lze upustit od požadavku ručního přestavení (ruční natažení pružiny – stejně jako u pohonů LF...).

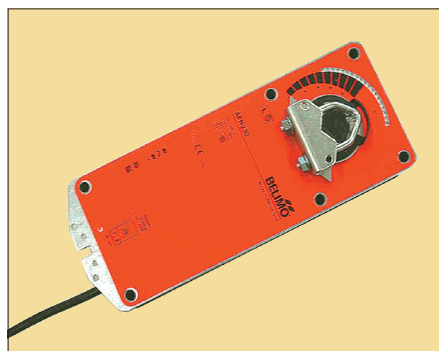
Pokud musí být signalizována havarijní poloha, pak je u typu AFR...-S vestavěn jeden přepínací kontakt. Přepínací kontakt lze ručně plynule nastavit od 0 do 90° pracovního úhlu.

Nové pohony mají oproti řadě AF... cenově příznivější třmen, který je navíc přizpůsoben i pro jednoduchou mon-

Označení	Napájecí napětí	Funkce
AFR 24	24 V	otevřeno/zavřeno
AFR 24-S	24 V	otevřeno/zavřeno + jeden přepínací kontakt
AFR 24-SR	24 V	spojitý signál 0 až 10 V
AFR 230	230 V	otevřeno/zavřeno
AFR 230-S	230 V	otevřeno/zavřeno + jeden přepínací kontakt

táž adaptérem WAF na Belimo kulové kohouty řady R... Tím Belimo zcela doplnilo sortiment kulových kohoutů se servopohony s havarijní funkcí.

Pro dvou a třicestné kulové kohouty řady R... od DN 15 do DN 32 ($k_{vs} = 16$) se používají servopohony řady LF...



Obr. 1 Nový servopohon řady AFR.. s havarijní funkcí

(4 Nm) a od DN 32 ($k_{vs} = 32$) do DN 50 servopohony AFR (15 Nm). Kulové kohouty s pohony lze nastavit tak, že při výpadku napětí je havarijní funkce buď zcela otevře, nebo uzavře.

Servopohony AFR... i v kompletu s kulovými kohouty Belimo jsou v prodeji od srpna 2001.

* Spotřeba elektrické energie v budovách – superokna

V Rocky Mountains v Coloradu v USA ve výšce 2200 m nad mořem byl vybudován pasivní solární dům. Venkovní teplota je zde až – 45 °C, pouze 52 dnů v roce nemrzne.

Kamna na dřevo uhradí 1 % tepelné energie, kterou potřebuje běžný dům v okolí. Zbýlá energie je pasivně solární. Speciální okna propouštějí dovnitř tři čtvrtiny viditelných paprsků a polovinu sluneční energie, nenechají uniknout téměř žádné teplo. Pěnová izolace stěn a střešů omezuje v těchto částech tepelné ztráty na polovinu. Čerstvý vzduch proudí z výměníků tepla, které zužitkovávají tři čtvrtiny tepla z odpadního vzduchu.

Celé zařízení bylo levnější než tradiční budova, protože nebyly nutné náklady na konvenční vytápění a rozvody.

Stavebnictví 2001, ekonomicko-technická revue, s. 35.

(Laj)