

Ing. Martin KNY, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky efektivních
 budov

Vliv proudění vzduchu přes průvzdušnou tepelnou izolaci na hodnotu součinitele prostupu tepla – CFD simulace



Influence of Airflow through Air-Permeable Thermal Insulation on the Value of Heat Transfer Coefficient – CFD Simulation

Recenzenti:

doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
 doc. Dr. Ing. Michal Jaroš

Článek hodnotí vliv proudění vzduchu přes průvzdušnou tepelnou izolaci na hodnotu součinitele prostupu tepla. Pomocí CFD simulace je hodnoceno několik variant obvodového pláště sezónního zásobníku tepla. Model je validován pomocí dat získaných na teplovodním zásobníku o objemu 1082 m³. Simulace jsou provedeny v programu ANSYS FLUENT. Výsledky simulací ukázaly, že vliv na součinitel prostupu tepla má zejména přítomnost dutin v tepelné izolaci. Naopak vlastní vliv průvzdušnosti tepelné izolace je mnohem menší.

Klíčová slova: sezónní zásobník tepla, CFD simulace, porézní materiál, tepelné ztráty

The paper evaluates the influence of airflow through air-permeable thermal insulation on the value of heat transfer coefficient. Several variants of envelope of seasonal heat storage tank are assessed with the use of CFD simulation. The model is validated using data obtained from a 1082 m³ hot water storage tank. The simulations were performed in ANSYS FLUENT. The results of simulations have shown that the heat transfer coefficient is especially affected by the presence of cavities in the thermal insulation. On the contrary, the influence of air-permeability of the thermal insulation is much smaller.

Keywords: seasonal heat storage, CFD simulation, porous material, heat loss

ÚVOD

Skutečné tepelné ztráty obvodových plášťů budov mohou být oproti hodnotám v projektu mnohem vyšší. Tento stav je dán zejména přítomností tepelných mostů, odlišnými vlhkostními podmínkami tepelné izolace a technologickou kázní při realizaci. Velkých rozdílů může být dosahováno u dvouplášťových zateplovacích systémů s provětrávanou vzduchovou mezerou. Přítomnost dutin v průvzdušné tepelné izolaci, z důvodů špatného návrhu nebo provedení, může tepelnou ztrátu významně ovlivnit. U obvodových plášťů budov je zjištění skutečného součinitele prostupu tepla U velmi obtížné. Jeho zvýšená hodnota nemá často na vlastní konstrukci objektu a jeho užívání vliv a v důsledku se projeví pouze vyššími náklady za spotřebované teplo. Existují však konstrukce, kde může být dopad mnohem vyšší. Příkladem mohou být sezónní zásobníky tepla, kde mohou zvýšené tepelné ztráty významně ovlivnit celkovou účinnost systému.

Článek hodnotí vliv proudění vzduchu přes průvzdušnou tepelnou izolaci na hodnotu součinitele prostupu tepla na modelu obvodového pláště sezónního zásobníku tepla. Pomocí CFD simulace je provedeno hodnocení několika variant obvodového pláště. Výsledky jsou validovány pomocí dat získaných na realizovaném zásobníku tepla o objemu 1082 m³.

DLOUHODOBÁ AKUMULACE TEPLA VE SLATIŇANECH

Systém a jeho provoz

Modelovaný zásobník je součástí solárního systému s dlouhodobou akumulací tepla, který je od roku 1996 v provozu v Domě sociálních služeb ve Slatiňanech. Teplo z kolektorového pole (absorbér 147,8 m²) je zde ukládáno do vodního zásobníku (1082 m³), ze kterého je v případě potřeby dodáváno do otopného systému objektu (podlahové vytápění, vytápěná plocha cca 1020 m²).

V uplynulých letech pracoval systém nejčastěji se solárním pokrytím 70 až 80 % pro vytápění a okolo 20 % pro přípravu TV. Nízké solární pokrytí pro přípravu TV je způsobeno změnou užívání objektu, kdy je spotřeba TV oproti projektu mnohem vyšší. Solární pokrytí pro vytápění dosahuje, i přes zvýšené tepelné ztráty zásobníku, poměrně vysokých hodnot. Důvodem tohoto stavu je relativně nízká spotřeba tepla na vytápění (cca 40 kWh/m² za rok).



Obr. 1 Plášť zásobníku v době výstavby

Fig. 1 Envelope of the storage tank during construction



Obr. 2 Pohled na zásobník v současnosti

Fig. 2 Current view on the storage tank

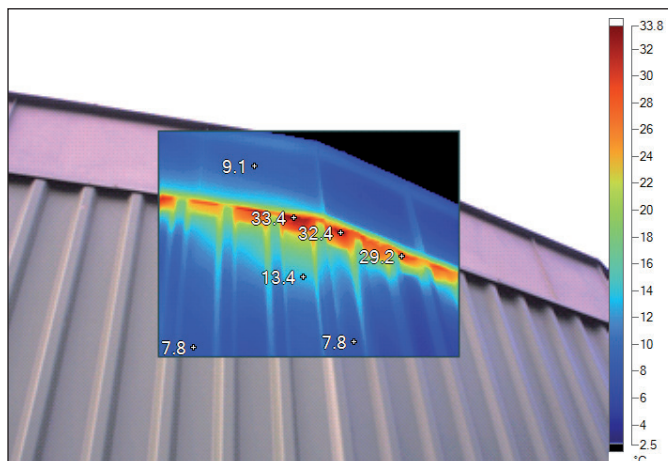
Popis zásobníku

Použitý zásobník je konstrukcí montovaný ocelový smaltovaný, vyrobený ve Vítkovicích. Konstrukce tepelněizolačního pláště je představena před vlastní zásobník. Do konstrukce z ocelových (vnější profily) a dřevěných profilů (vnitřní profily u zásobníku), která tvoří před zásobníkem rastr o rozměrech cca 2×2 m, je vložena tepelná izolace. Byly použity jednotlivé desky z minerálních vláken o tloušťce 100 mm (celková tloušťka izolace 700 mm). Tepelná izolace je zajištěna proti vypadnutí latí opřemou o ocelovou nosnou konstrukci. Proti povětrnostním podmínkám je obvodová konstrukce chráněna trapézovým plechem. Obvodový plášť zásobníku je založen na samostatných základových pasech, dilatovaných od základů pod zásobníkem. Dno zásobníku je tepelně izolováno pórobetonovou deskou o tloušťce 500 mm. Skladba konstrukce zásobníku i použitý technologický postup je dobře patrný z obr. 1 a obr. 2.

Konstrukce střešního pláště je samonosná z dřevěných sbíjených vazníků. Jednotlivé vazníky jsou po obvodu uloženy na představenou konstrukci pláště a uprostřed ukotveny do středového prstence. Tepelná izolace je zde položena mezi vazníky přímo na ocelové víko nádrže. Hydroizolace střechy je tvořena ocelovým plechem položeným na záklop z OSB desek.

Příčiny vysokých tepelných ztrát

Na základě závěrů publikovaných v [1] a [2] je zřejmé, že hlavním důvodem vysokých tepelných ztrát zásobníku je proudění vzduchu přes souvrství obvodového pláště. Vzduch vstupuje do souvrství pláště štěrbinou mezi základem a trapézovým plechem, dostává se k vlastní ocelové stěně zásobníku, ohřívá se a stoupá pod střechu a posléze vystupuje štěrbinou mezi trapézovým plechem a střešní konstrukcí (viz obr. 3). Hlavní příčinu proudění tvoří gravitační síly. Proudění vzduchu v okolí zásobníku pravděpodobně nemá na tento jev významný vliv. Pro vznik proudění je rozhodující přítomnost dutin v obvodové konstrukci. Vertikální dutina po celé výšce zásobníku se nachází mezi dřevěným sloupkem (100×80 mm) a vlastní stěnou zásobníku. Další netěsnosti lze předpokládat v místech dřevěných podlažek, které slouží jako podpora pro tepelnou izolaci (viz obr. 1). Negativním důsledkem tohoto stavu je také to, že měrná tepelná ztráta zásobníku se zvyšuje se stoupajícím teplotním rozdílem mezi zásobníkem a okolím (viz obr. 6).

Obr. 3 Termovizní snímek zásobníku (teplota vzduchu cca 7°C , teplota vody u hladiny cca 44°C)Fig. 3 Thermal image of the storage tank (air temperature approx. 7°C , water temperature by the surface approx. 44°C)

POPIS HODNOCENÝCH VARIANT

Jednotlivé hodnocené varianty se lišily přítomností dutin v tepelné izolaci. Byl hodnocen stav, kdy bylo provedení tepelné izolace dokonalé (bez dutin), až po stav, který by měl odpovídat skutečnosti (přítomnost dutin). Hlavním sledovaným parametrem byl součinitel prostupu tepla U hodnoceného výseku pláště a také jeho průběh v závislosti na teplotním rozdílu mezi zásobníkem a okolním vzduchem.

Vzhledem k symetrické konstrukci pláště zásobníku bylo možné modelovat pouze jeho výsek, konkrétně $1/42$ (o šířce poloviny rozteče ocelových sloupků konstrukce). Při simulaci byla modelována pouze svislá část obvodového pláště. V půdorysu tvoří vnitřní část pláště kružnici o poloměru 6 m, vnější část pláště tvoří pravidelný mnohoúhelník o 21 stranách.

Model pláště byl částečně zjednodušen. Trapézový plech byl nahrazen plechem rovným, nebyla také modelována vnější ocelová konstrukce podpírající trapézový plech. Za vnějším plechem byla modelována provětrávaná vzduchová mezera. Vnitřní dřevěná konstrukce, včetně dřevěných podlažek jednotlivých „pater“ izolace, byla v modelu zohledněna.

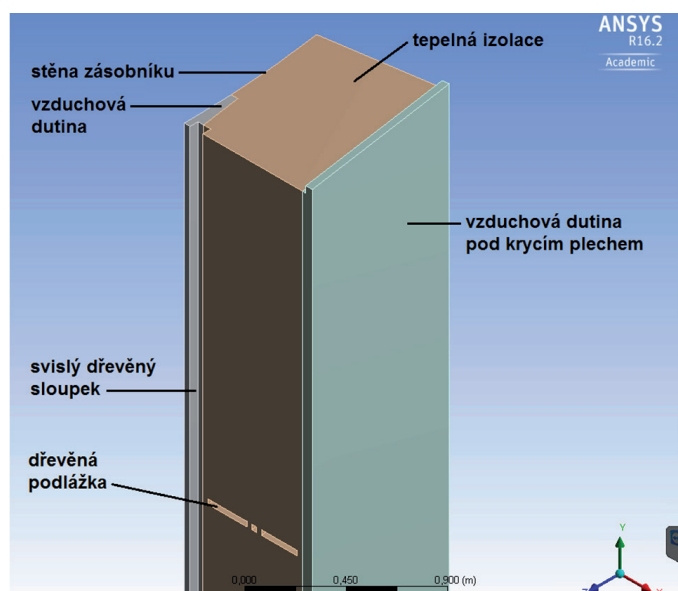
Okrajové podmínky pro všechny základní varianty byly totožné. Byly použity reálné podmínky z 5. 11. 2015 (okolní teplota vzduchu i teploty v jednotlivých výškových vrstvách zásobníku). Pro variantu 3 byly do hodnocení zahrnuty i další teploty vzduchu v rozmezí 0°C až 30°C . Celkem bylo provedeno hodnocení 4 základních variant obvodového pláště.

Variantá 1

Jednalo se o stav, kdy byl objem tepelné izolace dokonale kompaktní, bez mezer. K proudění vzduchu v tepelné izolaci mohlo docházet pouze v důsledku její průvzdušnosti. Jedná se o teoretický stav, přítomnosti dutin se lze při použití materiálu tepelné izolace a jeho způsobu zabudování těžko vyhnout. Tato varianta byla hodnocena ve dvou provedeních lišících se výškou. Pro provedení A byl hodnocen výsek pláště s reálnou výškou 10 m. Pro provedení B byla výška snížena na 0,5 m. Snížení výšky bylo provedeno za účelem ověření vlivu výšky modelu na intenzitu proudění a na výsledný součinitel prostupu tepla U .

Variantá 2

Oproti variantě 1 bylo v objemu tepelné izolace uvažováno s průběžnou vertikální dutinou přiléhající přímo ke stěně nádrže. Část dutiny byla



Obr. 4 Geometrie modelu pro variantu 2

Fig. 4 Model geometry for Variant 2

situována za dřevěným sloupkem, část zasahovala do tepelné izolace (viz obr. 1). Vzduchová dutina je dole i nahoře uzavřená. K výměně vzduchu mezi dutinou a okolím dochází pouze vlivem průvzdušnosti tepelné izolace. Geometrie modelu je patrná z obr. 4.

Varianta 3

Varianta by měla odpovídat reálnému provedení. Kromě vertikální dutiny jsou v modelu přidány i oblasti, ve kterých není izolace kompaktní. Tyto oblasti se nachází vždy pod dřevěnou podlážkou a také na horním konci modelu. Jedná se o oblasti, ve kterých je odpor proti proudění vzduchu výrazně snížen. Takto je zohledněn vliv nedokonalého utěsnění míst pod horizontálními prvky (dřevěné podlážky a vrchní OSB desky) a možného sesednutí jednotlivých desek tepelné izolace. Na tomto modelu byla také ověřena závislost teplotního rozdílu mezi teplotou v zásobníku a okolní teplotou vzduchu na výsledné hodnotě součinitele prostupu tepla U .

Varianta 4

Model je podobný variantě 3. Odlišnosti jsou pouze v tom, že šířka provětrávané vzduchové mezery pod krycím plechem byla snížena z 60 mm na 30 mm a vlastní mezera byla modelována jemnější výpočtovou sítí. Na tomto modelu byla ověřena úprava spočívající v utěsnění horního výstupu z provětrávané mezery. Tato úprava byla na zásobníku reálně provedena.

POPIS VÝPOČETNÍHO MODELU

Simulace byla provedena v programu ANSYS Fluent 16.2. Program umožňuje modelovat také proudění přes průvzdušný (porézní) materiál, v tomto případě zastoupený tepelnou izolací.

Porézní materiál v programu Fluent

Obecně je výpočet tlakové ztráty přes porézní vrstvu definován Ergunovou rovnicí mající tvar:

$$\frac{dp}{dl} = \left[150 \frac{\mu(1-\varepsilon)^2}{(\varphi \cdot d)^2 \cdot \varepsilon^3} \right] v + 1,75 \frac{\rho(1-\varepsilon)}{\varphi \cdot d \cdot \varepsilon^3} v^2 \quad (1)$$

V programu Fluent je pro tlakovou ztrátu přes porézní materiál použita rovnice s tvarem [3]:

$$\frac{dp}{dl} = R_v \cdot \mu \cdot v + \frac{R_i}{2} \rho \cdot v^2 \quad (2)$$

Z rovnic (1) a (2) vychází výpočet odporů R_v a R_i :

$$R_v = \frac{150(1-\varepsilon)^2}{\varphi^2 \cdot d^2 \cdot \varepsilon^3} \quad (3)$$

$$R_i = \frac{2 \cdot 1,75 \cdot (1-\varepsilon)}{\varphi \cdot d \cdot \varepsilon^3} \quad (4)$$

Nastavení porézního materiálu ve Fluentu

Pro sdílení tepla mezi proudícím vzduchem a porézním materiálem byla použita volba *Equilibrium Thermal Model*. Sdílení tepla sáláním v porézním materiálu nebylo uvažováno.

Přesný typ použité izolace z minerálních vláken ani její parametry nebyly známy. Objemová hmotnost byla odhadnuta na $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (odpovídá porozitě $\varepsilon = 0,984$). Dále byl odhadnut průměr vláken d na $5 \text{ } \mu\text{m}$ a délka vláken L na 3 mm . Na základě těchto hodnot byla odvozena sféricita φ porézního materiálu ($\varphi = 0,15$) dle [4]:

$$\varphi = (6 \cdot V_p) / (D_p \cdot A_p) \quad (5)$$

Kde pro váleček o průměru d a délce L platí:

$$V_p = \pi \cdot d^2 \cdot L / 4 \quad (6)$$

$$A_p = \pi \cdot d \cdot L + \pi \cdot d^2 / 2 \quad (7)$$

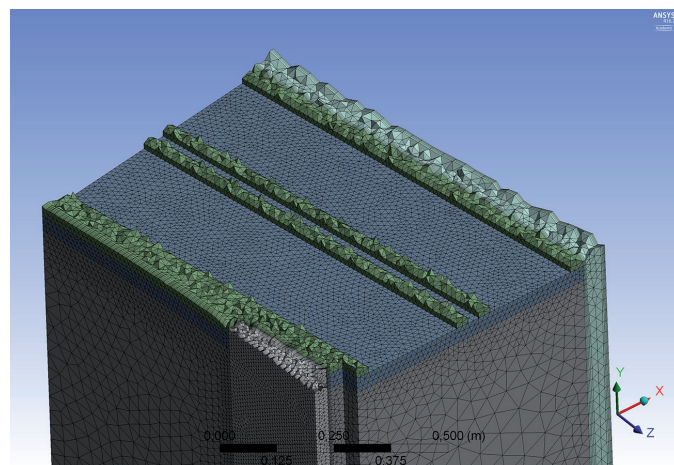
$$D_p = (6 \cdot d^2 \cdot L / 4)^{1/3} \quad (8)$$

Z rovnic (3) a (4) byla posléze odvozena výsledná hodnota v modelu použitého viskózního odporu R_v ($6,7 \cdot 10^{10}$) a interního odporu R_i ($7,8 \cdot 10^4$).

Výpočtová síť

Výpočtová síť byla vytvořena pouze pro oblast tepelné izolace a vzduchu. Celkem se modely skládaly maximálně ze 4 oblastí:

- ☐ vertikální vzduchové mezery u stěny zásobníku,
- ☐ tepelné izolace,
- ☐ oblasti netěsnosti pod horizontálními prvky,
- ☐ provětrávané vzduchové mezery mezi izolací a vnějším plechem.



Obr. 5 Výpočtová síť pro variantu 3 (řez v místě dřevěných podlážek)

Fig. 5 Numerical mesh for Variant 3 (cross-section in place of wooden floors)

Vlastní stěna zásobníku a vnější krycí plech byly modelovány pomocí funkce *Shell conduction*. Dřevěné prvky tvořily výřezy ve výpočtové síti. Řez výpočtovou sítí v místě dřevěných podlažek je znázorněn na obr. 5.

Geometrie modelu byla vytvořena v ANSYS Design Modeler. Prvotní výpočtová síť byla vytvořena v ANSYS Meshing (tetrahedrons buňky). Síť byla posléze ve Fluentu převedena na polyhedral buňky. Celkem bylo použito 5 variant výpočtové sítě. Výsledný počet buněk se pohyboval od 0,21 mil. (varianta 1B) až po 4,5 mil. (varianta 4).

Nastavení programu

Výpočet probíhal jako nestacionární, výpočtový krok byl na začátku simulace 0,05 s, postupně byl zvětšován až na 1 s. V průběhu výpočtu se sledovalo několik parametrů: teplota izolace, energetická bilance a rychlosti proudění v dutinách. V okamžiku jejich ustálení byl výpočet ukončen (10 až 20 hodin výpočtového času). Pro simulaci byl použit počítač s dvěma procesory Intel Xeon X5675 (celkem 12 fyzických jader) a 96 GB RAM. Doba výpočtu dosahovala u variant 2 až 4 cca 72 až 96 hodin.

Nastavení matematického modelu bylo následující. Byl použit tlakově založený řešič *Pressure-Based*. Pro teplotně proměnné parametry vzduchu byla zadána polynomiální závislost. Tlakově rychlostní spojení bylo řešeno schématem *SIMPLE*. Nastavení diskretizace: gradient *Least Squares Cell Based*, tlak *PRESTO!*, ostatní upwind druhého řádu. Výpočty byly provedeny v módu dvojité přesnosti *Double Precision*. Proudění bylo uvažováno jako turbulentní (model *k-ε Realizable*) v porézním materiálu jako laminární. Vztlak byl započten pomocí funkce

Full Buoyancy Effect. Hodnota y^+ byla pro 99 % buněk menší než 1,1 (max. $y^+ = 6$). Inicializace výpočtu byla použita hybridní. Konvergenční kritéria reziduí pro jednotlivé výpočtové kroky byla ponechána na standardních hodnotách (energie $1 \cdot 10^{-6}$, ostatní $1 \cdot 10^{-3}$).

Ve variantách 3 a 4 byl viskózní odpor R_v v nekompaktních oblastech pod horizontálními dřevěnými prvky upraven tak, aby výsledný součinitel U odpovídal hodnotám reálně zjištěným na zásobníku. Tomuto stavu odpovídal použitý viskózní odpor $R_v = 2,2 \cdot 10^6$.

Na vnitřní stěně zásobníku byly použity teploty odpovídající jednotlivým výškovým úrovním zásobníku z 5. 11. 2015 (celkem 10 hodnot po výšce zásobníku). Bylo uvažováno s teplotou okolního vzduchu 4,8 °C.

VÝSLEDKY

V následujících tabulkách a obrázcích jsou shrnuty výsledky provedených simulací. Z výsledků v tab. 1 vyplývá, že u pláště varianty 1A a 1B bylo dosaženo stejné hodnoty součinitele U cca 0,096 W/(m²K). Rozdílná výška výpočtové oblasti tak nemá na výslednou hodnotu součinitele U vliv. K proudění v tepelné izolaci prakticky nedochází.

U varianty 2 (s vertikální dutinou) došlo k malému vzestupu součinitele U o cca 4 % na hodnotu 0,10 W/(m²K). V uzavřené dutině dochází k proudění vzduchu, jedná se však převážně o cirkulační proudění. V důsledku tak došlo k vzestupu tepelné ztráty zejména u spodních vrstev pláště. Horní vrstvy měly ztrátu naopak nižší.

Tab. 1 Podrobné výsledky pro varianty 1 až 3, počítáno pro teplotu vzduchu 4,8 °C

Tab. 1 Detailed results for variants 1 to 3, calculated for air temperature 4.8 °C

varianta	tepelné ztráty vrstev pláště zás. po výšce (výsek pláště) [W]										ztráta celkem [W]	U pláště [W/(m²K)]	prům. rychl. v uzavř. dutině [m/s]	rychlost na výst. z vnější dutiny [m/s]
	1 (dno)	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,72	0,0964	-	-
1B	1,61	3,0	2,8	3,1	3,3	3,6	3,7	3,8	3,7	4,0	32,77	0,0965	-	-
2	2,13	3,7	3,3	3,6	3,7	3,8	3,8	3,6	3,3	3,3	34,2	0,1007	0,027	0,287
3	2,0	10,9	37,7	24,9	30,4	24,9	21,6	17,5	13,0	9,4	192,5	0,5669	0,181	0,418
tepl. vody ve vrstvě [°C]	29,7	35,7	38	40,7	43,5	45,8	47,6	48,3	48,7	49,2	průměrná teplota vody v zásobníku 42,7 °C			

Tab. 2 Závislost výsledků pro variantu 3 na teplotě vzduchu od 0 °C do 30 °C

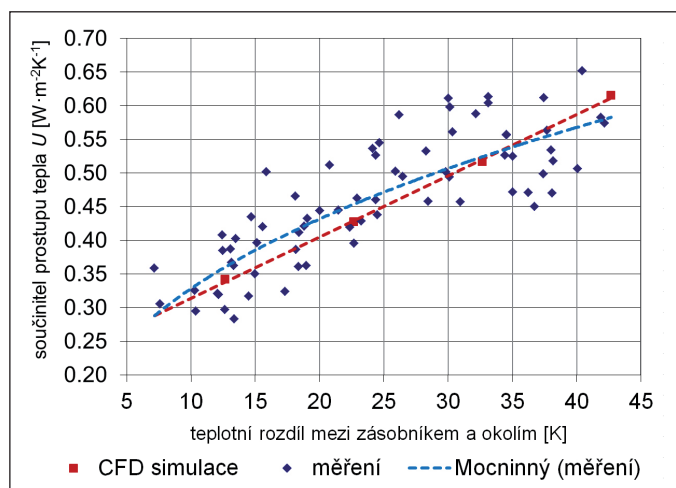
Tab. 2 Dependence of results for variant 3 on the air temperature from 0 °C to 30 °C

var.	Te [°C]	tepelné ztráty vrstev pláště zás. po výšce (výsek pláště) [W]										ztráta celkem [W]	U pláště [W/(m²K)]	prům. rychl. v uzavř. dutině [m/s]	rychlost na výst. z vnější dutiny [m/s]
		1 (dno)	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
3	0	2,8	13,5	46,5	30,6	36,7	29,8	26,1	21,4	16,3	11,8	235,4	0,615	0,204	0,451
3	10	1,4	9,1	29,1	19,2	24,3	20,0	17,3	13,7	10,0	7,3	151,5	0,516	0,150	0,358
3	20	0,5	5,1	15,2	10,5	14,5	12,2	10,7	8,1	5,8	4,3	86,9	0,427	0,111	0,277
3	30	-0,5	1,7	5,1	4,4	7,1	6,2	5,7	4,1	2,9	2,3	38,9	0,341	0,068	0,187

Tab. 3 Porovnání vlivu otevřené a uzavřené vnější provětrávané dutiny

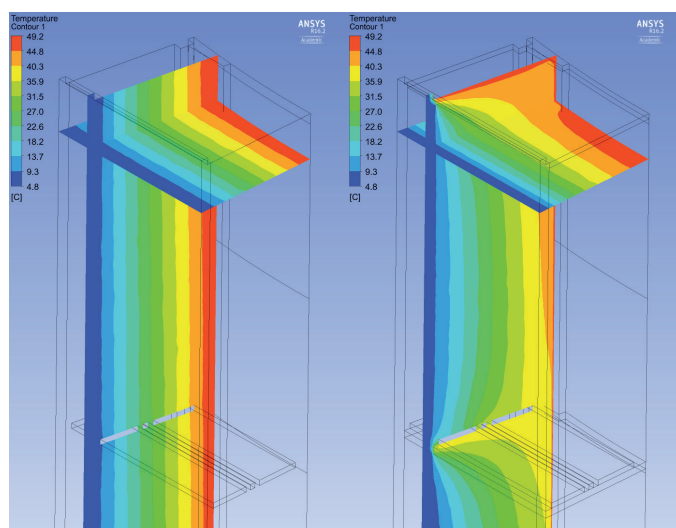
Tab. 3 Comparison of the influence of open and closed outer ventilated cavity

var.	vnější dutina	tepelné ztráty vrstev pláště zás. po výšce (výsek pláště) [W]										ztráta celkem [W]	U pláště [W/(m²K)]	prům. rychl. v uzavř. dutině [m/s]	teplota v uzavř. dutině [°C]
		1 (dno)	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
4A	otevř.	2,4	10,7	37,6	25,2	30,3	24,9	21,7	17,6	13,0	9,4	192,7	0,568	0,180	29,7
4B	uzavř.	2,2	11,1	34,1	21,9	26,2	21,1	17,8	13,8	9,8	6,8	164,8	0,485	0,153	31,4



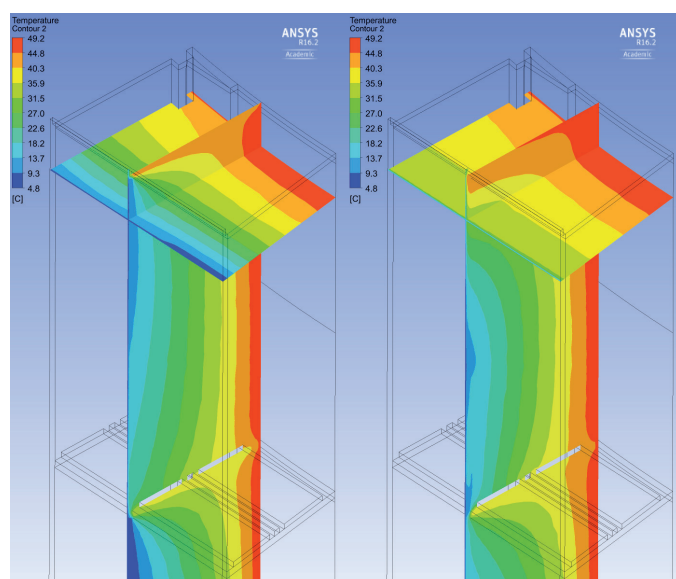
Obr. 6 Teplotní závislost součinitele U ; hodnoty z měření jsou pětidenní průměry

Fig. 6 Temperature dependence of U coefficient; measured values are five-day averages



Obr. 7 Teplotní pole pro variantu 2 (vlevo) a 3 (vpravo)

Fig. 7 Temperature fields for Variant 2 (left) and 3 (right)



Obr. 8 Teplotní pole pro variantu 4A (otevřená dutina – vlevo) a variantu 4B (uzavřená dutina – vpravo); zobrazená teplotní stupnice: 5 až 50 °C

Fig. 8 Temperature fields for Variant 4A (opened cavity – left) and Variant 4B (closed cavity – right); displayed temperature scale: 5 to 50 °C

U varianty 3 došlo k výraznému vzestupu součinitele U až na hodnotu 0,57 W/(m²K). Proudění ve vnitřní dutině je výrazné a prakticky pouze vzestupné s průměrnou rychlostí 0,18 m·s⁻¹. K největšímu vzestupu tepelné ztráty došlo ve spodní a střední části zásobníku, vzduch v dutině zde měl v důsledku pronikání vnějšího vzduchu nižší teplotu. V horní části vertikální dutiny již byl vzduch ohřátý a vzrůst tepelné ztráty nebyl tak významný.

U variant 4A a 4B, které hodnotily vliv uzavření výstupu z provětrávané mezery, došlo v důsledku uzavření dutiny k poklesu součinitele U o cca 14 % z hodnoty 0,57 W/(m²K) na 0,49 W/(m²K).

Po provedené úpravě zásobníku (léto 2014), spočívající v utěsnění výstupu z vnější provětrávané dutiny, byl zjištěn průměrný pokles měrné tepelné ztráty nadzemní části pláště zásobníku o cca 9 %.

DISKUZE

Uzavřená vertikální dutina přiléhá k vlastnímu plášti nádrže tepelnou ztrátu výrazně nezvyšuje (vzestup součinitele U pouze o cca 4 % na hodnotu 0,10 W/(m²K)). Proudění v dutině, vyvolané vztakovými silami, není tak významné a přísávání okolního studeného vzduchu přes porézní materiál tepelné izolace je minimální.

K výraznému vzestupu součinitele U dojde v případě, kdy je kompaktnost tepelné izolace narušena i horizontálními netěsnostmi, které zasahují až do dutiny vertikální (lze u skutečného zásobníku předpokládat). V tomto případě vzroste součinitel U více než 5krát na výslednou hodnotu 0,57 W/(m²K).

Byla potvrzena závislost součinitele U na teplotním rozdílu mezi zásobníkem a okolím. Při vyšším teplotním rozdílu je proudění v plášti zásobníku intenzivnější a vzrůstá tak jeho tepelná ztráta. Teplotní závislost součinitele U zjištěná simulací vykazuje dobrou shodu s výsledky získanými na reálném zásobníku (viz obr. 6).

Pomocí simulace byl ověřen možný přínos provedené úpravy pláště zásobníku. Při úpravě byla utěsněna štěrbina mezi trapézovým krycím plechem a střešou zásobníku. V důsledku této úpravy se teplý vzduch ze souvrství pláště nedostává do okolního prostředí, ale pouze pod vnější trapézový plech. K proudění vzduchu (cirkulaci) poté dochází pouze uvnitř pláště. Při dokonalém utěsnění štěrbiny došlo v simulaci k poklesu součinitele U o cca 14 % (na 0,48 W/(m²K)). Pokles součinitele U zjištěný po úpravě na skutečném zásobníku dosáhl pro svislý plášť hodnoty cca 9,5 %.

Menší reálný pokles součinitele U oproti simulaci může být způsoben nedokonalým utěsněním štěrbiny. Z termovizních snímků [2] se lze domnívat, že k částečnému výstupu teplého vzduchu ze štěrbiny neustále dochází. Další odchylky mohou být způsobeny zjednodušením modelu, zejména nahrazením trapézového plechu plechem rovným a použitím konstantní hodnoty součinitele přestupu tepla na vnější ploše trapézového plechu. Určitý vliv může mít také zanedbání slunečního záření.

ZÁVĚR

Představená CFD simulace potvrdila předpoklad, že přítomnost dutin v tepelněizolační vrstvě může významně (až několikanásobně) zvýšit součinitel prostupu tepla U . K tomuto jevu dochází zejména v případě, kdy jsou v konstrukci přítomny vertikální dutiny propojené s okolním prostředím a zároveň přiléhající k teplému povrchu (stěně). Takto provedená konstrukce vykazuje vysokou závislost součinitele U na teplotním rozdílu mezi teplým povrchem a okolím.

Kontakt na autora: martin.kny@cvut.cz

Poděkování: Tato článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti.

Použité zdroje:

- [1] KNY, M., URBAN, M. Model solárního systému s dlouhodobou akumulací tepla v programu Trnsys. *Simulace budov a techniky prostředí 2012*. Praha: IBPSA-CZ, 2012, s. 17–21. ISBN 978-80-260-3392-9.
- [2] KNY, M., URBAN, M. Das Solarsystem mit dem Saisonalspeicher – die Analyse des Betriebs. 24. *Symposium Thermische Solarenergie*. OTTI, 2014, s. 228–235. ISBN 978-3-943891-35-5.
- [3] ANSYS FLUENT Theory Guide. In: *ANSYS Help System release 16.02* [online]. Dostupné z: <https://support.ansys.com/>
- [4] WILCOX, W. R. Definition and calculation of sphericity of particles [online]. Dostupné z: <https://clarkson.edu/~wilcox/>

Seznam označení:

U	součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]
ρ	hustota [kg/m ³]
μ	dynamická viskozita [Pa.s]
ε	porozita porézního materiálu [-]
φ	sféricita částic porézního materiálu [-]
d	průměr částic porézního materiálu [m]
L	délka částic tvořících porézní materiál [m]
D_p	průměr koule o objemu shodném s částicí [m]
V_p	objem částice materiálu [m ³]
A_p	plocha částice materiálu [m ²]
v	rychlost [m/s]
R_v	viskózní odpor [m ⁻²]
R_i	interní odpor [m ⁻¹]

Chlazení výpočetních center v roce 2025

Anketa Emerson Network Power se dotázala, jakou metodou se budou chladit výpočetní centra v roce 2025. Vychází z toho, že téměř jedna třetina celkové spotřeby energie u výpočetních center připadá na chlazení. Zájmem provozovatelů je tuto položku co nejvíce snížit. Podle účelu, místa a výkonu se zde etablovaly různé chladicí techniky.

Dle výsledků se 41 % dotazovaných domnívá, že se bude jednat o kombinaci vzduchu a kapaliny (zde se v posledních letech osvědčilo chlazení vzduchem se směsí vody a glykolu). Další 20 % sází na vnější vzduch a 19 % na chlazený vzduch. Kapalinné chlazení prognózuje 11 %, zatímco 9 % se domnívá, že to bude chlazení komponent ponořem do tepla odnímající kapaliny.

Nadnárodní marketingová, prodejní a investiční společnost Emerson Network Power je součástí Emerson Electric Co. Má významný vliv ve vedení asociace ASHRAE.

Pramen: CCI 08/2016, s. 9–10

(AB)

Přírodní chladivo: vzduch

Mezi přírodní chladiva s hodnotou $GWP = 0$ patří vedle čpavku (R717) také vzduch (R729).

Vzduch není toxický, není hořlavý a je k dispozici zdarma, nekondenzuje a neodpařuje se. Dříve hrál v chlazení významnou roli, uvedením čpavku v roce 1900 a později syntetických chladiv téměř zmizel a udržel se u klimatizací letadel a vagónů.

Přednosti a nedostatky chlazení vzduchem jsou popsány v přednášce prof. I. Ebingera na portálu www.cci-dialog.de pod č. cci49185. O alternativu chlazení vzduchem zájem roste, přestože její nasazování pro veškeré chlazení a klimatizaci nemá smysl.

Pramen: CCI 10/2016, s. 14

(AB)

AWADUKT THERMO S ANTIBAKTERIÁLNÍ ÚPRAVOU Systém zemních tepelných výměníků vzduchu pro kontrolovatelné větrání

AWADUKT Thermo – vlastnosti, které rozhodují

- Hygienický přívod čerstvého vzduchu díky předfiltraci a antimikrobiálnímu vnitřnímu povrchu potrubí

AWADUKT Thermo – dokonale sladěný systém

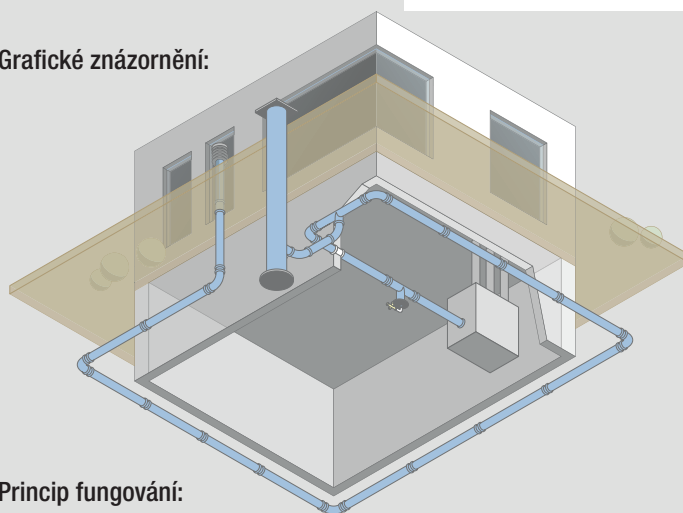
- Od nasávací věže po přívod do větracího zařízení
- Individuální navržení pomocí výpočetního software od REHAU

AWADUKT Thermo – argumenty, které přesvědčují

- Zlepšení kvality vzduchu v objektu
- Redukce nákladů na vytápění v zimě v důsledku předeřhřevu nasávaného vzduchu
- Příjemný chladicí efekt v létě



Grafické znázornění:



Princip fungování:

Příklad provozu v létě

Příklad provozu v zimě

