

Ing. Radim GALKO
doc. Ing. Karel PAPEŽ, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra TZB

Multisolární komín

Multiple Channel Solar Chimney

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Článek je zaměřen na problematiku multisolárních komínů, u kterých je dutina rozdělena do několika částí. Popisuje funkci solárního komína a vysvětluje jeho přínos k úsporám provozní energie budovy. Podstatná část příspěvku je věnována experimentálnímu měření na modelu vícekanálového solárního komína, které bylo realizováno v období 28.8.2007–30.9.2007 na Aalborg University v Dánsku. Je popsána konstrukce komína, experimentální zařízení i způsob měření hlavních hodnotících veličin; experimenty jsou dokumentovány fotografiemi. Měřeny byly teploty, rychlosti proudění vzduchu i sluneční ozáření. Přínosem příspěvku jsou poznatky z experimentálního měření vícekanálového solárního komína, kdy teplota vzduchu ve větraném prostoru byla nižší než teplota venkovního vzduchu. Model multisolárního komína použitý při experimentu byl rovněž simulován v CFD programu Flovent 7.1. V článku jsou prezentována některá vyhodnocení CFD výsledků.

Klíčová slova: multisolární komín, využití sluneční energie, sluneční ozáření, měření multisolárního komína, CFD model multisolárního komína

The article is focused on the problems of the multiple channel solar chimney, where the channel is divided into the sections. It describes the function of the solar chimney and explains its contribution for saving of operating energy cost of the building. Main part of the article describes the model measurements of multiple channel solar chimney during the period 28.8.2007–30.9.2007, that has been realised at Aalborg University in Denmark. It is described the chimney construction, the experimental equipments and the measuring method of the main magnitudes; experiments are documented with the photos. The air temperatures, the air flow rates and the solar radiation were measured. The article contributions are the knowledges of the multiple channel solar chimney experimental measurement, when the air temperature in ventilated room was lower than the outside air temperature. The model used in the experiment was also simulated in the CFD program Flovent 7.1. In the article are presented some plots of the CFD results.

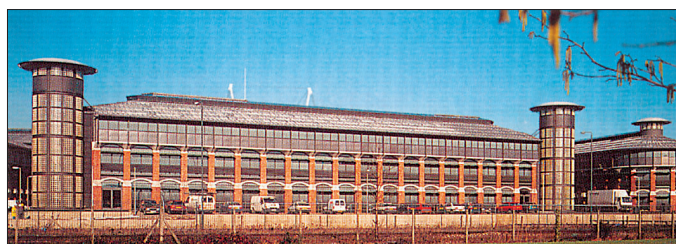
Key words: multiple channel solar chimney, solar energy utilization, solar radiation intensity, testing of multiple channel solar chimney, multiple channel solar chimney CFD model

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY SOLÁRNÍCH KOMÍNŮ

Ve stavebnictví se stále častěji setkáváme s tematikou nízkoenergetických domů, u kterých by bylo prospěšné navrhnout systém větrání s nízkými provozními náklady. Vyvíjí se řada nových, energeticky zajímavých systémů, které nejčastěji kombinují výhody přirozeného a nuceného větrání. Přirozené větrání, jehož princip je založen na rozdílu hustot venkovního a vnitřního vzduchu a dynamickém účinku větru na budovu, je bezproblémové v zimním období, kdy je vztlak dostatečný. V letních měsících je reálné jen při vyšší teplotě vnitřního vzduchu než je teplota vzduchu venkovního. Ale samostatným přirozeným větráním jen obtížně zajistíme tepelnou pohodu a kvalitu vzduchu a tak určitým vylepšením může být začlenění solárního komína (obr. 1) do systému větrání a tím využití sluneční energie, obnovitelného zdroje energie. Přínosem může být i přívod denního světla transparentními stěnami komína a tím úspora elektrické energie potřebné na umělé osvětlení objektů.

1.1 Hlavní princip solárního komína

Umístění solárního komína je nutné volit na osluněnou stranu budovy, nejlépe na jižní fasádu. Solární komín je možno chápat jako větrací šachtu či jednoduchý vzduchový kolektor, který je tvořen vzduchovou dutinou, zaklením a obvykle akumulační plochou, která je tvořena materiálem dobře absorbujícími sluneční záření, kdy část pohlcené energie se mění na kon-

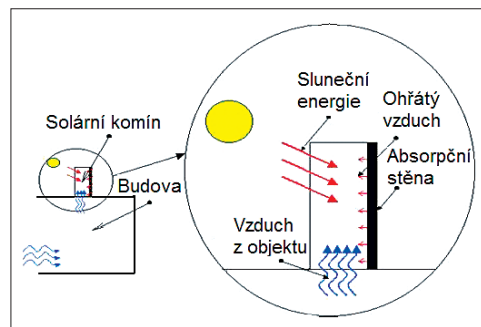


Obr. 1 Solární komín začleněný do točitého skleněného schodiště (Inland Revenue offices at Nottingham) – Architekt: Michael Hopkins

vekcí teplo. Hlavním principem solárního komína je přeměna sluneční energie na kinetickou energii proudícího vzduchu. Prostupující sluneční energie zahřívá stěny komína, od kterých se konvekcí ohřívá vzduch. Zvýšení teploty vzduchu má za následek snížení jeho hustoty a tím vytvoření komínového tahu, který umožňuje proudění vzduchu budovou a zajišťuje tak větrání objektu (obr. 2) i při nižší teplotě vzduchu v místnosti vůči teplotě venkovní.

Využití solárního komína může být dobrým nápadem, jak redukovat používání fosilních zdrojů a přispět tak k trvale udržitelnému rozvoji, což je také důvod,

proč se použití solárních komínů stává populární a jsou prováděny experimenty s jeho využitím. Na univerzitě v Aalborgu (Dánsko) bylo uskutečněno



Obr. 2 Princip solárního komína využívajícího sluneční energii pro podporu větrání



Ing. Radim Galko (1980)

V současné době student Ph.D. na ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov.

testování solárního komína na reálném modelu. Cílem bylo stanovit chování solárního komína s více dutinami (multisolární komín), zpracovat a analyzovat data z nepřetržitého měření teplot, rychlostí a slunečního ozáření během experimentálního chodu v období 28. 8. 2007 až 30. 9. 2007.

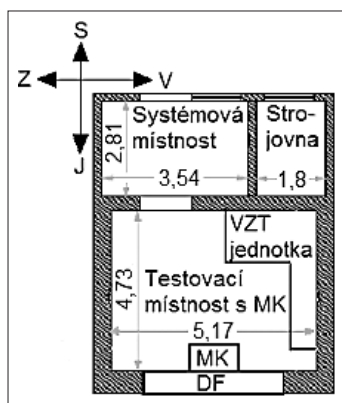
2. EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ MULTISOLÁRNÍHO KOMÍNA

2.1 Objekt pro testování multisolárního komína

Multisolární komín byl umístěn v objektu, který byl postaven pro výzkumné záměry university v Aalborgu (obr. 3). Orientace objektu je zobrazena na obr. 4.



Obr. 3 Objekt s multisolárním komínem instalovaným za dvojitou fasádou



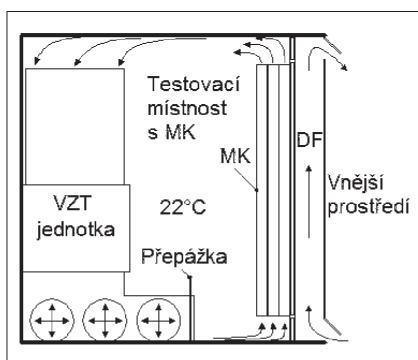
Obr. 4 Schéma objektu s DF na jižní fasádě a umístěním multisolárního komína (MK)

Budova byla rozdělena na dvě části:

- ☐ Vysoce tepelně izolovaná testovací místnost s dvojitou fasádou (DF) na jižní straně. Za dvojitou fasádou byl uvnitř místnosti instalován multisolární komín.
- ☐ Oddělená a izolovaná strojovna a systémová místnost připojená k severní stěně testovací místnosti.

DF měla jednoduché zasklení směrem k vnějšímu prostředí a dvojitě zasklení směrem k interiéru. Otvíratelné otvory byly umístěny ve vrchní a spodní části vnitřního a vnějšího zasklení DF. Při testování multisolárního komína byla spodní a horní okna venkovní části DF z poloviny otevřena vůči venkovnímu prostředí (obr. 3), to umožnilo zvýšení teploty vzduchu v provětrávané fasádě a tím lepší simulaci teplejšího klimatu České republiky oproti dánským podmínkám.

Teplota uvnitř objektu byla udržována klimatizací na hodnotě 22 °C v režimu chlazení. Teplotní navýšení s rostoucí výškou uvnitř místnosti bylo zanedbatelné a tak neohrozilo měřené veličiny v komíně. Vzduch z interiéru místnosti proudil do vstupního otvoru multisolárního komína, kde se ohříval a výstupním otvorem opět proudil do interiéru pod stropem testovací místnosti, bylo tedy zamezeno ovlivnění měřených veličin v multisolárním komíně vlivem větru, který by měl na komín pozitivní vliv.



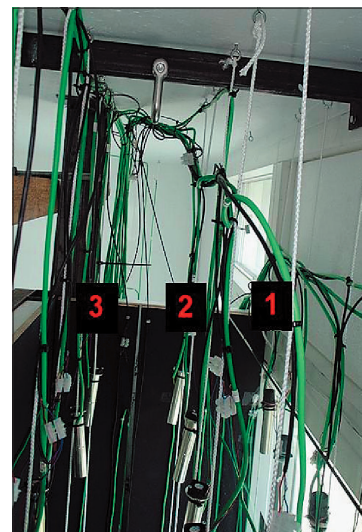
Obr. 5 Provozní schéma testovací místnosti s multisolárním komínem (MK)

Ohřátý vzduch proudící z multisolárního komína byl přivodním vzduchem pro klimatizační jednotku, která po následném ochlazení vzduch distribuovala nad podlahou místnosti (obr. 5). Vstupní otvor multisolárního komína byl chráněn před prouděním vzduchu z distribučních prvků klimatizace dřevotřískovou přepážkou.

2.2 Multisolární komín

Konstrukce multisolárního komína

Na základě menšího povědomí o chování solárních komínů členěných do více komínových dutin, byl pro testování vybrán právě multisolární komín lehké konstrukce, který byl tvořen třemi dutinami hloubky cca 200 mm oddělenými dvěma čírymi skly tl. 5 mm (obr. 6). Nosná konstrukce byla svařena z ocelových profilů U a izolována expandovaným polystyrenem tl. 100 mm, aby se minimalizovala tepelná ztráta přes stěny komína. Na vnitřní plochu nosné konstrukce byly přišroubovány dřevotřískové desky, které tvořily vnitřní dutinu komína. Zadní stěnu tvořila dřevotřísková deska tl. 16 mm. Boční stěny byly, kvůli fixování vnitřních skleněných tabulí, ze dvou vzájemně propojených dřevotřískových desek o tloušťkách 19 mm a 16 mm. Vnitřní povrch dutin byl natřen černou barvou kvůli zvýšení pohltivosti slunečního záření. Solární komín byl připevněn na vnitřní zasklení dvojitě fasády.



Obr. 6 Multisolární komín se třemi dutinami

Geometrická charakteristika multisolárního komína

Vnitřní rozměr multisolárního komína: výška 4600 mm, hloubka 610 mm, šířka 1090 mm. Celková hloubka dutiny (součet dílčích 3 hloubek) byla stanovena vztahem $W = H/7,5$ (kde H je výška dutiny a W je hloubka dutiny). Stanovená celková hloubka dutiny multisolárního komína leží v intervalu vymezeném hodnotou optimální hloubky jednoduchého solárního komína (dle Bouchaira [4] $W_{\text{optimum}} = H/10$), která platí u solárních komínů začleněných do objektu a hodnotou optimální hloubky jednoduchého solárního komína, pojatého jako samostatný systém nezačleněný do objektu, kterou stanovili Halldórsson a Byrjalsen [5] přibližným empirickým vztahem $W_{\text{optimum}} = H/6,5$.

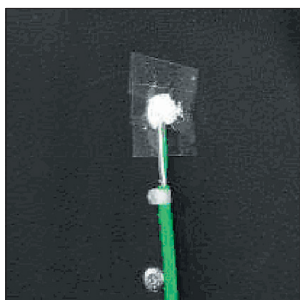
Měřené veličiny u multisolárního komína

Teplota

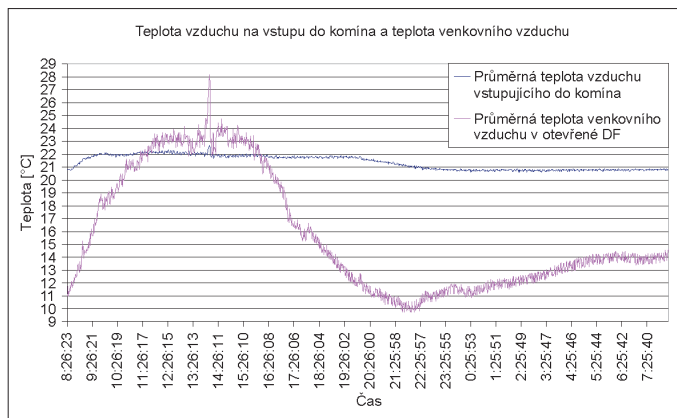
Měřena byla teplota vzduchu na vstupu a výstupu z komína a dále teplota vzduchu ve třech výškových úrovních dutin multisolárního komína. Teplota venkovního vzduchu v DF byla zaznamenávána v pěti výškových úrovních. Povrchová teplota byla zjišťována u vnitřních povrchů dutiny a skleněných ploch uvnitř komína.

Teplota byla měřena termoelektrickými články typu K pokrytými stříbrem, aby se redukovala radiační tepelná výměna čidla. Pro měření teploty vzduchu byly termočlánky umístěny do postříbřené trubky osazené v horní části miniventilátorem (obr. 6).

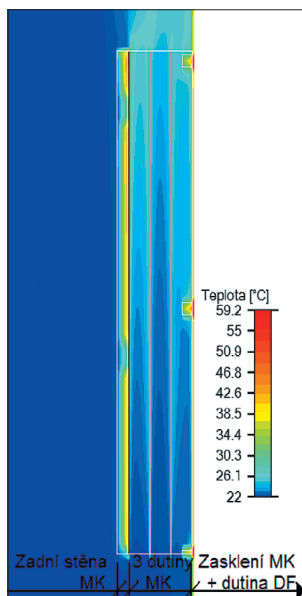
Povrchové teploty byly měřeny čidly přilepenými k povrchům pastou s vysokou tepelnou vodivostí (obr. 7). Při měření povrchové teploty zasklení byla čidla navíc chráněna před účinkem přímého slunečního záření hliníkovou lepicí páskou nalepenou vždy na vnějším povrchu okení tabule (obr. 8).



Obr. 7 Měření povrchové teploty stěn Obr. 8 Měření povrchové teploty skleněných tabulí



Obr. 9 Teplota vzduchu na vstupu do komína a teplota venkovního vzduchu v DF (13.9.2007)



Obr. 10 Simulovaný vertikální teplotní profil v testovaném multisolárním komíně v okamžiku dosažení maximálního průtoku vzduchu komínem 13. 9. 2007

Pro den 13. 9. 2007 je na obr. 9 uvedena naměřená teplota vzduchu na vstupu do multisolárního komína a venková teplota v otevřené dvojité fasádě. Z naměřených hodnot během slunného odpoledne lze usoudit, že se jedná o případ, kdy je teplota venkovního vzduchu (cca 22 až 25 °C) vyšší než vnitřní teplota (cca 22 °C). Přirozené větrání by tedy nebylo možné zajistit bez funkce multisolárního komína nebo ventilátorů. Kontrolou naměřených teplot byla CFD simulace teplotních profilů v testovaném modelu (obr. 10).

Naměřené hodnoty teploty vzduchu potvrzují nutnost použití miniventilátorů u termočláneků měřících teplotu vzduchu. Při vypnutí ventilátorů dochází k výraznému zvýšení měřených teplot vzduchu. Toto vypnutí miniventilátorů je nejvíce patrné v časovém intervalu 14:00 až 14:05. U dalších časových intervalů s vypnutými miniventilátory (9 až 9:05, 20 až 20:05) se nečinnost miniventilátorů neprojevila tak výrazně na změřených teplotách vzduchu díky velmi nízkému slunečnímu ozáření.

Rychlost proudění vzduchu

Zjišťována byla rychlost proudění vzduchu na vstupu do komína (stanovení objemových průtoků vzduchu dutinami multisolárního komína – obr. 11; 5 anemometrů pro každou dutinu) a dále ve dvou výškových úrovních v dutině komína (stanovení horizontálního rychlostního profilu – obr. 12; 3 anemometry pro každou dutinu). Rozmístění anemometrů je zobrazeno na obr. 13.

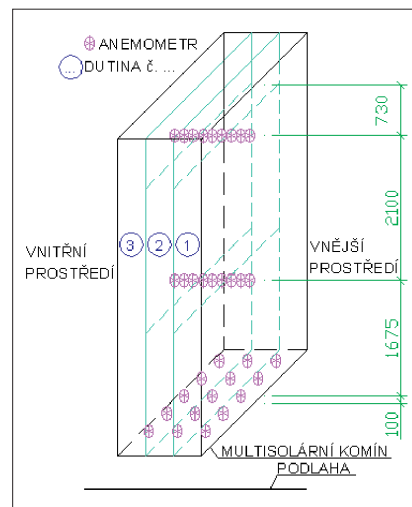


Obr. 11 Anemometry na vstupu do multisolárního komína



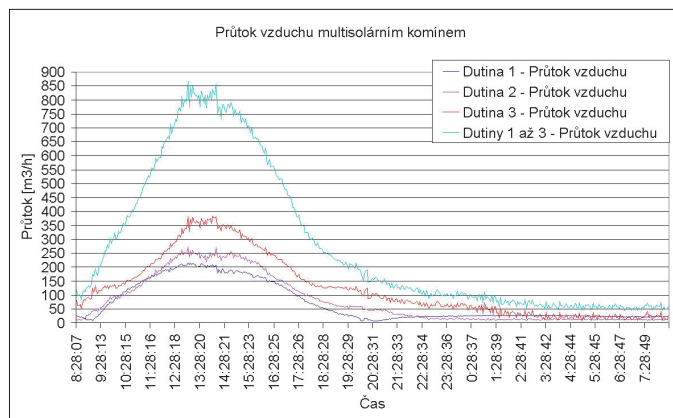
Obr. 12 Anemometry pro měření horizontálního rychlostního profilu

Z naměřených rychlostí z 15 anemometrů u vstupu do multisolárního komína byly stanoveny objemové průtoky vzduchu třemi dutinami multisolárního komína a také celkový průtok vzduchu komínem pro 13.9.2007 (obr. 14). Maximální průtok vzduchu komínem (869 m³/h) byl dosažen v čase 12:58 při celkovém slunečním ozáření 617 W/m² změřeném na vnějším zasklení multisolárního komína. Zobrazení horizontálních rychlostních profilů přibližně ve střední a horní části multisolárního komína je zřejmé ze CFD simulace (obr. 15 a obr. 16).



Obr. 13 Rozmístění anemometrů v dutině komína

Obr. 13 Rozmístění anemometrů v dutině komína

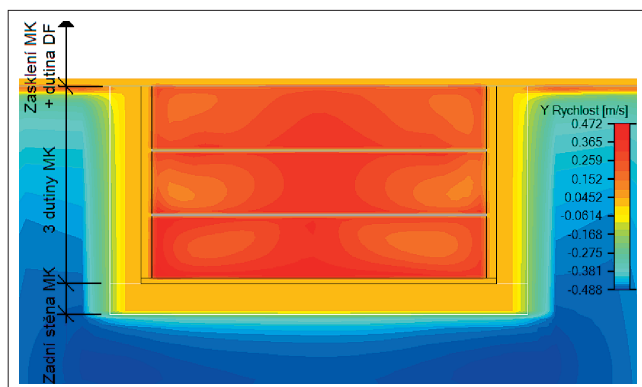


Obr. 14 Průtok vzduchu dutinami multisolárního komína 13.9.2007

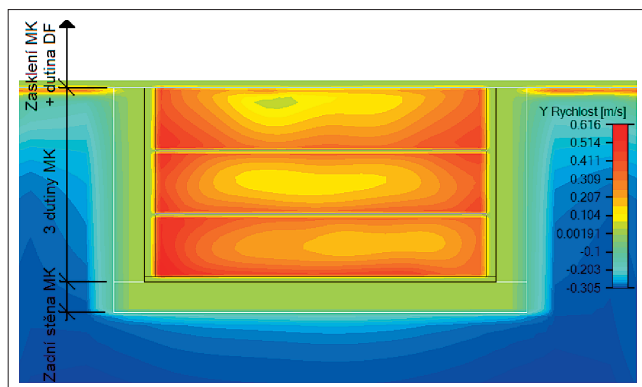
Rychlostní profil proudění vzduchu v první dutině multisolárního komína byl ovlivněn rámem dvojité fasády. Rozložení rychlosti proudění vzduchu v dutinách multisolárního komína je poměrně rovnoměrné, což poukazuje na výhodu solárních komínů s více dutinami. Základní myšlenkou by mělo být rovnoměrné rozložení solárního tepelného zisku v dutinách. Správný návrh dutin multisolárního komína zvyšuje dosažitelný průtok vzduchu komínem a zároveň omezuje zpětné proudění vzduchu. Obr. 17 zobrazuje vertikální rychlostní profil testovaného multisolárního komína při dosaženém maximálním průtoku 869 m³/h.

Sluneční ozáření

Sluneční ozáření bylo měřeno na střeše objektu (obr. 18) dvěma pyranometry (pyranometr BF3 AT Delta-T Devices Ltd pro měření celkového



Obr. 15 Rychlostní profil 177 cm nad vstupem do multisolárního komína (617 W/m^2 – celkové sluneční ozáření na vnějším zasklení multisolárního komína)



Obr. 16 Rychlostní profil 387 cm nad vstupem do multisolárního komína (617 W/m^2 – celkové sluneční ozáření na vnějším zasklení multisolárního komína)

a difúzního slunečního ozáření na horizontálním povrchu a pyranometr Wilhelm Lambrecht pro měření celkového slunečního ozáření na horizontálním povrchu – kontrola pyranometru BF3) a dále pyranometrem na vnějším povrchu dvojité fasády (obr. 19 – pyranometr Wilhelm Lambrecht pro měření celkového slunečního ozáření) a pyranometrem umístěným na vnějším zasklení solárního komína (obr. 19 – pyranometr Kipp&Zonen CM11 pro měření celkového slunečního ozáření). Průběh slunečního ozáření pro 13. 9. 2007 zobrazuje obr. 20.

ZÁVĚR

Využití multisolárního komína může snížit provozní náklady na nucené větrání především během teplejších letních dnů.

Ze zpracovaných údajů z měření je patrný přínos multisolárních komínů při podpoře přirozeného větrání objektů za velmi teplých dnů, kdy by jinak nemohlo přirozené větrání fungovat.

V konkrétní aplikaci průtok komínem dosáhl cca $869 \text{ m}^3/\text{h}$ a to při vyšších teplotách venkovního vzduchu ve srovnání s teplotami vnitřního vzduchu.

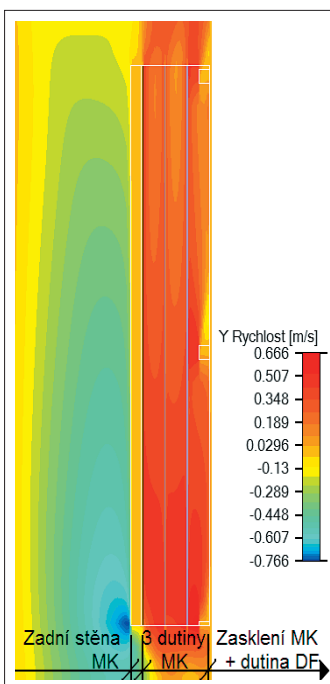
Z hlediska energetické náročnosti budov je účelné dále sledovat celoroční využití solárního komína a jeho efektivitu.

Poděkování

Príspevek vznikl za podpory výzkumného záměru VZ 04 CEZ MSM 6840770005 Udržitelná výstavba.

Kontakt na autora: Radim.Galko@fsv.cvut.cz

Vytápění, větrání, instalace 1/2009



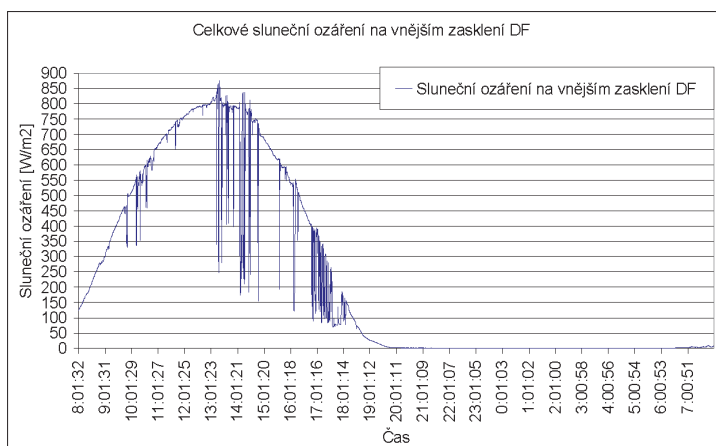
Obr. 17 Vertikální rychlostní profil testovaného multisolárního komína při dosaženém maximálním průtoku $869 \text{ m}^3/\text{h}$



Obr. 18 Pyranometry na střeše objektu, Wilhelm Lambrecht nalevo a BF3 napravo



Obr. 19 Pyranometry na DF, Wilhelm Lambrecht napravo a CM11 nalevo



Obr. 20 Pyranometr Wilhelm Lambrecht – celkové sluneční ozáření na vnějším zasklení DF (13. 9. 2007)

Použité zdroje:

- [1] Cihelka, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1994, 208 s., 1. vyd., ISBN 80-900759-5-9.
- [2] Charvát, P., Jícha, M., Štětina, J. *Solární komín pro větrání a pasivní chlazení*. Sborník Klimatizace a větrání 2004, Praha, Společnost pro techniku prostředí, 2004, s. 153-157. ISBN 80-02-01598-3.
- [3] Rennie, D., Parand, F. *Environmental design guide for naturally ventilated and daylight offices*. London: BRE Ltd., 1998, 64 s. ISBN 1-86081-227-9.
- [4] Bouchair, A. *Solar Chimney for Promoting Cooling Ventilation in Southern Algeria*. Building Serv. Eng. Res. Technol., Algeria, 1994, s. 81-93.
- [5] Halldórsson, J., Byrjalsen, CH. *Experimental and numerical studies of a solar chimney with uniform heat flux*. Aalborg: Aalborg University, 2001. 143 s.
- [6] Kalyanova, O., Heiselberg, P. *Description of Test Facility*. Aalborg: Aalborg University, 2005. 20 s.
- [7] Kalyanova, O., Heiselberg, P. *Comparative Test Case Specification*. Aalborg: Aalborg University, 2007. 45 s.