

Mereni pomaleho proudeni vzduchu v mistnostech trasovanim pomoci mydlovych bublin

Citation for published version (APA):

Mook, van, F. J. R., & Loomans, M. G. L. C. (1998). Mereni pomaleho proudeni vzduchu v mistnostech trasovanim pomoci mydlovych bublin. *Ateliér Izolacních Materiálu a Povrchových Úprav*, 16-17.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1998

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Měření pomalého proudění vzduchu v místnostech trasováním pomocí mýdlových bublin

Fabien J. R. van Mook & Marcel G. L. C. Loomans*

1 Úvod

Při pobytu v budovách chceme být bezpeční a pociťovat všeobecnou pohodu. To znamená, že místnosti, v nichž právě pobýváme, musí vykazovat vhodnou teplotu, nesmí v nich být slyšet rušivý hovor a hudba ze sousedství, osvětlení musí intenzitou a barvou odpovídat naší činnosti atd. Podmínky takové pohody by dnes měly splňovat i požadavky ekologické. Co se stavebních konstrukcí týče, přejeme si, aby jejich životnost byla dlouhá a aby zabráňovaly plýtvání energiemi (zvláště uhlím, olejem a plynem) pro vytápění, klimatizaci a ohřev užitkové vody. Kromě toho všeho je také důležité, aby vlhkost prostředí byla právě optimální a přitom, aby stavební konstrukce nebyly vlhkostí poškozeny.

Obor, který o těchto jevech pojednává, je nazýván stavební fyzikou. Tematicky se nachází mezi architekturou a fyzikou [van Mook 1994]. Interakce staveb, lidí a fyzikálních jevů je předmětem zájmu stavebního fyzika. Do této oblasti patří, jak název článku napovídá, také rychlost proudění vzduchu v místnostech a její měření.

Rychlost vzduchu, vlastně proudu vzduchu, je způsobována různými činiteli. Důvodem pro záměrné proudění vzduchu je odvedení užitého vzduchu a přivedení a rozptýlení vzduchu čerstvého. Jedním slovem můžeme tento proces nazvat větráním. Pro zdraví a komfort je důležité, abychom dýchali vzduch s dostatečným obsahem kyslíku. Jiné plyny při zvýšené koncentraci nám mohou vadit, někdy mohou být i nebezpečné. Samozřejmě také teplota vzduchu je pro naši pohodu důležitá.

V průběhu šedesátých a sedmdesátých let jsme vykonali řadu výzkumných programů ve vztahu k diskomfortu pramenícího z rychlosti proudění vzduchu. Konstatovali jsme, že rychlosti proudění vzduchu větší než 0,12 m/s podél obnaženého povrchu lidského těla obecně způsobují nepohodu (při teplotě vzduchu 20 °C). V poslední době byl zkoumán diskomfort také pro fluktuální proudění [Fanger 1988].

2 Jádru problému

Významným faktorem diskomfortu pro proudění vzduchu a větrací účinnost je rychlost proudu a jeho směr. Obecně vzduch proudí v místnostech velmi pomalu: mezi 0 a 0,3 m/s. Jen v případě ventilátorů, otevřených oken a větracích mřížek mohou rychlosti dosáhnout až 3 m/s.

Existují dva způsoby prověřování a studování toku vzduchu:

- výpočet pomocí počítače,
- měření v místnosti samotné.

Je samozřejmé, že měření je ta nejspolehlivější metoda, pouze měřením v konkrétní situaci je možné zjistit, zda jsou rychlosti příliš velké, způsobující nepohodu. Bohužel – zde je jádro pro-

blému – obvyklými metodami nelze přesně měřit rychlosti menší než 0,15 m/s. Problém tedy spočívá v nalezení vhodné měřicí metody.

Prvním krokem výzkumu bylo shromáždění informací o všech možných měřicích metodách. V publikaci [Loomans 1995] jsme uvedli výčet principů mnoha aplikovatelných metod a vzájemně je porovnali. V tomto článku stručně pojednáme pouze jednu tradiční metodu:

Metoda vytápěné kuličky je nejběžnější způsob měření rychlosti vzduchu ve stavební fyzice. Přístroj se skládá z kuličky (φ asi 4 mm), která je elektricky ohřívána na teplotu vyšší než teplota okolí. Vzduch kuličku obklopující a ji míjející ji přitom ochlazuje. Přístroj měří množství energie, které vzduch z kuličky odnímá a odnáší. (Přístroj ve skutečnosti měří elektrickou energii, konvertovanou na teplo, která vchází do kuličky, aby tato vykazovala stálou teplotu.) Čím větší je rychlost proudu vzduchu, tím větší je tepelná ztráta kuličky. To je evidentní, problémem je však nalézt onen vztah tepelné ztráty a rychlosti. K problému se přistupuje experimentálně, například v aerodynamickém tunelu. Další nedostatky metody shrnujeme do následujících bodů:

- touto metodou nelze měřit směr pohybu vzduchu,
- měří se pouze v jednom bodu, v němž se nachází kulička,
- sama kulička brání toku vzduchu,
- vlastní teplotou kulička způsobuje proudění vzduchu, jako se např. děje u plamene. Z tohoto důvodu rychlosti nižší než 0,05 m/s zcela určitě nejsou měřitelné.

Určité přednosti však tato metoda má, například je finančně nenáročná, přístroj je snadno přenosný a aplikovatelný.

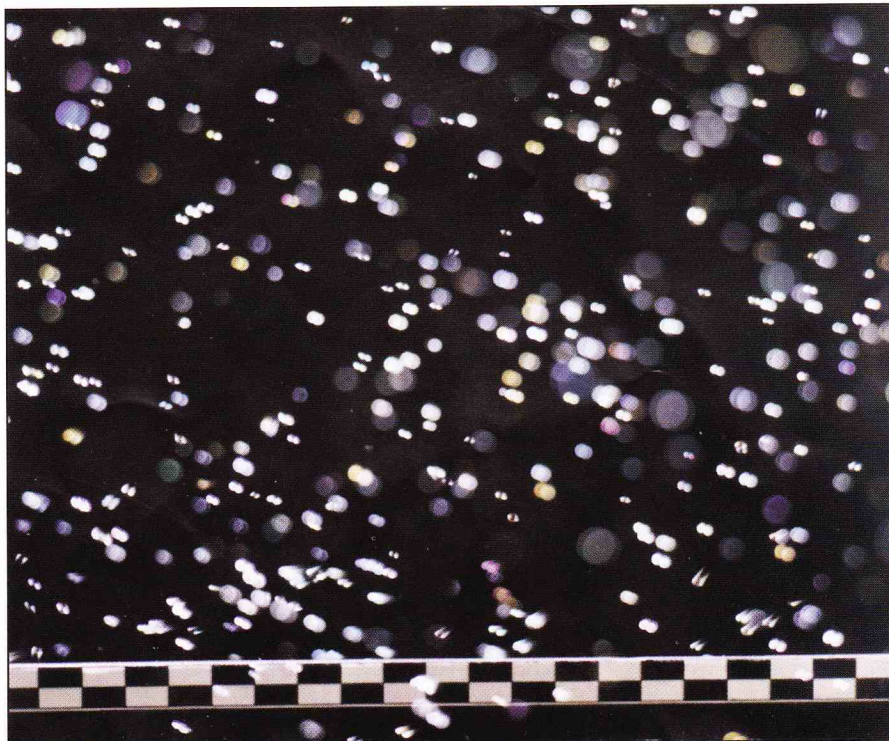
3 Metoda trasování mýdlovými bublinami

V předchozí kapitole jsme se pokusili o argumentaci ve prospěch metody, která by zabezpečovala skutečnou potřebu vyjádřenou těmito kritérii:

- přímé a důvěryhodné měření rychlosti a směru,
- měření v mnoha bodech současně,
- neovlivňování toku vzduchu,
- snadná aplikace.

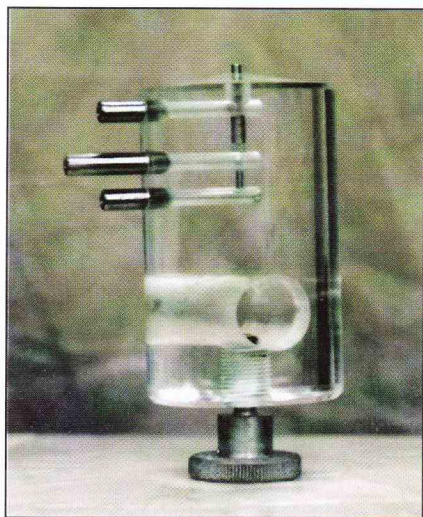
Metodou trasování mýdlovými bublinami jsou tato kritéria uspokojivě splněna. Metoda sestává z pěti kroků:

- Prvním krokem je produkce mýdlových bublin (obr. 1). Ano, skutečně se jedná o mýdlové bublinky, které si děti vyfukují při hraní. Rozdíl je pouze v zařízení, které v našem případě produkuje bubliny přibližně stejné velikosti (φ 3 až 4 mm), uvnitř bublin je pak helium.
- Bubliny jsou vypouštěny do sledovaného toku vzduchu. V něm by měly přesně kopírovat jeho pohyb tak, jako bezmotorové lodky sledují proud v moři. Proto bubliny musí být tak malé, aby třecí síly nebrzdily jejich pohyby. Také gravitační síly by neměly ovlivňovat pohyb bublin, proto jejich vnitřní náplň není tvořena vzduchem, ale heliem: hmotnost helia „kompenzuje“ hmotnost membrány mýdlových bublin.
- Důležité je, aby místnost byla neosvětlená. Standardním diapojektorem je osvětlena jen část místnosti, v níž chceme sledovat proudění



Obr. 1. Mýdlové bubliny; jejich střední průměr je asi 4 mm

* Technická univerzita Eindhoven, Fakulta architektury a stavitelství, Postbus 513, 5600 MB Eindhoven, Nizozemí



Obr. 2. Přístroj na výrobu bublin. Třemi bočními trubicemi utéká do přístroje vzduch, mýdlo a belium. [van Mook 1995]

vzduchu. Do promítacího přístroje je vložen neprůsvitný diapozitiv se svislou pravouhloú šterbinou, která vrhá svazek světla ve tvaru tenké vrstvy tak, aby bylo vidět bubliny jen v této vrstvě kolmé ke směru pozorování (ostatní části místnosti jsou tmavé). Videokamerou pak registrujeme trajektorie bublin. V těchto světelných podmínkách jsou mýdlové bubliny vidět jako letící lampičky.

4. Speciálním počítačem a programem můžeme analyzovat pohybové záběry získané kamerou. Automaticky jsou zobrazovány trajektorie mýdlových bublin. Pro počítač to není snadná úloha. Nejsou-li však bubliny příliš četné a neletí-li příliš rychle, nepřesnosti počítače jsou minimální. Výsledkem tohoto čtvrtého bodu je tabulka pro každou bublinu se souřadnicemi jejího pohybu v prostoru ve funkčním vztahu k času.
5. Posledním krokem je výpočet rychlosti mýdlové bubliny podle známého a jednoduchého vzorce: rychlost se rovná vzdálenosti dělené časem prostorového přenosu bubliny. Směr ušášení bubliny je znám bezprostředně při analytickém sledování pohybu každé bubliny.

Třetí a čtvrtý krok je možno shrnout pod pojem „trasování“. Podrobnosti o této metodě jsou zveřejněny v publikacích [van Mook 1995] a [Loomans 1996].

Metoda trasování mýdlovými bublinami není nová. Dříve byla tato metoda spojována s fotografováním při dlouhém otevření clony tak, aby mýdlové bubliny způsobily na negativu světelné pruhy. Tyto pruhy byly vlastně trajektorie bublin během fotografického snímání s otevřeným objektivem. Naše metoda je nová jen použitím speciálního počítače a programu, které uvedla na trh jedna britská firma. Díky dnešním rychlým a výkonným počítačovým systémům je možno analyzovat trajektorie registrované videokamerou. Ostatně, právě proto optické počítačové metody se stávají stále populárnější ve fyzikálních a aerodynamických výzkumech.

4 Experiment

Metoda trasování mýdlovými bublinami byla experimentálně několikrát odzkoušena. Na obrázku 4 je vidět výsledek měření proudu vzduchu kolem vytápěného válcového tělesa [Dijkhuis 1995]. V pravé dolní části obrázku je část válce, jeho teplota je 38 °C, teplota okolního vzduchu je 20 °C. Teplota válce způsobuje proudění vzduchu zdola nahoru. Délka šipek na obrázku značí velikost rychlosti. V tomto experimentu byly naměřeny rychlosti mezi 0,02 a 0,2 m/s.

Jiné experimenty jsou popsány v publikacích [van Mook 1995] a [Loomans 1996].

5 Závěr

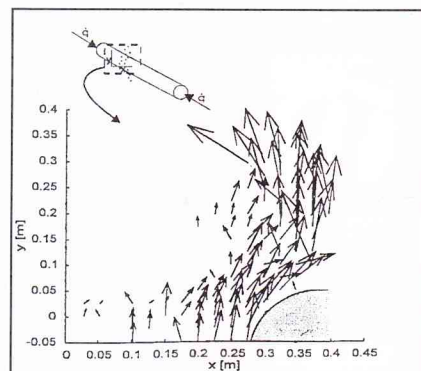
Cílem našeho výzkumu bylo nalézt metodu, kterou je možno měřit malé rychlosti vzduchu v místnostech. Tradiční metody nespĺňují některá důležitá kritéria (viz začátek části 3).

Námi užitá metoda trasování mýdlovými bublinami je vhodná. Její předností je možnost měřit rychlosti mezi 0 a 0,3 m/s, směr pohybuujícího se vzduchu a také to, že nám poskytují přehled o proudění vzduchu v prostoru, v naší aplikaci přibližně v prostoru 50 x 50 x 4 cm. Nevýhodou je špinění povrchů, s nimiž se bubliny střetávají. Další nevýhodou metody je její poměrně značná náročnost na čas.

Vzdor nevýhodám doufáme, že tato inovovaná metoda rozšíří vědomosti o proudění vzduchu v místnostech. Následně, lepší koncepcí budov, bude možno zkvalitnit větrání a prospět tak zdraví a pohodě obyvatel.

6. Literatura

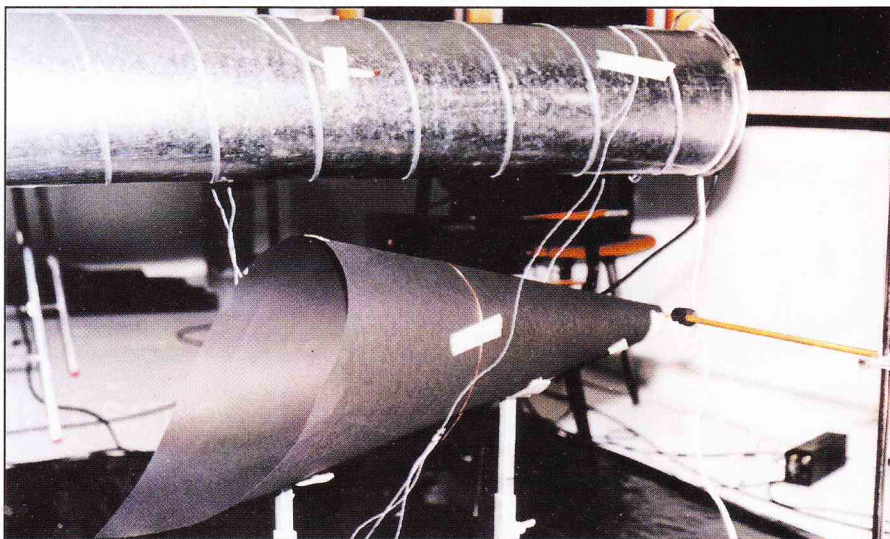
- [Dijkhuis 1995] Carolien Dijkhuis: Thermisch gedreven stroming rond warmtebronnen. Diplomní inž. práce, zpráva FAGO 95.49. W. Technická univerzita Eindhoven, září 1995.



Obr. 4. Výsledný graf znázorňující trasování bublinami. Šípky určují velikost a směr měřených rychlostí při experimentu podle obr. 3

- [Fanger 1988] P. O. Fanger - A. K. Melikov - H. Hanzawa - R. Ring: Air turbulence and sensation of draught. Energy and Buildings, 12, 1988, s. 21-39.
- [Loomans 1995] Marcel Loomans - Fabien van Mook: Survey on measuring indoor airflows. Zpráva FAGO 95.25.W. Technická univerzita Eindhoven, duben 1995.
- [Loomans 1996] Marcel Loomans - Fabien van Mook - Paul Rutten: The introduction of the desk displacement ventilation concept: Measurement of indoor airflows applying the PVT-technique. In: 5th International Conference on air distribution in rooms, ROOMVENT '96, sv. 1, s. 99-106, Yokohama, Japonsko, 17. - 19. 7. 1996.
- [van Mook 1994] Fabien van Mook: Kio estas konstru-fiziko? La Domo, 1994, č. 1, ISSN 1257-3558.
- [van Mook 1995] Fabien van Mook: Lage lucht-snelheden visualiseren en meten. Diplomní inž. práce, zpráva FAGO 95.69.W. Technická univerzita Eindhoven, listopad 1995.

Původní text z esperanta přeložil Jan Werner



Obr. 3. Detail místnosti s vybavením pro experiment: nahoře je vytápěný válec, dole je vidět předmět ve tvaru kuželové plochy, kterým se rozptylují bubliny a usměrňují do proudu vzduchu kolem válce. [Dijkhuis 1995]