

## Моделирание на движението на въздуха при проветряване чрез отваряне на врати и прозорци

Мартин Иванов

Сергей Мижорски

Детелин Марков

**Airflow modeling during aeration with windows and doors opening:** *This paper presents a numerical study on the aeration mechanism in non-ventilated residence areas, with respect to windows and doors opening behaviour of the occupants. For the purpose of the study it has been used the commercial Computational Fluid Dynamics (CFD) software package FLUENT. The CFD is a powerful tool for prediction and analyses of different systems, including fluid flows, heat and mass transfer processes, as well as chemical reactions with different reaction mechanisms. The models integrated in the FLUENT software, give a possibility to analyse and assess occupant thermal comfort and also the transfer of different air pollutants in the enclosed environment. The obtained results are still processed and the developed numerical model is in further improvement.*

**Key words:** *Computational Fluid Dynamics, Indoor Air Quality, Indoor Environment, Aeration, Occupant Behavior*

### ВЪВЕДЕНИЕ

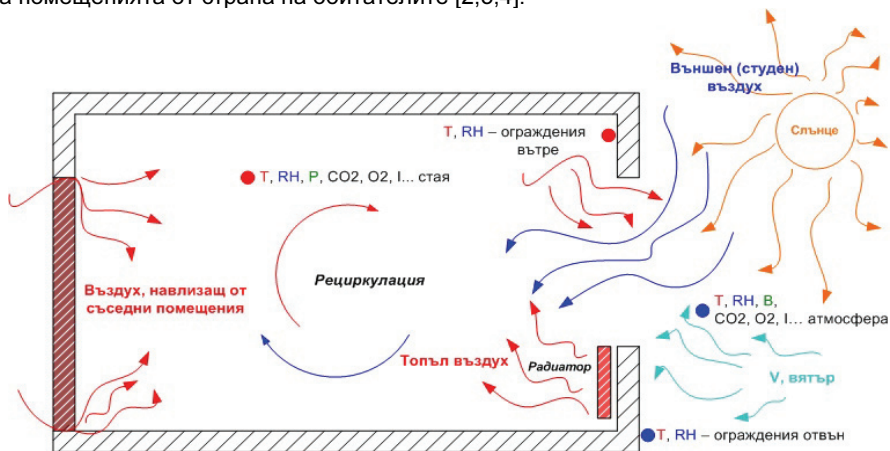
Настоящата публикация представя числено изследване на механизма на проветряване и движението на въздуха в жилищни помещения, без организирана вентилационна система в тях, и при опростен вариант на различните дейности по проветряване, извършвани от обитателите. За целите на изследването е използван комерсиалният софтуерен пакет FLUENT, който представлява мощен инструмент за предсказване и анализ на системи, включващи флуидни течения, топло и масообменни процеси, както и на множество други прости и сложни химически реакции. Интегрираните методи в използваната програма FLUENT дават възможност и за оценка на топлинния комфорт на обитателите, както и за преноса на замърсители във въздуха в затворените помещения. Получените резултати от проведените числени изследвания са в процес на обработка, а също така предстои и усъвършенстване на създадения модел.

### ДВИЖЕНИЕ НА ВЪЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ НЕОРГАНИЗИРАНА НЕКОНТРОЛИРУЕМА ЕСТЕСТВЕНА ВЕНТИЛАЦИЯ

Отварянето на врати и прозорци често пъти е единственият начин за съзнателно проветряване на помещенията без изградена вентилационна система в тях. В повечето случаи това означава, че единственият отговорен за това действие е обитателят. Вземането на решение за отваряне на врати и прозорци понякога се явява сложна задача за средно статистическия обитател [2]. За да вземат това решение, хората са изправени пред избор и се налага да направят компромис между топлинния комфорт и качеството на въздуха в помещението. Съществува нужда от числено изследване на механизма на проветряване на помещения с неорганизирана неконтролируема естествена вентилация, за да се разясни и оптимизира вземането на това решение от страна на обитателите.

В жилищните помещения, където няма изградена вентилационна система, движението на въздуха в посока както навътре към помещението, така и навън от него, се генерира основно от разликата в температурите между вътрешната и външната среда, разликата в наляганията и разликата в концентрациите на основните съставки на въздуха [1,2,3]. На Фигура 1 схематично са представени и други явления свързани с движението на въздуха в помещенията. В случай на отворен прозорец, например при зимни условия, външният студен въздух навлиза в стаята, където се размесва с топлия въздух в нея. Всички топли предмети в помещението, като представения на Фигура 1 радиатор, домашните електроуреди, осветителни тела, както и самите обитатели, създават вертикален топъл

конвективен поток около себе си. Там, освен с навлезлия въздух от вън, настъпва допълнително размесване с въздуха навлизащ и от съседните помещения. Подчертан ефект върху количеството пресен въздух, навлизащ в стаята, имат и слънчевата топлина, както и скоростта и посоката на вятъра. Трябва да се отбележи, че температурата на въздуха в стаята в повечето случаи е съвсем различна като стойност от температурата на вътрешната и външната страна на огражденията. Именно тази разлика, съчетана с относителната влажност на въздуха в помещението и на външната среда, обуславя възникването на кондензация на водните пари върху самите ограждения. Това е основна предпоставка за наличие на различни проблеми, свързани с влагата в помещенията и развитието на мухъл, плесени и други вредни за човешкото здраве микроорганизми. Всички тези проблеми могат да бъдат избегнати чрез провеждане на адекватни дейности по проветряване на помещенията от страна на обитателите [2,3,4].



**Фиг. 1. Движение на въздуха в помещения с неорганизирана неконтролируема естествена вентилация**

Комплексното моделиране на описаните по-горе явления е сложна задача и изисква сериозни познания и богат опит в областта на изчислителната механика на флуидите, както и редица допускания. Общи насоки за моделиране на затворена климатична среда са представени в [5,6].

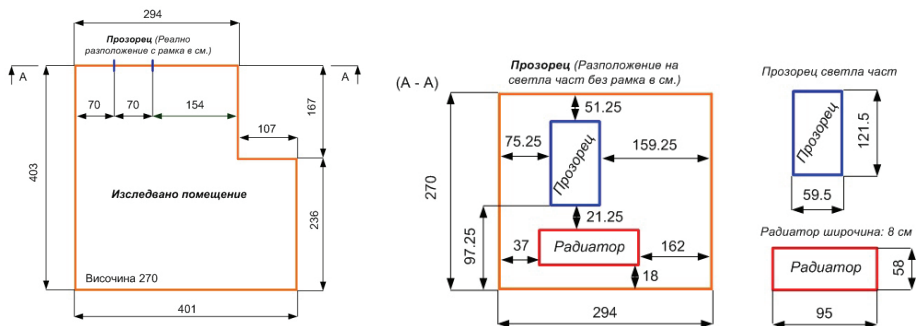
## ЧИСЛЕН МОДЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНОТО ПОМЕЩЕНИЕ

**Геометрията** на симулираното помещение е създадена в тримерно пространство с помощта на генератора на мрежи - GAMBIT. За целта са използвани реалните размери на съществуващо помещение в жилищна сграда без организирана вентилационна система. Опростена схема на помещението е представена на Фигура 2. Също така на тази фигура е показано и разположението на съществуващите в стаята радиатор и прозорец.

Изследваното помещение е с приблизителна площ 14 кв.м, а височината е 2.7 метра. Обемът на помещението е 37.8 м<sup>3</sup>. Светлият отвор на прозореца е с размери 59.5 см дължина и 121.5 см височина. Именно през този отвор става напускането на въздуха от помещението, както и навлизането на външен въздух в него.

За целите на поставената задача външната атмосферна среда е моделирана също като помещение, но с 5 пъти по-голям обем от този на изследваното помещение. Граничните условия по огражденията на външната и вътрешната среда

са от един и същи тип. По този начин се симулира чистото смесване на двата въздушни потока: единият, напускащ помещението, а другият - навлизащ в него. Разликата в общите обеми бе избрана да е с такава стойност след няколко предварителни тестови изследвания, включително и разглеждане на двумерна задача. При 5 пъти по-голям обем и еднотипни гранични условия по оградящите стени е установено, че напускащият помещението въздух остава несмутен от насрещни стени или други възникващи течения. Течението остава необезпокоено и при навлизания в стаята въздух. Това съображение е от особено значение за резултатите от поставената задача, тъй като в случая движението на въздуха е породено главно от разликата в температурите на външната и вътрешната среда и то се осъществява при много ниски скорости.

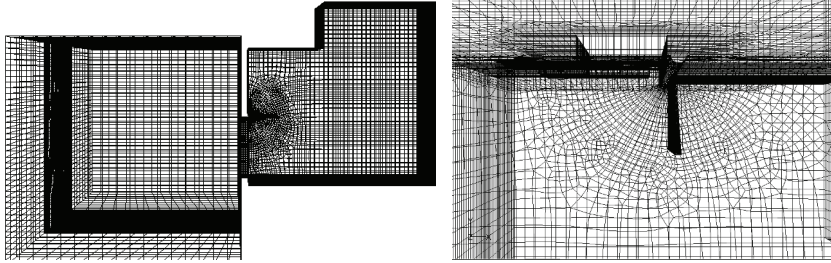


**Фиг. 2. Геометрия на изследваното помещение и разположение на радиатора и прозореца**

Единственият компонент на геометрията, който се променя при различните изследвани режими, е крилото на прозореца. Степента на неговото отваряне обуславя различните симулирани сценарии. Ъгълът на отваряне спрямо оста на рамката за степените на отваряне 12.5%, 25%, 50%, 75% и 100% са съответно: 11.25°, 22.5°, 45°, 67.5° и 90°. 12.5% степен на отваряне съответства на така наречения „открехнат прозорец“, установена чрез предварителни опити и наблюдения. За 100% степен на отваряне е прието положението при което крилото е отворено на 90° спрямо рамката на прозореца.

**Изчислителната мрежа** за представеното числено изследване също така е създадена с генератора на мрежи GAMBIT. За всеки изследван режим мрежата е различна по отношение на броя на клетките (средно 175 000) и местата на съгъстване и разреждане, но е еднаква по отношение на основните си характеристики, а именно: използвана е структурирана изчислителна мрежа за външната среда и неструктурирана мрежа за вътрешната среда на симулираното помещение. При структурираната мрежа са използвани правоъгълни елементи, а при неструктурираната елементите са с произволна форма. Изчислителната мрежа за изследвания режим при 100% степен на отваряне е показана на Фигура 3.

**Началните стойности** на температурата, относителната влажност на въздуха, налягането, концентрациите на CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (изчислена от относителната влажност на въздуха) и на инертните съставки на въздуха са взети от предварително проведено експерименталното изследване, което предстои да бъде представено. В Таблица 1 са представени началните условия за изследвания режим при 100% степен на отваряне на прозореца. Единственият предмет в помещението, който отдава постоянно топлина, с мощност 2 кВт, е радиаторът под прозореца.



Фигура 3. Изчислителна мрежа при режим с 100% степен на отваряне на прозореца

Начални стойности при изследван Режим 5

Таблица 1.

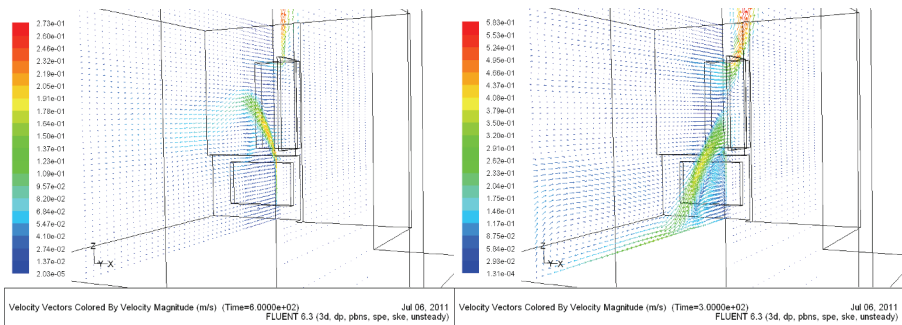
Режим 5 – 100% степен на отваряне, 90° ъгъл на отваряне

	T, deg C:	RH, %:	B, Pa:		CO2	H2O	O2	I
Помещение:	20.33	45.61	95390	ppm	2047	11403.9	206708.7	779840.5
				kg/kg	0.0031209	0.0071171	0.2291423	0.7606197
Външни условия:	-4.23	60.73	95390	ppm	390	2830.4	208852.2	787927.4
				kg/kg	0.0005932	0.0017622	0.2309672	0.766677

Време за развитие на течението: 600 секунди (10 минути)

## РЕЗУЛТАТИ

Получените резултати, представени на Фигура 4, показват механизма на проветряване на изследваното помещение само при режима с най-широко отворен прозорец, а именно 100% степен на отваряне на 30-тата и 600-ната секунда от отварянето на прозореца.



Фигура 4. Вектори на скоростта на въздуха при 30 и 600 секунди след началото на проветряване за режима с 100% степен на отваряне на прозореца

Векторите на скоростта показват нейното значително намаляване в близост до прозореца – от приблизително 1 m/s 30 секунди след отварянето до около 0.09 m/s 600 секунди след отварянето на прозореца. При този случай, 600 секунди след началото на проветряването, се наблюдава най-силно влиянието на радиатора върху движението на въздуха около прозореца. Отдаваната от него топлина отново насочва флуидното течение нагоре и топлият въздух напусква бързо изследваното помещение след образуването на няколко рециркуляционни зони в близост до крилото на прозореца и горния ръб на отвора.

Резултатите от представеното изследване по отношение на останалите параметри на течението за всички изследвани режими са в процес на обработка и предстои да бъдат представени.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеното числено изследване показва нагледно механизма на проветряване, при отваряне на врати и прозорци, на жилищно помещение при неорганизирана неконтролируема естетствена вентилация чрез изменението на основните параметри на аеродинамичната картина в помещението.

Създаденият числен модел може да бъде използван за моделиране на всякакъв вид жилищни и нежилищни помещения при неорганизирана неконтролируема естетствена вентилация. Чрез него е възможно да се извършва комплексна оценка на обитаваната среда с акцент върху здравето, комфорта и работоспособността на обитателите на затворени помещения.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС/EN 15251, „Входящи параметри за качеството на вътрешния въздух, заобикалящата топлинна среда, осветлението и акустиката при проектиране и оценка на енергийната характеристика на сгради”, 2007;
- [2] Ivanov M., “Indoor air quality improving potential of the human behaviour”, “Computational Engineering”, Sixth international course for young researchers, Pamporovo, Bulgaria, proceedings, 2010;
- [3] ISO 7730-2005: Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005;
- [4] Иванов М., Марков Д., „Анализ и оценка на качеството на въздуха в българските домове, основана на резултати от проекта ALLHOME и съпоставка с българските норми и чуждестранни стандарти”, Сборник доклади: „Международна научна конференция УНИТЕХ'10 – Габрово, 19-20.11.2010г.”, Том III, стр. 558-564, ISSN 1313-230X, 2010;
- [5] Markov D., “CFD packages – general features”, Computational engineering, Proceedings of III-rd international course for young researchers, 9 – 15 June 2007, Pamporovo, Bulgaria, pp. 99-107, ISBN 978-954-91681-6-7, 2007;
- [6] Пичуров Г., „Моделиране и изследване на аеродинамиката на вентилирани помещения и оценка на топлинния комфорт”, Дисертация, Технически университет – София, ЕМФ, Катедра: „Хидроаеродинамика и хидравлични машини”, 2009;

маг. инж. **Мартин Иванов**, докторант, ТУ-София, ЕМФ, катедра 'Хидроаеродинамика и хидравлични машини' 029653305, [martin\\_ronita@yahoo.com](mailto:martin_ronita@yahoo.com)

маг. инж. **Сергей Мижорски**, докторант, ТУ-София, ЕМФ, катедра 'Хидроаеродинамика и хидравлични машини' 029653305, [sergey\\_mijorski@yahoo.com](mailto:sergey_mijorski@yahoo.com)

гл. ас маг. инж. **Детелин Марков**, ТУ-София, ЕМФ, катедра 'Хидроаеродинамика и хидравлични машини' 029653305, [detmar@tu-sofia.bg](mailto:detmar@tu-sofia.bg)

**Докладът е рецензиран.**