



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Енергомашиностроителен Факултет

Катедра “Хидроаеродинамика и хидравлични машини”

маг. инж. Искра Сашова Симова

**СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА МИКРОКЛИМАТА
ВЪВ ВЕНТИЛИРАНИ ПОМЕЩЕНИЯ И
ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО МУ
ВЪРХУ ЗДРАВЕТО НА ЧОВЕКА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1. Машинно инженерство

Научна специалност: Механика на флуидите

Научен ръководител:
проф. д.т.н. инж. Петър Станков

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“ към Енергомашиностроителен факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 10.07.2018 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 06.11.2018 г. от 15:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-252 / 19.07.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р инж. Росица Величкова – председател
2. Доц. д-р инж. Емануил Агонцев – научен секретар
3. Проф. д.т.н. инж. Петър Станков
4. Проф. д.т.н. инж. Иван Антонов
5. Проф. д-р Милчо Ангелов

Рецензенти:

1. Проф. д.т.н. инж. Иван Антонов
2. Доц. д-р инж. Росица Величкова

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Енергомашиностроителен факултет на ТУ-София, блок №2, кабинет № 2340.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“ на Енергомашиностроителен факултет . Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора и са проведени в научно-изследователска лаборатория „Център за изследване на микроклимат, енергия и околна среда – СЕРДЕСЕН” при Технически университет – София. Някои от изследванията са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Искра Симова

Заглавие: *„Симулационно изследване на микроклимата във вентилирани помещения и оценка на влиянието му върху здравето на човека“*

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД ¹

Актуалност на проблема

В днешно време съвременният човек в развитите страни прекарва над 90% от времето на закрито (тези данни са специфични за студен и умерен климат и могат да варират в топъл климат). Ето защо, средата на която е изложен е от съществено значение за неговите комфорт, благосъстояние и здраве. Влиянието на вътрешната среда върху обитателите се осъществява на две нива, физиологично и психологично, и по няколко "канала".

Въпросът за човешкото здраве и благосъстояние като функция на микроклимата е много сложен. Много са взаимосвързаните фактори, които определят една вътрешна среда като добра или лоша.

Връзката между параметрите на вътрешната среда/микроклимат и обитателите е изследвана в продължение на десетилетия от множество учени и продължава да бъде обект на интерес с голямо социално и икономическо значение. Научните изследвания в това направление установяват, че проблеми с качеството на микроклимата в сгради въздействат директно върху комфорта, работоспособността и здравето на обитателите. Публикациите сочат, че връзката между качеството на вътрешната среда и благосъстоянието на хората е сложна и може да има както краткотраен, така и дълготраен ефект върху субектите: от лек общ дискомфорт, през раздразнение на лигавиците, понижена способност за фокусиране и изпълнение на поставени задачи, главоболие, чести респираторни инфекции, до хронични заболявания и в крайна сметка, чести отсъствия от работа.

Наличието на множество международни стандарти и научни публикации подчертават допълнително важността на вътрешната среда за комфорта, работоспособността и здравето на обитателите ѝ.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се изследва влиянието на микроклимата във вентилирани помещения върху работоспособността на обитателите като индикатор за тяхното здраве.

За постигането на поставената цел са дефинирани следните задачи:

- Да се разработи комплект инструменти за оценка на работоспособността на студенти и инженери, които извършват интензивна умствена работа;
- Да се разработи комплект инструменти за оценка на работоспособността на ученици от възрастова група 8-12 години;
- Да се проектира контролирана вътрешна топлинна среда въз основа на числено симулационно изследване;
- Да се проведе експериментално изследване при контролирани условия на влиянието на температурата върху работоспособността на студенти;
- Да се изследва възможността за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на ученици от възрастова група 8-12 години;

- Да се създаде база данни от субективните оценки и обективно измерената работоспособност на целевите групи субекти – студенти, инженери, ученици;
- Да се проведе пилотно изследване за възможността за обективно оценяване на работоспособността на докторанти и преподаватели чрез физиологично измерване на мозъчната им активност посредством едноточкова електроенцефалограма;
- Да се изследва, посредством числен експеримент, разпределението на генерирания от обитателите CO₂ във вентилирани помещения, проектирани да осигуряват и поддържат зададена топлинна среда.

Научна новост

В дисертационни труд са разработени и впоследствие приложени нови инструменти и процедури за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на обитателите като индикатор за тяхното здраве.

Създадени са нови изчислителни процедури за оценка на разпределението на параметрите на въздухообмена и топлинния комфорт на обитателите във вентилирани помещения при различни геометрични характеристики на вентилационната система, както и изчислителна процедура за оценка на разпределението на генерирания от обитателите CO₂ във вентилирани помещения.

Практическа приложимост

Резултатите от изследванията и разработките в дисертационния труд могат успешно да бъдат приложени при проектирането на здравословен микроклимат в обитаеми неиндустриални помещения.

Важен фокус са получените резултати при изследването на вътрешната среда в класни и лекционни зали, в които е стандартна практичка да се обучават голям брой гъсто разпределени обитатели – ученици и студенти.

Разработените в дисертационния труд тестове и процедури са готов инструмент който може да бъде приложен (и адаптиран при нужда) за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на субекти, извършващи интензивна умствена работа: офис-служители, инженери, учащи и др.

Апробация

Основни резултати от дисертационния труд са представени на следните форуми:

1. Научна конференция с международно участие ЕМФ 2012, "Енергия-Екология-Комфорт-Самочувствие", 16-19 септември 2012г., Созопол, България
2. Научна конференция с международно участие на Русенския университет и Съюза на учените – РУ&СУ'14, Октомври 2014г., Русе, България
3. Научна конференция с международно участие на Русенския университет и Съюза на учените – РУ&СУ'15, Октомври 2015г., Русе, България
4. Научна конференция с международно участие на Русенския университет и Съюза на учените – РУ&СУ'16, Октомври 2016г., Русе, България

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 научни публикации, от които 1 самостоятелна

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от (171) страници, като включва предговор, (5) глави за решаване на формулираните основни задачи, заключение, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо (160) литературни източници, като (147) са на латиница и (3) на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо (119) фигури и (33) таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМА: МИКРОКЛИМАТ – ПАРАМЕТРИ И ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ ОБИТАТЕЛИТЕ

В тази част е направен преглед на публикуваните изследвания по отношение на влиянието на различните компоненти на микроклимата – атмосферна среда, топлинна среда, визуална среда и акустична среда, във вентилирани помещения върху комфорта, работоспособността и здравето на обитателите на неиндустриални сгради.

Качеството на въздуха в неиндустриални помещения зависи от емисиите на строителните материали, на мебелите, на оборудването и от продуктите от метаболизма на обитателите. Влошаването на качеството на въздуха влияе върху цялостното възприятие на вътрешната среда, причинява умора, главоболие и други подобни симптоми, влошава работоспособността и в резултат намалява благосъстоянието на обитателите. От друга страна, доброто качество на въздуха може да бъде постигнато и поддържано в подходяща система за вентилация и климатизация. Препоръки за проектиране са описани в стандартите EN 15251 (2007), който се базира на оценка на база възприятието на обитателите, влизащи в помещението и ASHRAE standard 62.1 (2010), който дава оценка на база възприятието на адаптирани субекти.

Лошото качество на въздуха в обитаемите неиндустриални сгради е причина за възникване на специфични заболявания, а именно „Синдром на болната сграда“, SBS (Sick Building Syndrome) и „Заболявания, свързани със сградата“, BRI (Building related illness).

Симптомите на SBS заболяванията са предимно неспецифични, т.е. не са лесно разпознаваеми за едно заболяване или един източник на замърсяване. Световната здравна организация (СЗО) изброява следните симптоми като такива, които най-често се дължат на SBS: раздразнени лигавици – на очите, на носа, на гърлото; чувствителност и сухота на лигавиците и кожата; чести респираторни инфекции; умствена умора, летаргия; главоболие; гадене и замаяване; дрезгавост, хрипове, сърбеж и неуточнена свръхчувствителност.

„Заболяванията, свързани със сградата“, BRI, са заболявания, произтичащи от излагане на замърсители в помещенията, които причиняват специфична и ясна клинична картина [23]. Докато SBS симптомите изчезват с напускането на сградата, при BRI симптомите продължават и не отшумяват. Най-ефективната стратегия за смекчаване BRI, е да се проследи заболяването до определен замърсител и да се премахне източника от сградата. Пример за такива заболявания са причиняваната от бактерията легионела Легионерска болест, алергични заболявания като алергичен ринит и астма.

Качеството на вътрешния въздух е важен въпрос, имащ краткосрочно или дългосрочно въздействие върху здравето на обитателите, като се открояват две основни стратегии за подобряването му още на етап проектиране на сградите: чрез повишаване кратността на въздухообмена, като това ще намали замърсителите на въздуха или чрез намаляване на източниците на замърсяване в и извън сградата с цел да се редуцира проявата им във вътрешния въздух. Изследвания, които доказват, че неподходящо настроена вентилационната система оказва влияние върху симптомите на SBS и умствената работоспособност в офис сгради са публикувани от Park (2011) и Seppanen (1999, 2006), а Shaughnessy (2006), Wargocki (2007), .Haverinen-Shaughnessy (2011) и Bako-Biro (2012) публикуват аналогични причинно-следствени връзки при изследване влиянието на качеството на вътрешния въздух върху работоспособността на ученици в училища.

Множество изследвания разглеждат влиянието на различни концентрации на CO₂ върху усещането за лошо качество на въздуха, намаляването на работоспособността, повишаване на оплаквания като главоболие и раздразнения на лигавиците, чести отсъствия от работа на обитатели на офис– сгради и училища (Myhrvold et al., 1996; Seppanen et al., 1999; Shendell et al., 2004; Zhang et al., 2015).

През 2012 година Satish и колектив поставят въпроса: „Дали CO₂ е източник на замърсяване на вътрешната среда?“ в изследване, което доказва директна връзка между понижаване на работоспособността на обитатели при сравнително ниски концентрации на CO₂ (до 2500 ppm).

Що се отнася до топлинната среда, то идеалните температурни граници на вътрешната среда са добре изучени. Топлинният комфорт може да се предскаже с моделите на индексите PMV (Predicted Mean Vote) и PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), описани в ISO 7730: 2007 standard, (2007). PMV индексът се моделира на базата на топлинния баланс на човешкото тяло. Топлинната чувствителност се измерва субективно посредством седемстепенната скала на ASHRAE и предсказва топлинната чувствителност на голяма група от хора, изложени на една и съща топлинна среда. Въпреки това, температурата на вътрешния въздух често превишава неутралната стойност, предписана по стандарт. Леко повишение на температурата на вътрешния въздух от 26°C до 30°C установено повишава много от SBS симптомите. Този ефект се проявява в трудности при мисленето и концентрацията, както и като главоболие, чувство на умора, симптоми на раздразненост на очите, гърлото и носа.

За да са максимално продуктивни обитателите, трябва да се чувстват удовлетворени от топлинната среда в помещението, в което работят. Множество научни разработки изследват ефекта на леко повишената температура върху работоспособността в офис среди (Wyon et al. 1972, 1974, 2006).

През 2003 г. Serpanen et al. публикува връзка между температура и работоспособност, която не показва промяна в работоспособността в температурния диапазон на комфорта 21-25 °C, но установява 2% понижаване на работоспособността на всеки °C увеличение на температурата на вътрешния въздух от 25-32 °C. По-късно, отново въз основа на предишни изследвания, но на базата на по-мощно проучване, Serpanen et al. обобщава анализите по темата (като измерва офис работа в реални офис помещения или симулирана офисна работа в лабораторни условия) и изчислява процентно изменение на производителността на степен повишаване на температурата, което дава по-точен анализ в диапазона 21-24 °C. Според авторите изведеният модел е общовалиден за всякаква офис работа, но е с голяма степен на несигурност.

В разгледаните литературни източници описващи изследвания по отношение работоспособността се използват тестове за обективна оценка на психологическите характеристики на обитателите, но само Lap и колектив наред със субективната оценка на среда и компютризираните тестове за обективна оценка на работоспособността, са провели и физиологични измервания на пулса и мозъчната активност (посредством електроенцефалограма) на субекти, симулиращи офис работа в лабораторни условия, макар и да няма еднозначно тълкуване на физиологическите измервания.

Вътрешната среда в училищата е много по-слабо изучена, отколкото в други неиндустриални сгради като офиси, въпреки че децата, за разлика от възрастните, са много по-уязвими, те трябва да изпълняват задължителни задачи, които почти винаги са нови за тях. Освен това, те не могат да вземат решения относно училищна среда, на която са изложени ежедневно. Учениците учат или се занимават с нови задачи всеки ден в сравнение с работниците, чиято работа обикновено е рутинна и обща. Това може доведе до много по-висока чувствителност на учениците от факторите на вътрешната среда. Mendell и Heath публикуват обстоен обзор на изследванията търсещи връзка между работоспособността на учениците и факторите на вътрешната среда, които могат да ѝ въздействат и стигат до извода, че съществуват едва няколко внимателно проектирани експеримента, публикувани в литературата.

Важна част от темата за качеството на микроклимата в помещенията е социално-икономическата оценка на влошаването и/или подобряването на качеството на вътрешната среда. Социално-икономическият еквивалент на пониженото качество на микроклимата се измерва с неудовлетвореност, понижена работоспособност (която е индикатор за потенциални бъдещи здравни проблеми), влошено качество на живот, заболявания и отсъствие от работа.

Вложените средства за материали (сгради, инсталации) и енергия (инсталации), както и за създаването на вътрешна среда, отговаряща на стандартите са огромни, а в резултат още на физиологично ниво тя влияе негативно на обитателите посредством SBS симптоми, нарушена работоспособност, неудовлетвореност и в крайна сметка води до болести и отсъствия от работа.

Основната цел на системите за климатизация и вентилация в сгради е да осигурят удобни и здравословни условия за хората в помещенията, като в днешно време при проектирането и анализирането на вътрешната среда все повече се използват съвременни изчислителни техники, като Изчислителната механика на флуидите (ИМФ или CFD).

Съвременната практика в проектирането на вентилация на CFD е добре представена в REHVA Guidebook: Computational Fluid Dynamics in ventilation design. В наръчника се посочват основните важни пунктове и препоръки за провеждане на числени симулации при проектиране на вентилационни системи.

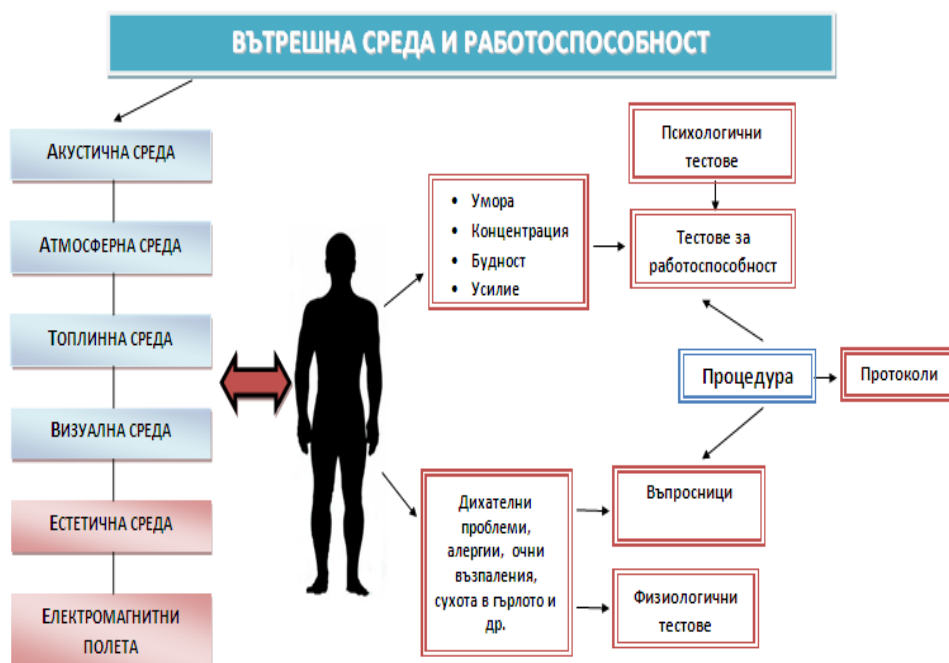
С бурното развитие на изчислителната техника, ИМФ (CFD) се използва все по-често за анализи, касаещи ефективността на вентилацията за различни приложения, качеството на въздуха в помещенията за всички видове сгради (например жилищни, болници, музеи, спортни съоръжения) и топлинен комфорт в сгради и различни превозни средства.

Предимствата при използването на ИМФ са огромни и безспорни, тъй като често е практически невъзможно да се проведе пълномащабно експериментално изследване на поставения проблем. Това е особено вярно за изследване на помещения във фазата на проектиране. Дори и при възможност за провеждане на експериментално изследване, то резултатите от симулациите с ИМФ са много по-детайлни и получаването им отнема значително по-малко време.

ИЗВОДИ

Въз основа на проведената литературна справка, основните параметри на микроклимата, оказващи съществено влияние конкретно върху работоспособността на обитателите, са представени в графичен вид заедно с наблюдаваните симптоми и начините за оценката им (фигура 1.1.).

Освен това, получената информация от тази справка е анализирана и класифицирана, за да се онагледят връзката между параметрите на вътрешната среда, продължителността на експозицията и основните симптоми и ефекти върху обитателите.



Фигура 1.1. Връзка между параметрите на микроклимата и работоспособността

Оценката на вътрешната среда може да бъде извършена посредством:

- Обективна оценка, извършена от изследовател или модератор на изследването, като бива:
 - експериментално изследване;
 - числено изследване.

- Субективна оценка, извършена от обектите на изследване (субекти), като:
 - Субективна оценка на качеството на вътрешната среда, посредством въпросници.

Същевременно, влиянието на средата върху обитателя може да бъде извършено посредством:

- Обективна оценка, извършена от изследовател или модератор на изследването с помощта на тестове, разработени да оценяват психологически характеристики или физиологична промяна ;
- Субективна оценка, самооценка, извършена от обектите на изследване (субекти), с помощта на специално разработени тестове.

Въпреки множеството цитирани изследвания по отношение на влиянието на микроклимата във вентилирани помещения върху комфорта, работоспособността и впоследствие – здравето на обитателите, все още знанията в областта не изчерпват проблема. Въпроси, които все още стоят без отговор, са:

- Каква е валидността на модела на Seppanen и може ли да се приложи в различни условия, например в условията на климата и културните особености на България?
- Каква е най-малката продължителност на експозицията, за да се прояви даден ефект на микроклимата върху работоспособността на изследваните субекти?
- Може ли чрез физиологични измервания (по-конкретно чрез измерване на мозъчната активност посредством електроенцефалограма) да се оцени обективно работоспособността на изследваните субекти като функция от параметрите на вътрешната среда?
- Каква е работоспособността на учениците в условията на българските училища и съпоставим ли е такъв експеримент с публикуваните до момента в чуждестранната литература?

ГЛАВА 2. ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО НА ВЪТРЕШНАТА СРЕДА (МИКРОКЛИМАТ) ВЪРХУ ЧОВЕКА

В тази глава са описани стъпките при разработването на тестове за оценка на работоспособността на обитателите, както и организирането им в процедура за оценка на влиянието на вътрешната среда върху човека. За настоящото изследване обекти на изследване са две целеви групи, както следва:

- Студенти/инженери, извършващи интензивна умствена работа/креативна работа;
- Ученици в начален курс, за които разбирането и възприемането на учебния материал е от изключителна важност (натрупват се фундаментални знания – четене, писане, прости/основни математически операции).

Целта на тази глава е да се разработят тестове и процедура за количествена оценка на комбинираното въздействие на микроклимата върху работоспособността на студенти, инженери, офис-служители и ученици. За постигане на тази цел е необходимо:

- Да се отсеят психологическите характеристики, които са доказано чувствителни към промяна на условията на вътрешната среда;
- Да се направи подбор на съществуващите тестове за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на двете целеви групи – студенти (инженери, офис-служители) и ученици;
- На база на избраните психологически характеристики да се подберат и адаптират подходящи за целите на изследването тестове, приложими на хартия;
- Да се създаде процедура за прилагане на разработените тестове за оценка на влиянието на параметрите на микроклимата върху работоспособността на обитателите;
- Да се тества в реални условия и при необходимост да се подобри създадената процедура за оценка на работоспособността на обитателите.

Във връзка с разработването на валидна за целите на изследването процедура за оценка на работоспособността на обитателите (офис-служители, студенти и ученици) са разгледани и анализирани повече от 20 рецензирани статии, публикувани в международни списания и конференции. Разгледаните статии са подбрани така, че да представят информация и по възможност описание относно вида и същността на комплекта от инструменти, т.е. използваните тестове за оценка на работоспособност които са приложени в конкретното изследване, както и кои тестове показват (статистически) значима промяна в работоспособността на изследваните субекти.

Всеки източник е разгледан, класифициран и описан в две таблици – една, която третира публикации относно оценката на влиянието на микроклимата върху работоспособността на офис-служители, и втора, която разглежда източници, описващи влиянието на микроклимата върху работоспособността на деца и ученици. Основната цел на това литературно проучване е изясняването на важни въпроси като: Кои параметри на микроклимата влияят върху работоспособността; Кои са физиологичните и психологичните фактори, които повлияват работоспособността като функция на параметрите на микроклимата? Какви и кои са тестовете, които измерват работоспособността по отношение на промените в параметрите на микроклимата? Кои са компонентите на работоспособността при инженери – студенти, обучавани за инженери и инженери? Кои са компонентите на работоспособността при ученици от възрастова група 8-12 години?

На база на разгледаните публикации е обобщено, че задачи свързани с логическо мислене, аритметични операции и тестове за краткотрайна памет са чувствителни към промяна на параметрите на микроклимата. Макар и описани като част от набор инструменти в електронен вариант, подобни тестове лесно могат да бъдат разработени и адаптирани за приложение на хартиен носител и по този начин да отговорят на нуждите на настоящата дисертация.

По отношение на изследването на работоспособността на ученици, в анализираните литературни източници, са отсети едва три авторски колектива, които предоставят информация за конкретните тестове и начина на прилагането им при изследването на работоспособността на ученици. Нещо повече, в тези изследвания тестовете просто са посочени и използвани, а не конкретно разработвани за подобен вид научно изследване, т.е. не са универсални в тяхната приложимост. Това обуславя нуждата не само от адаптиране на тестовете за конкретните условия на планираното експерименталното изследване (за студенти, изучаващи инженерни специалности), но и от цялостно разработване на такива тестове и методика за оценка на работоспособността на ученици от възрастова група 8-12 години, обучаващи се по българската образователна система.

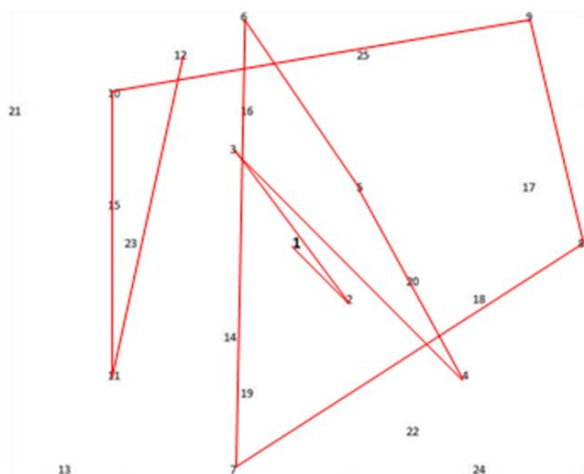
За целите на изследванията в дисертационния труд са избрани да бъдат проследявани психологическите характеристики: ниво на будност, логическо мислене, краткотрайна памет и производителност на ума. За всяка от тях е направена извадка на подходящи тестове приложими на хартия, които са чувствителни към промяна на някой от параметрите на микроклимата. Това са следните тестове:

- За ниво на будност - Tsai – Partington test;
- За логическо мислене – Судоку;
- За внимание, концентрация - Търсене на две букви (група от два символа сред поле от символи);
- За визуално възприемане;
- За краткотрайна памет;
- За креативно мислене;
- За производителност на ума - Математически тестове;
- За субективна самооценка - NASA TLX.

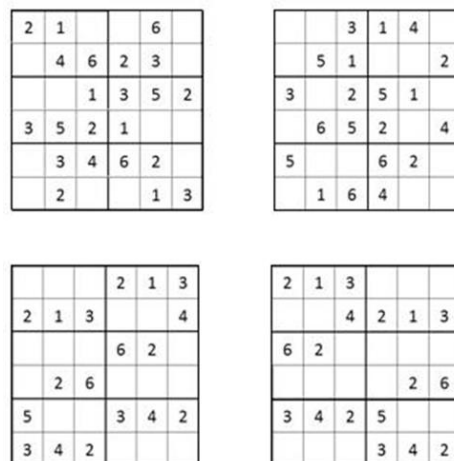
Процедури и инструменти за оценка на работоспособността на студенти, инженери и офис-служители

Тъй като тестовете за работоспособност ще се провеждат по време на учебните часове беше нужно да се направи допълнително филтриране на подходящите тестове, като се съблюдава времето за попълване и ясната им свързаност с конкретна психологическа характеристика. Така

бяха подбрани и адаптирани следните тестове, приложими на хартия: Tsai – Partington test, мини-судоку пъзели, тест за краткотрайна памет и математически операции – събиране на числа.



Фигура 2.1. Изглед на отчасти попълнен Tsai-Partington тест



Фигура 2.2. Изглед на мини-Судоку, подготвено за целите на изследването

Заедно тестовите за обективна оценка на работоспособността към комплекта инструменти е включен и NASA Task Load Index (NASA-TLX) – тест за субективна оценка на работоспособността. NASA-TLX е инструмент за субективна оценка на натовареността, разработен от НАСА. NASA-TLX позволява на потребителите да извършват субективна оценка на натоварването на оператори, които работят с различни системи от типа човек-машина. NASA-TLX е една многоизмерна процедура за оценка, която дава обща оценка на натовареността на базата на средно претеглена стойност на оценките от шест подскали, които включват визуално-аналогова скала за самооценка на: умственото натоварване, физическото натоварване, стрес от времето за изпълнение, самооценка на работоспособността, усилията и чувството на неудовлетвореност.

За всички, описани в точка 2.2.2., тестове (с изключение на NASA-TLX, тъй като този тест е еднакъв всеки път) са създадени инструменти за автоматизирано генериране на еднотипни варианти с цел да се избегне т. нар. learning effect, или ефекта на запомнянето. Това е необходимо, тъй като комплектът тестове за обективна оценка на работоспособността ще се попълва в началото и края на изследвания период (един учебен час) и в рамките на дадена експозиция трябва да е с еднаква степен на трудност, но все пак различен от първия, за да няма ефект на запомнянето. Във връзка с разработването на адекватна за целите на дисертационния труд процедура за провеждане на изследването, тестовите са комплектовани за приложение в три различни варианта, а времето, определено за попълване на всеки тест, е както следва:

- Tsai – Partington test (TPT)– 1 min;
- Судоку – 5 min;
- Тест за краткотрайна памет / Математически тестове – 2 min;
- NASA-TLX – 1 min.

Разработени са два типа протоколи, разделени на един или съответно на два периода на експозиция. Изследването се провежда в рамките на университетски учебен час, който се състои от два часа по 45 минути и 15 минутна почивка между тях. Затова може да се организират протоколи както следва: Протокол 1 90-0-0, Протокол 2.1 45-15-45 и Протокол 2.2 60-15-30, с които е възможно да се направи оценка според времето на експозиция. Тъй като не е ясно при каква експозиция се проявяват ефектите от въздействие на околната среда, процедурите включват периоди от по 30, 45, 60 и 90 минути. Протоколите са представени в таблица 2.3.

Всички протоколи са разработени така, че да не отнемат прекалено много време от нормалния учебен час, с цел да не смущават учебния процес.

Към всеки един протокол е разработена и последователност на събитията, съпътстващи експерименталното изследване. Към тази последователност са дадени и прогнозни времена, необходими на участниците в експеримента за попълване на въпросниците.

Таблица Error! No text of specified style in document..1. Протоколи за провеждане на изследването

Протокол	Периоди на изследване	Времетраене на часа в минути
1	1 период – две изследвания в началото и в края на часа, без почивка	90+0+0
2	2 периода - две изследвания в началото и в края на часа, с една почивка според някой от посочените варианти	45+15+45 60+15+30

За да бъдат валидирани създадените процедури за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на студенти (инженери и офис-служители), е проведено предварително тестово изследване със студенти от III курс към Факултета по английско инженерно обучение (ФАИО), обучаващи се по дисциплина „Thermodynamics and Heat Transfer” (Термодинамика и топлопренасяне). Резултатите от тестовото изследване показаха необходимост от съкращаване на обема на въпросниците и тестовете, тъй като отнемаха прекалено дълго време от учебния час.

Така, крайната процедура за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на студенти, инженери и в частност офис – служители се състои в следното:

1. Събиране на персонална информация от субектите посредством въпросник (попълва се предварително в ден, в който няма планирани експерименти);
2. В началото на периода на експозиция субектите решават три теста за обективна оценка на работоспособността им в следната последователност (общо за 8 минути):
 - a. Tsai-Partington Test – 30 sec;
 - b. Судоку пъзели – 5 min;
 - c. Математически операции – събиране на 5 двуцифрени числа – 2 min;
3. Учебен процес в продължение на 80 min;
4. В края на периода на експозиция субектите попълват:
 - a. Тестове за обективна оценка на работоспособността, аналогични по трудност на тези в началото на експозицията – TPT, Судоку пъзели и математически операции – общо 8 min;
 - b. Тест за субективна оценка на работоспособността – NASA TLX – 1 min;
 - c. Въпросник за субективна оценка на качеството на въздуха в помещението и топлинната среда – 1 min;

Процедури и инструменти за изследване на работоспособността на ученици от възрастова група 8-12 години

Изборът и разработването на подходящи тестове за изследване на работоспособността на деца определено е доста по-трудна задача в сравнение с тестовете за студенти и офис-служители. Това се дължи на следните факти:

- Съществена разлика между българската и образователните системи в държавите, където са провеждани подобни изследвания;
- Липса на достатъчно подробна информация относно прилаганите тестове, описани в литературата;
- Необходимост тестовете да бъдат прецизно синхронизирани със знанията и уменията на учениците на съответната възраст така, че да бъдат разбираеми, забавни и рутинни за децата.

Поради тази причина бяха подбрани за проследяване същите психологически характеристики като при тестовете за студенти и офис-служители, а именно: ниво на будност, логическо мислене, краткотрайна памет и производителност на ума.

За да бъдат подбрани подходящи за целите на изследването тестове, са разгледани както множество сайтове и книги, които третират тестове и игри за интелигентност на деца, така и различни тестове от типа входно/изходно ниво по български език и математика. Бяха проведени множество срещи с преподаватели от ЧОУ „Св. Климент Охридски” – София – партньор в изследването, на които бяха дискутирани различни варианти на тестове и тяхната приложимост за целите на изследването.

На база на описания итеративен подход и съгласуване с преподавателите от ЧОУ „Св. Климент Охридски”, бяха отсети и разработени следните тестове, представени в таблица 2.4:

Таблица 2.4. Психологически параметри и избрани тестове

ПСИХОЛОГИЧЕСКИ ПАРАМЕТЪР	ТЕСТОВЕ		
I. Ниво на сънливост/будност	I.1. TPT(Tsai- Partington Test)		
II. Логическо мислене	II.1. Премахни излишната дума	II.2. Фигурален тест (пространствено мислене)	
III. Концентрация, внимание	III.1. Открий скритите думи	III.2. Намери комбинацията от букви (символи)	
IV. Будност на ума – готовност за работа	IV.1. Събиране	IV.2. Изваждане	IV.3 Сравнение на числа

Намерете следната комбинация от букви : н

о

в

л	н	н	н	л	н	н	л	н
о	а	а	о	а	а	о	о	а
б	в	в	в	в	в	в	б	б
л	н	н	л	н	л	н	л	н
о	о	а	о	а	а	о	о	а
б	в	в	б	б	б	в	в	в
л	н	л	н	н	л	л	н	н
о	о	а	а	о	о	а	а	о
б	б	в	в	в	в	б	в	в

Фигура 2.14. Тест „Намери комбинацията от букви (символи)”

6 + 35 =	3 + 16 =	9 + 28 =	12 - 2 =	32 - 6 =	89 - 8 =	7 + 63		82 - 6
3 + 37 =	5 + 13 =	6 + 17 =	35 - 7 =	26 - 7 =	42 - 6 =	39 - 8		82 - 5
7 + 21 =	4 + 25 =	4 + 14 =	79 - 6 =	42 - 5 =	81 - 4 =	35 - 8		8 + 25
9 + 34 =	1 + 32 =	5 + 21 =	а) 94 - 4 =	27 - 8 =	52 - 6 =	б) 33 - 2		в) 72 - 5

Фигура 2.15. Извадка от тестове за математическо мислене: а) събиране, б) изваждане. в) сравнение на числа

За разлика от процедурите за оценка на комфорта и работоспособността на студенти, преподаватели и офис-служители, при прилагането на разработените инструменти за оценка на работоспособността на ученици не е възможна такава стройна организация и процедури, тъй като:

- Всеки тест трябва да бъде съобразен с план-графика на учебните часове и трябва да бъде прилаган в съответстващите на тематиката му часове.
- Учениците не бива да усещат дискомфорт от провежданите тестове, а трябва да ги приемат като нормална част от учебния процес – т.е. да не са стресирани и да не приемат тестовете като вид оценяване или изпитване.
- Предишни изследвания, проведени в Швеция (Wargocki et al. 2007a и 2007b) показват, че учениците не бива да попълват повече от един тест на учебен час и повече от 2 теста на ден.

Проведено е и предварително тестово експериментално изследване, целящо запознаване на учениците с разработените тестове, както и анализ и оценка на тяхната реакция и възприемчивост. Тестовете са проведени в Частно основно училище „Св. Климент Охридски“, гр. София с ученици от втори клас. По аналог на други изследвания, (Wargocki et al. 2007a и 2007b) учениците попълват два теста на ден, в различни учебни часове. Всички тестове са съобразени с учебната програма, така че да се припокриват тематично със съответния учебен час.

Изводи

Изследванията на влиянието на микроклимата върху работоспособността на обитателите датират от края на 60-те години на миналия век до днес. Въпреки това, информация и подробно описание на тестовете, процедурите по прилагането им в конкретните проекти(изследвания) има в много малко от разгледаните литературни източници. Що се отнася до изследванията, провеждани с деца(ученици), то информацията се изчерпва с едва 3 авторски колектива. Това обуславя нуждата от разработване на тестове за целите на конкретното експериментално изследване, както и процедури за прилагането им в специфичните условия на експеримента.

Докато наборът от инструменти (тестове) за оценка на работоспособността на студенти и офис-служители се базира на известни тестове (само адаптирани за спецификата на настоящото изследване), то наборът от тестове за оценка на работоспособността на ученици от възрастова група 8-12 години е изцяло иновативен и уникален за България.

Спецификата на планираните изследвания на работоспособността, както на студенти и офис-служители, извършващи интензивна умствена работа, така и на ученици начален курс, обуславя потребността от създаване на конкретни процедури за провеждането им. Тези процедури трябва да бъдат съобразени с учебния процес – календарния график и динамиката на провеждане на занятията, а при учениците и с конкретната учебна програма за деня.

ГЛАВА 3. СЪЗДАВАНЕ НА КОНТРОЛИРАНА ВЪТРЕШНА СРЕДА (ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЪТРЕШНАТА СРЕДА СЪС СРЕДСТВАТА НА ИМФ (CFD))

Проектирането на система за вентилация с топлинна обработка на въздуха, която има за цел да осигури равномерно разпределение на параметрите на вътрешната среда и да осигури комфорт на обитателите в помещението е многостъпкова, нелека и предизвикателна задача. С помощта на методите на изчислителната механика на флуидите (CFD), може сравнително бързо да се изследват различни схеми на вентилиране на едно помещение и да се визуализира аеродинамиката в огромен брой точки от разглежданото пространство.

В тази глава е представено числено изследване на параметрите на въздухообмена и основните параметри на микроклимата при различни режими на работа на система за вентилация на лабораторна зала 2225, която се намира в Технически Университет – София.

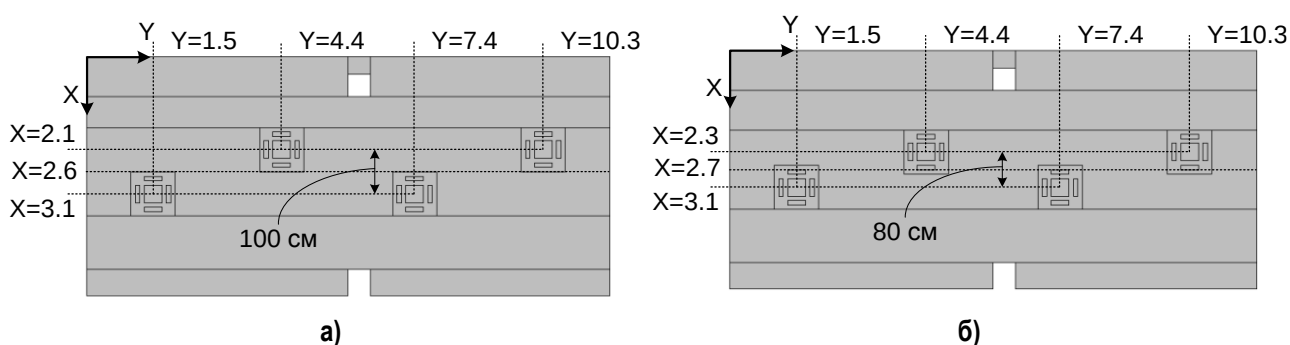
Целта на симулационното изследване в настоящата Глава 3 е правилно позициониране на различните елементи на системата за вентилация и оценка на различните режими на работа, при които ще се гарантира ефективност и контролирани условия в помещението, т.е. системата трябва да осигурява вътрешна среда, отговаряща на стандарта EN ISO 7730:2007 при максимална обитаемост на залата от 24 студента и 1 преподавател.

За провеждането на числените симулации са описани ограждащите елементи на помещението, отчетени са данни за топлопроводимостта на граничните елементи, източниците на топлина и работните характеристики на вентилационната система, определени са мощностите и характеристиките на системата за вентилация и топлинна обработка на въздуха, предвидена за изграждане в лабораторна зала 2225 и така са дефинирани граничните условия на активните елементи на числените модели.

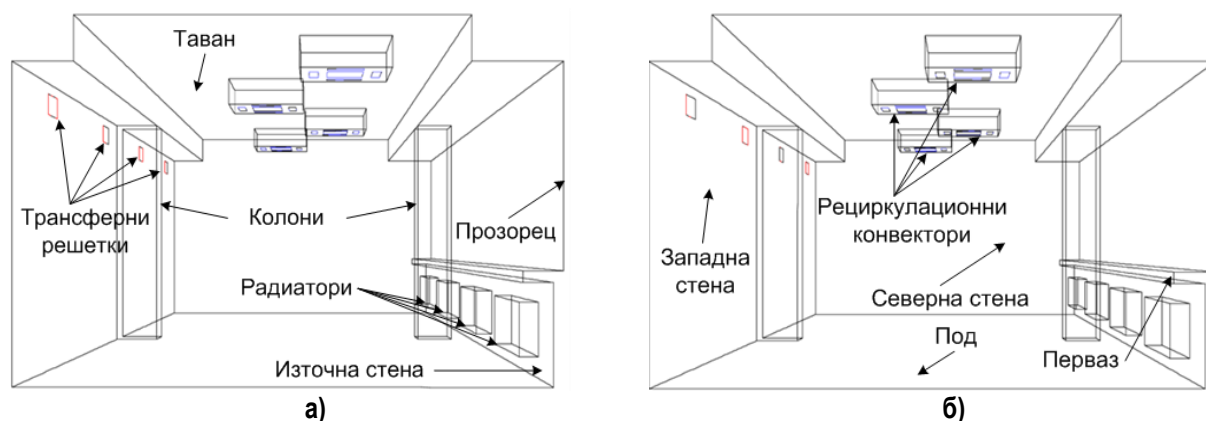
Математическият модел, използван в тази глава включва: уравнение за непрекъснатост, уравнения за количество на движение – уравнения на Навие-Стокс, усреднени по Рейнолдс и затворени с k-ε турбулентен модел, уравнение за съхранение на енергията, уравнение за състояние на идеалния газ и модел за лъчист топлообмен.

За разработването на геометрията на числените модели и генерирането на изчислителните мрежи е използван софтуерен продукт Gambit 2.4.6., който е приложение за пред-процесорна обработка в CFD пакета Fluent.

Предварително проектиране на системата за поддържане на контролиран микроклимат в учебната лаборатория 2225, базирано на CFD, определи за изпълнението на вентилацията рециркулационните конвектори тип TOSHIBA MMU-AP0092H(4-way Air Discharge Cassette Type), заедно с 4 трансферни решетки, разположени на западната стена на помещението, през които отработеният въздух преминава от помещението в коридора на сградата. Изследвани са две разположения на касетите: 4 касети, шахматно разположени на разстояние от центровете $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ и $\delta_{x.c.c.} = 80cm$ (Фигура 3.3.).



Фигура 3.3. Разположение на касетите – а) $\delta_{x.c.c.} = 100cm$; б) $\delta_{x.c.c.} = 80cm$



Фигура 3.4. Учебна зала 2225 – компоненти на числените модели – а) Шахматно разположение – $\delta_{x.c.c.} = 100cm$, б) Шахматно разположение – $\delta_{x.c.c.} = 80cm$

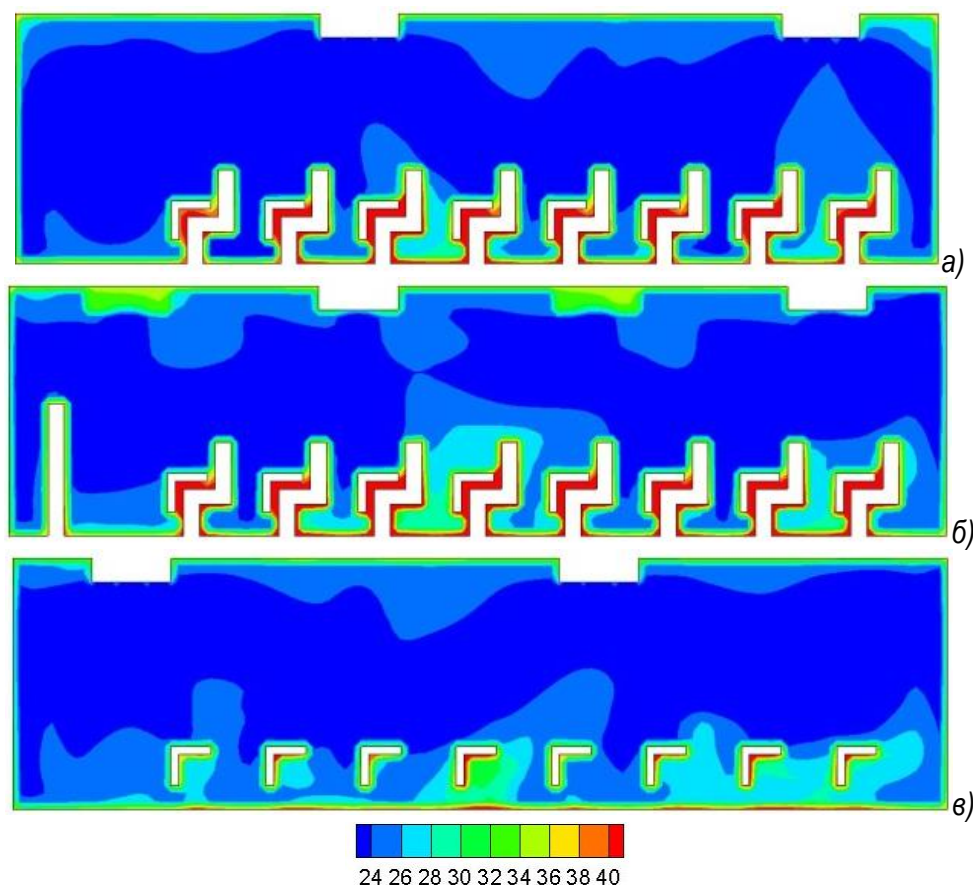
На Фигура 3.4. са илюстрирани всички компоненти, участващи в двата числени модела на изследваното помещение.

По време на числено изследване са извършени 10 симулации. Въз основа на двата разработени модела с разстояние между четирипосочните въздухоподаващи касети $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ или $\delta_{x.c.c.} = 80cm$, при шахматното разпределение на касетите по тавана са анализирани различни наклони на насочващите лопатки на входове на въздуха в помещението, съответно на 25°, 30°, 35°, 40° и 45°. Наклонът се моделира чрез промяна на скоростния профил.

Числените резултати включват **полета на температура, скоростното поле на течението и поле на налягането**. Въз основа на тези параметри, се извършва последваща обработка и анализ на различните сценарии.

Резултатите са онагледени, посредством цветни изображения на контурите на полетата на променливите в следните равнини по трите направления:

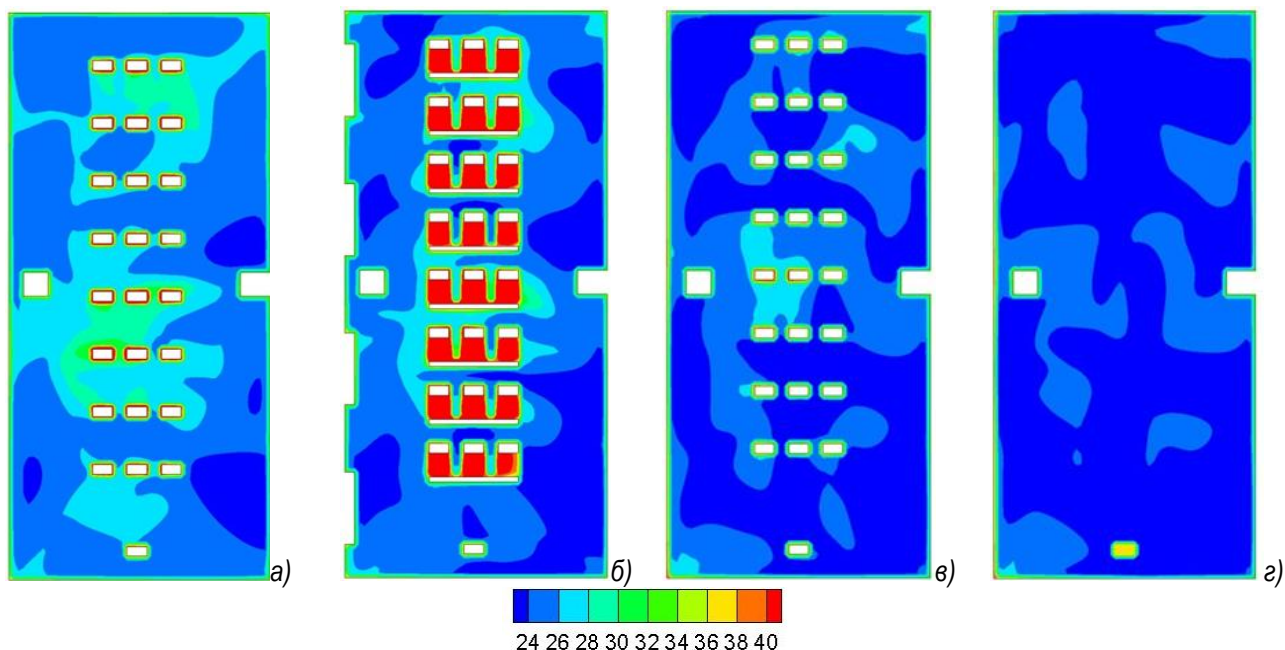
- Във вертикално направление, Z – в четири равнини: Z=0.1 m; Z=0.6 m; Z=1.1 m; Z=1.7 m;
- По направление X – в три равнини: X=2.1 m; X=2.6 m; X=3.1 m;
- По направление Y – в четири равнини: Y=1.5 m; Y=4.5 m; Y=7.4 m; Y=10.3 m.



Фигура 3.13. Температурни полета, $\Theta=30^\circ$, $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ – а) X=2.1; б) X=2.6; в) X=3.1

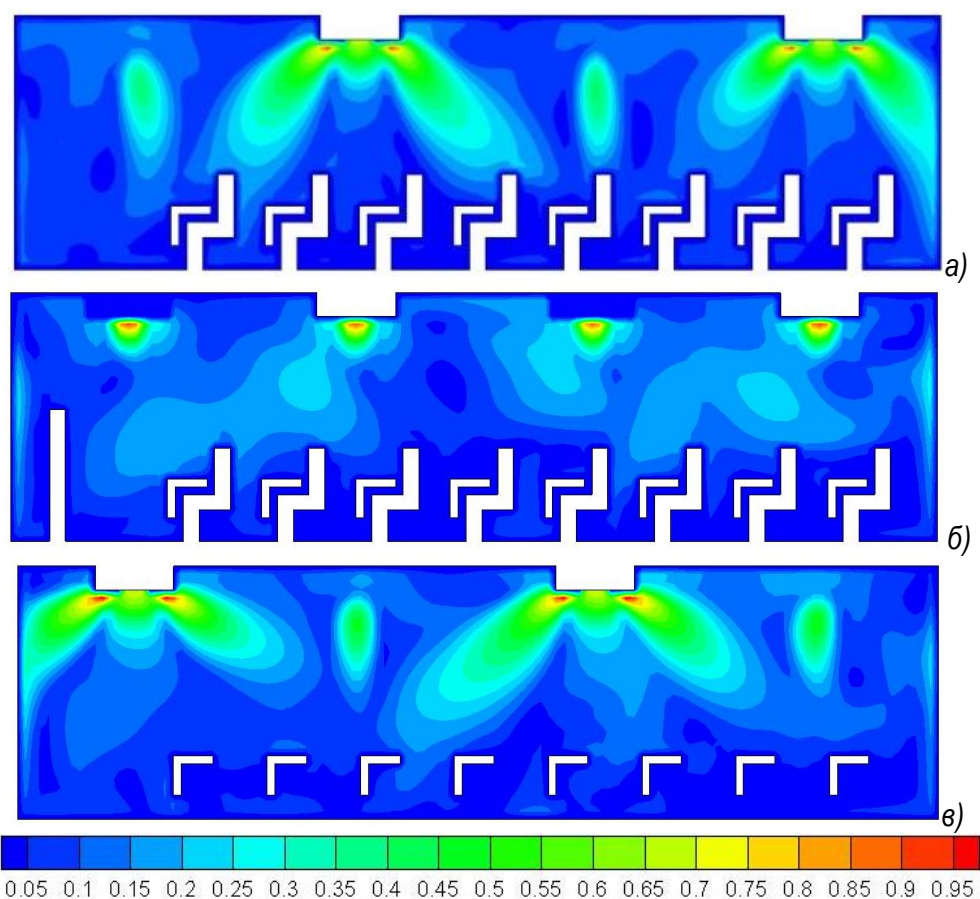
Разпределението на температурата в изследваната лабораторна зала 2225 за случая на разстояние между центровете на климатичните касети $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ и ъгъл на направляващите лопатки $\Theta=30^\circ$ е относително равномерно и благоприятно във всички сечения, за които е онагледено. Средната температура в помещението варира между 24 и 26°C, което отговаря на Категория I на вътрешната топлинна среда според изискванията, зададени по стандарт БДС EN 15251, като са симулирани летни климатични условия. Въпреки това, в сечението при X=2.6 m при височини от пода Z=0.1 m, Z=0.6 m, Z=1.1 m се наблюдава формиране на зона с по-висока температура, 26÷28°C, между 3 и 4 и 7 и 8 ред работни маси (фигури 3.13б, 3.15а, б и в). Тази завишена

температура се дължи на спецификата в геометрията на помещението – разположението на работните маси от ред 4 съвпада с положението на съществуващите две колони, които освен че оказват стесняващо въздействие върху въздушното течение, действат и като прегради, възпрепятстващи равномерното развитие на въздушните струи. Това е видимо и на фиг. 3.16б, на която е визуализирано скоростното поле.

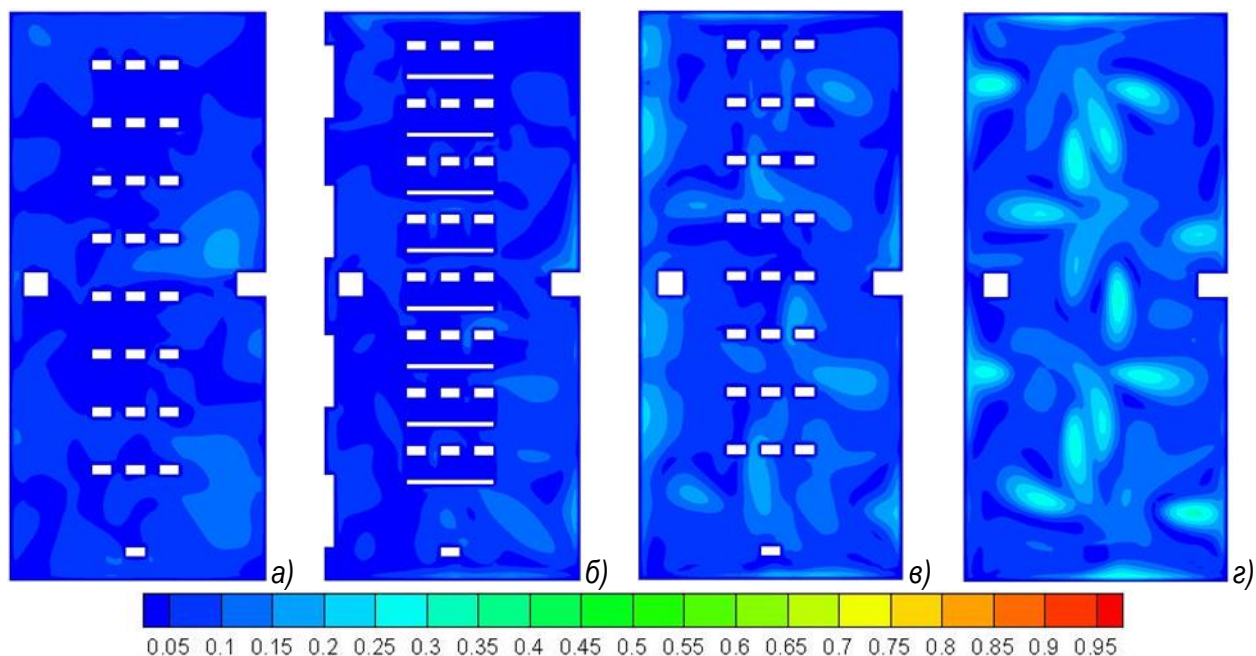


Фигура 3.15. Температурни полета $\Theta=30^\circ$, $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ – а) $Z=0.1$; б) $Z=0.6$; в) $Z=1.1$; г) $Z=1.7$

Фигури 3.16. и 3.18. представят изменението на полето на скоростта при наклон на направляващите лопатки $\Theta=30^\circ$ и разстояние между четирипосочните касети $\delta_{x.c.c.} = 100cm$. При зададените гранични условия, резултатите по отношение на разпределението на скоростта на въздушното течение в обитаемата зона, удовлетворяват предписаните по стандарт стойности – за помещения като аудитории, класни стаи, офиси и др. – 0.18 m/s за Категория I – фигури 3.16 и 3.18. Малки изключения от Категория I се наблюдават между средните работни места на първи и втори и шести ред маси, където скоростта на въздушното течение отговаря на Категория II (0.22 m/s) – фигури 3.16б, 3.18в.



Фигура 3.16. Скоростни полета при $\Theta=30^\circ$, $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ – а) $X=2.1$; б) $X=2.6$; в) $X=3.1$

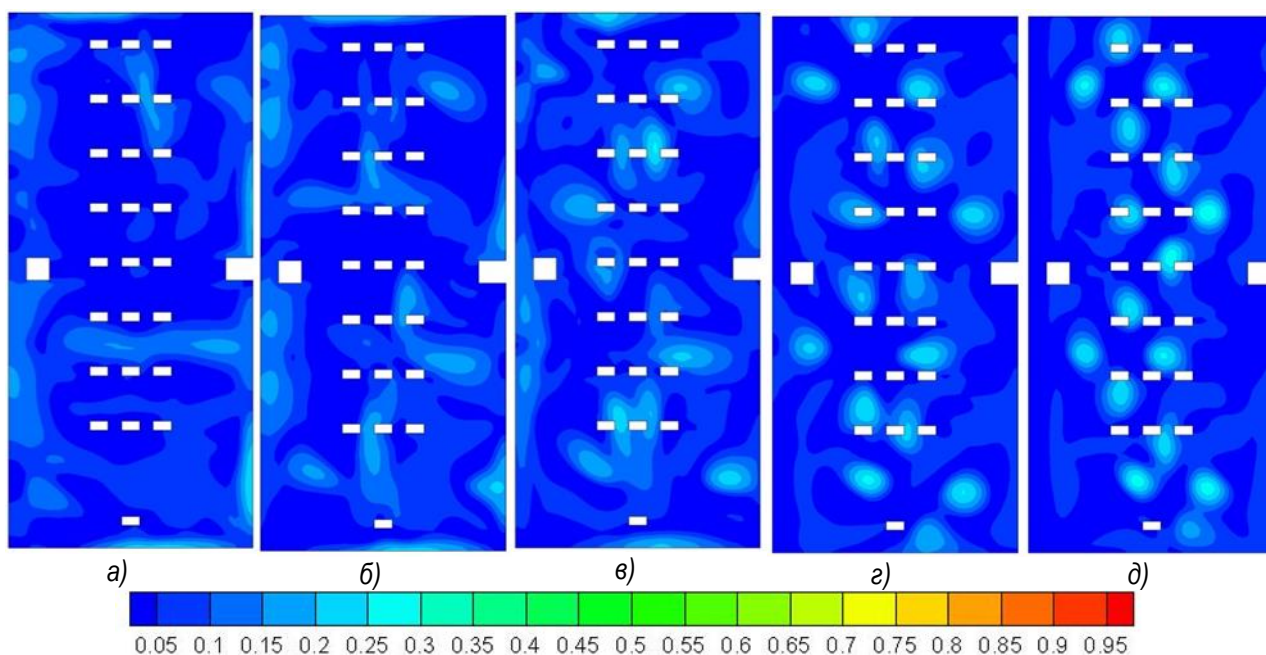


Фигура 3.18. Скоростни полета при $\Theta=30^\circ$, $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ – а) $Z=0.1$; б) $Z=0.6$; в) $Z=1.1$; г) $Z=1.7$

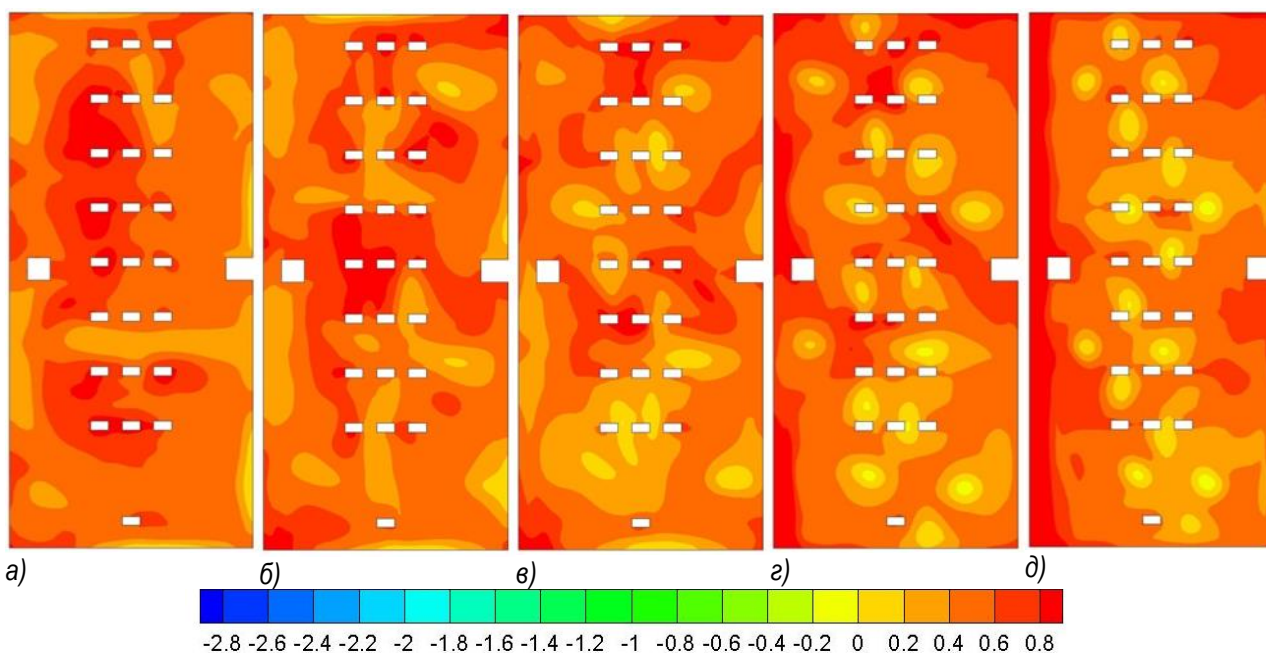
Освен анализ на въздухообмена в разглежданата лаборатория 2225, част от целта на симулационното изследване е определянето на основните параметри на топлинен комфорт на обитателите в помещението. Изчислението на тези параметри се базира на стандарта EN ISO 7730:2007 – “Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”.

Както е споменато в стандарта, топлинното усещане на човека е свързано главно с топлинния баланс на тялото като цяло. Този баланс се влияе от физическата активност, облекло, както и от параметрите на околната среда: температура на въздуха, радиационна температура, скорост и влажността на въздуха. На базата на тези данни може да се апроксимира и стойността на индекса PMV. Чрез индекса PPD се предоставя информация за топлинния дискомфорт или топлинното недоволство директно от стойността на PMV. Така могат да се дефинират процента на хората, които чувстват, че е твърде топло или твърде хладно в дадена среда.

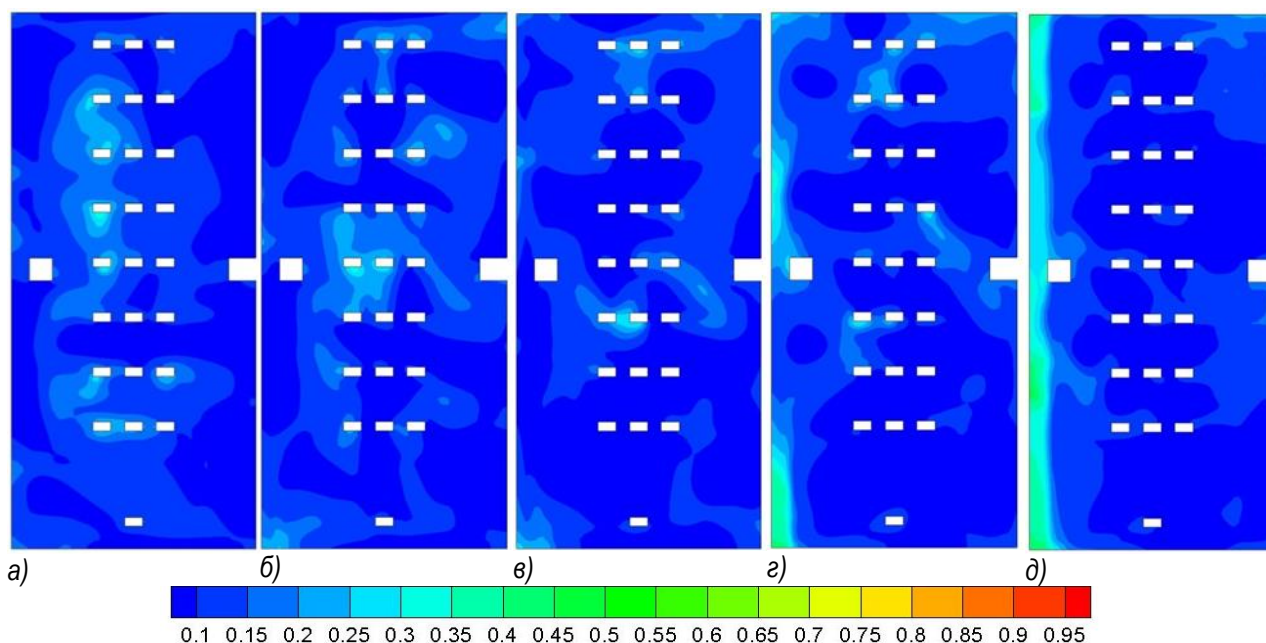
Топлинният дискомфорт може да бъде причинен от нежелано локално охлаждане или затопляне на тялото. Най-честите локални фактори на дискомфорта са: лъчиста температурна асиметрия (студени или топли повърхности), течение (определено като местно охлаждане на тялото от движението на въздуха) – Draught Rate, DR, вертикална асиметрия в температурата на въздуха, и студен или топъл под.



Фигура 3.25. DR, за равнина $Z=1.1m$ от пода, $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ – а) 25°; б) 30°; в) 35°; г) 40°; д) 45°



Фигура 3.31. PMV, за равнина $Z=1.1m$ от пода, $\delta_{x.c.c.} = 100cm$ – а) 25°; б) 30°; в) 35°; г) 40°; д) 45°



Фигура 3.35. PPD, за равнина $Z=1.1\text{m}$ от пода, $\delta_{x.c.c.} = 100\text{cm}$ – а) 25° ; б) 30° ; в) 35° ; г) 40° ; д) 45°

Изводи

Резултатите от проведените компютърни симулации показват, че подборът на устройства за осъществяване на вентилационната система е удачен и разпределението на параметрите на топлинния комфорт е благоприятно и равномерно.

Въпреки това, разстоянието между касетите оказва влияние, като разпределението на променливите при отместване от центровете на конвекторите с $\delta_{x.c.c.} = 100\text{cm}$ е по-равномерно.

По отношение на изследваните ъгли на насочващите лопатки, най-благоприятни са условията в обитаемата зона при $\theta=25^\circ$ и $\theta=30^\circ$.

ГЛАВА 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ВЪТРЕШНАТА СРЕДА (МИКРОКЛИМАТ) ВЪРХУ ОБИТАТЕЛИТЕ/ЧОВЕКА

Целта на изследването в Глава 4 е да бъде проверена експериментално валидността на модела на Serpanep относно влиянието на температурата на въздуха върху работоспособността на студенти. При създаването на този модел не са съществували данни относно влиянието на въглеродния диоксид върху работоспособността на хората в неиндустриална работна среда.

За тази цел е проведен еднофакторен експеримент при контролирани други условия (еднакви параметри на акустичната и светлинната среда и качество на въздуха) относно влиянието на температурата (извън комфортната зона, удовлетворяваща изискванията за категория I на стандарт БДС EN 15251) върху работоспособността на студенти и хора, извършващи интензивна умствена работа. Обект на изследване за експеримента при контролирани условия са студенти от Технически университет-София, обучавани на български и английски език по „Механика на флуидите“ и „Топлотехника“, както и преподавателите по съответните дисциплини. Изследването се провежда в залата с контролиран микроклимат 2225, в която е изградена система за вентилация, проектирана и описана в Глава 3 на дисертационния труд. Елементите на вътрешната среда в зала 2225, чието влияние може да бъде контролирано, напълно или частично, и да бъде оценявано на базата на измерване на характеризиращите го физически параметри са: акустична среда – частичен контрол, измерван параметър – звуково налягане; въздушна среда – почти пълен контрол, измервани

параметри – относителна влажност и обемна концентрация на въглеродния диоксид; светлинна среда – частичен контрол, измерван параметър – осветеност; топлинна среда – почти пълен контрол, измервани параметри – температура на въздуха, посочна и средна температура на облъчване, скорост на въздуха и степен на турбулентност. В помещението са организирани 24 работни места.

За охарактеризиране на работната среда по време на експеримента са измервани следните групи от параметри:

- Параметри на външната среда: атмосферно налягане; температура; относителна влажност; обемна концентрация на CO₂.
- Параметри на вътрешната среда: температура; относителна влажност; налягане; обемна концентрация на CO₂; скорост на въздуха и турбулентна интензивност; посочна температура на излъчване на огражденията; шум; осветеност.

За измерването на температурата и скоростта на въздуха, както и за измерването на посочната температура на облъчване от огражденията, е разработена процедура, базирана на стандарта ISO 7730.

За измерване на работоспособността на участниците в експеримента са използвани тестовите и процедурата, разработени и описани в Глава 2 (Фигура 4.12).

Експерименталното изследване е с продължителност 6 седмици, в които е изследвано влиянието на 7 температурни интервала върху работоспособността на студентите: [19-20]°C, [20-21]°C, [23-24]°C и [24-25]°C [25-26]°C, [26-27]°C и [27-28]°C.

Данните от проведените експериментални изследвания са събрани и въведени в база-данни, която се състои от следните таблици:

1. Данни от тестовите за оценка на работоспособността на студенти;
2. Данни за параметрите на вътрешната среда;
3. Данни за параметрите на външната среда.

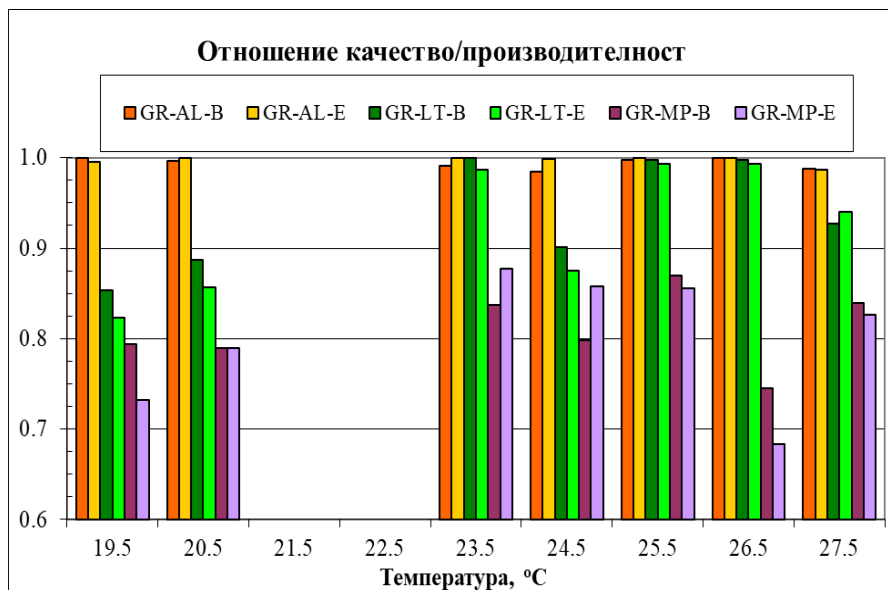
Резултатите са анализирани с помощта на програмните продукти MS Excell и SPSS.

Продължителност	Начало												Почивка	
		TPT	Тест2	Тест3	Учебен процес				TPT	Тест2	Тест3	N-TLX	В и ТС	
		30sec	5min	2min					30sec	5min	5min	1min	1min	
	7.30 min							8.30min			1min			
	90min												15min	
Физически измервания														
Външна среда	Непрекъснато													
Топлинна среда	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Концентрация на CO ₂	Непрекъснато													
Визуална среда	All	All	All	All	All	All	All	All	All	All	All	All		
Ниво на звука	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Фигура 4.12. Протокол на процедурата

Резултатите от тестовите за оценка на работоспособността в началото и в края на проследения период са оценени по следните два признака:

- Качествено – брой вярно попълнени/решени елементи от тестовете, често този признак се нарича „качество“ на попълване/решаване;
- Количествено – продуктивност – това е общият брой попълнени/решени задачи за единица време.



Фигура 4.14. Групови резултати в началото и в края на периода на експозиция, представени като отношение между качеството на попълнените тестове и броя извършени операции (количество)

Груповият резултат на всички участници в експеримента, разпределен по температурни интервали и изчислен за началото и края на изследвания период е представен като отношение между качеството (брой верни) и количеството извършени операции от тестовете (производителност) – Фигура 4.14.

За всеки изследван температурен интервал е анализирано влиянието на температурата върху различните проследявани психологически характеристики и е онагледено графично.

Освен попълването на тестове за работоспособност, участниците в експеримента оценяват и субективно, посредством визуално-аналогови скали следните две групи параметри:

1. Оценка на качеството на въздуха и на топлинната среда;
2. Самооценка на работоспособността чрез NASATLX.

Резултатите от тестовете за работоспособност, в началото и края на всеки времеви период, се изследват за статистически значима разлика с помощта на софтуерния пакет SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Всяка група, за всеки температурен интервал, се тества, за да се определи вида на разпределението на данните посредством теста за проверка за нормално разпределение на Shapiro - Wilk. Резултатите от теста на Shapiro-Wilk показват, че получените от експеримента данни, нямат нормално разпределение и следователно, хипотезите могат да се тестват само с непараметрични тестове като знаковият рангов тест на Wilcoxon, използван да определи наличието на статистически значимо различие между резултатите от всички тестове за работоспособност в началото и края на периода на експозиция. Резултатите от тестваната хипотеза са поместени в таблица 4.2:

Температура на въздуха в помещението между [19-20]°C оказва негативно влияние върху нивото на будност и производителността на ума на изследваните субекти, но води до статистическо значимо подобрение по отношение на продуктивността на психологическата характеристика логическо мислене. Качеството при решаване на задачите от теста, изследващ производителност на ума намалява статистически значимо при температури [20-21]°C и [23-24]°C. С други думи се наблюдава нарастване в броя допуснати грешки при решаване на задачите. По отношение на останалите две психологически характеристики няма значима промяна.

Таблица 4.2. Статистически значими резултати

ТЕМПЕРАТУРЕ И ИНТЕРВАЛ	ИЗСЛЕДВАНИ ПСИХОЛОГИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ					
	НИВО НА БУДНОСТ		ЛОГИЧЕСКО МИСЛЕНЕ		ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ НА УМА	
	продуктивност	бр. грешки (качество)	продуктивност	бр. грешки/ (качество)	продуктивност	бр. грешки (качество)
[19-20]	-	-	Подобрение $p=0,015$	-	-	-
[20-21]	-	-	-	-	-	Намаляване $p=0,035$
[23-24]	-	-	-	-	-	Намаляване $p=0,018$
[24-25]	-	-	Подобрение $p=0,031$	-	-	Намаляване $p=0,0005$
[25-26]	-	-	Подобрение $p=0,006$	Подобрение $p=0,006$	-	-
[26-27]	Подобрение $p=0,014$	-	Подобрение $p=0,006$	-	Подобрение $p=0,017$	Намаляване $p=0,001$
[27-28]	-	-	Подобрение $p=0,002$	Подобрение $p=0,002$	-	-

Температурният интервал $[24-25]^{\circ}\text{C}$ влияе негативно и статистически значимо върху броят допуснати грешки при математическите операции, докато количеството решени sudoku пъзели е значително повече. $[25-26]^{\circ}\text{C}$ температура на въздуха в помещението стимулира логическото мислене на студентите и качествено и количествено, като подобрението в края на периода на експозиция е статистически значимо. За другите два проследяващи работоспособността параметъра – ниво на будност и производителност на ума, няма еднозначни доказателства за промяна. Статистически значимо подобрение в количествената оценка и на трите психологически характеристики - ниво на будност, логическо мислене и производителност на ума се отчита при интервал на изменение на температурата на вътрешния въздух $[26-27]^{\circ}\text{C}$, докато същата топлинна среда оказва негативно въздействие върху производителността на логическото мислене и броят грешки, допуснати при математическите операции. Наблюдава се подобрение в производителността на ума и в същото време рязък спад в продуктивността на характеристиката ниво на будност, когато температурата се изменя в интервала $[27-28]^{\circ}\text{C}$. В този температурен интервал, обаче, е доказано статистическо значимо подобрение в логическото мислене на субектите, и по отношение на продуктивност и по отношение на качество.

В тази глава е описано още и **тестване на процедурата за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на ученици от възрастова група 8-12 години.**

Тестването на разработената и усъвършенствана процедура в Глава 2 за оценка на работоспособността на ученици се провежда с ученици на Частно основно училище „Св. Климент Охридски“ в София.

Избраната група ученици са на възраст 8-9 години, учащи във 2-ри клас на образователната им степен. В избраната за целите на тестването класна стая няма организирана вентилационна система. Проветряването се извършва само чрез отваряне на врати и прозорци. Класната стая се отоплява чрез централно отопление. Класната стая съдържа общо 10 работни места за учениците и едно място за преподавателя.

Таблица 4.4. Процедура за прилагане на тестовете при ученици

УЧЕБЕН ПРЕДМЕТ	ТЕСТ
Български език	TPT(Tsai- Partington Test) Премахни излишната дума
Английски език	TPT(Tsai- Partington Test) Намери комбинацията от букви (символи)
Математика	TPT(Tsai- Partington Test) Събиране

Резултатите от проведеното изследване с ученици са организирани в база данни, подобна на базата данни от експерименталното изследване в контролирана среда със студенти. Базата данни при учениците е разделена на две части:

- Данни, свързани с работоспособността на учениците;
- Данни за параметрите на вътрешната среда.

В базата данни, свързана с работоспособността, са представени номера на работното място, часа и резултатите от тестовете, използвани за оценка. При учениците се използват два вида тестове Tsai-Partington test и втори вид тест, който се подбира в зависимост от провеждания учебен час. В базата данни са показани резултатите на учениците в началото и края на часа, като за оценяване на Tsai-Partington test се отчитат общия брой свързани линии и общия брой верни линии. При оценяване на втория вид тест се броят общо решените примери и общо верните примери.

Таблица 4.5. Данни за параметрите на вътрешната среда

ДЕН	ВРЕМЕ	CO ₂ , ppm	T, °C	RH, %	B, hPa
1	10:15-10:50	1213,28	24.5	40,80	952
1	13:30-14:05	1269,83	25,08	30,85	952

При данните, свързани с параметрите на вътрешната среда, се представят показанията на IAQM PS33, отчитани по време на тестовото изследване. В таблица 4.5. са представени средните стойности на концентрацията на CO₂, температурата, относителната влажност и налягането в помещението за съответния период от време.

Заедно с математическите задачи, учениците попълват и Tsai-Partington test, като резултатите от него показват нарастване на продуктивността, като няма изменение в качеството, тъй като няма нито една допусната грешка. По отношение на умствената производителност се наблюдава спад на продуктивността в края на учебния ден (шести учебен час) в сравнение с втория час, както и нарастване на броя допуснати грешки. Този резултат лесно може да се интерпретира, като се направи справка за параметрите на микроклимата в класната стая – таблица 4.5. Прави впечатление, че концентрацията на CO₂ в помещението е много над допустимите стойности по стандарт, което доказано води до влошаване на работоспособността като цяло.

В края на Глава 4 е представено **пилотно изследване на оценката на работоспособността на докторанти и преподаватели чрез едноточкова електроенцефалограма (ЕЕГ).**

Участници в изследването са докторанти и асистенти в Технически Университет София. Бидейки пилотно, т.е. ограничено предварително изследване, участниците в него са едва 5 – трима докторанти на възраст 20 – 30 години и двама асистенти. Пилотното изследване е проведено в лабораторията с контролиран микроклимат, 2225 на Технически университет – София, същата, в която е проведено и изследването на влиянието на температурата върху работоспособността на студенти. По време на изследването се измерват параметрите на физическата среда и се използват същите процедури, описани в експеримента със студенти.

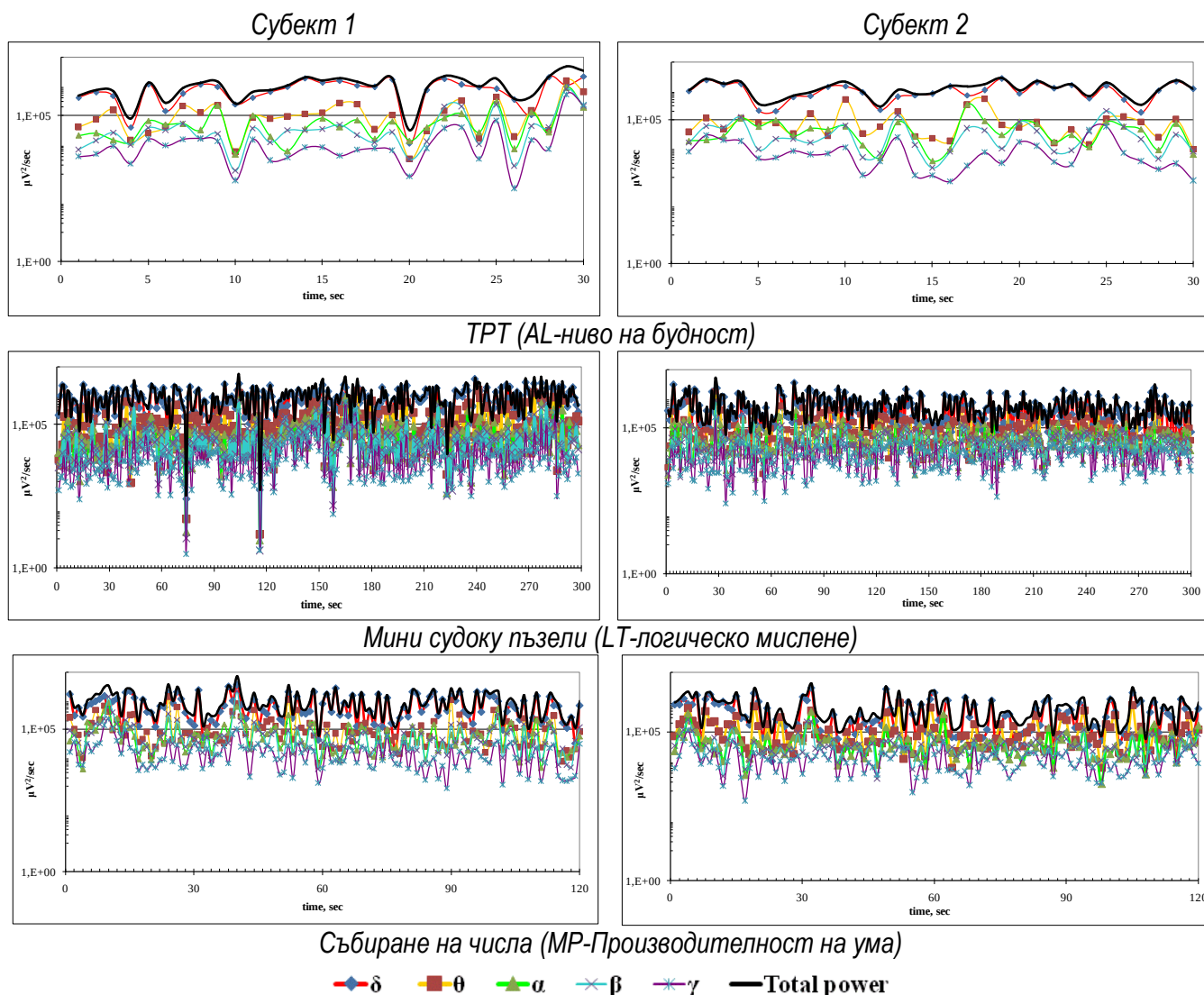
За регистриране на мозъчната активност се използва устройството NeuroSky MindWave™, което следи електрическите сигнали, генерирани от мозъчната дейност. Устройството наподобява слушалка и се поставя на главата. Съставено е от лента за глава, щипка за ухо, която измерва пулса и сензорно рамо, което съдържа ЕЕГ електрод. Позицията на сензорното рамо трябва да отговаря на FP1 позицията на челото над окото (според системата 10-20 за поставяне на електродите на American Electroencephalographic Society). Сред основните предимства на устройството са неговата лекота, достъпност, ненаатрапчивост, удобство и лесна употреба.

Записаният необработен сигнал от слушалката NeuroSky MindWave™ може да бъде обработен чрез софтуера за обработка Neuroskylab, който е част от пакета към устройството. Този софтуер е ограничен, а при обработката на данните са добавени няколко промени и е разработена нова процедура за преобразуване на записвания сигнал.

Преобразуваният сигнал от MindWave™ е окончателно обработен в MS Excel. Записаните като енергия показания на мозъчните вълни в μV^2 и сумата на 5-те типа мозъчни вълни (алфа, тета, бета, делта и гама) показват общата енергия на мозъчните вълни. След това за всеки попълнен тест за работоспособност се изчислява цялостното потребление на енергия, която е описана като енергия в секунда - $\mu V^2/s$.

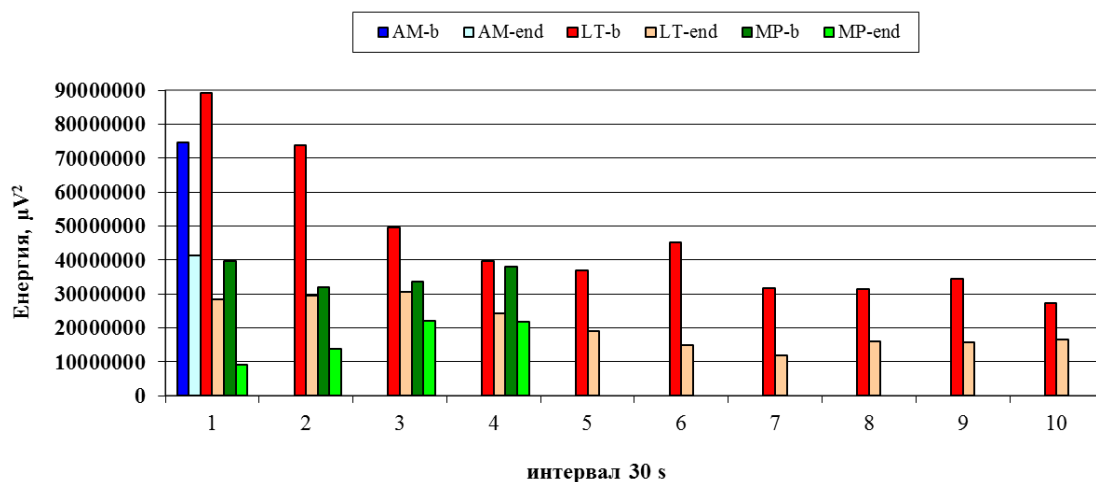
Изследвани 4 случая при различни температури на вътрешния въздух в помещението.

На фигура 4.38 е направено сравнение между мозъчната активност на двама души за всяка задача в началото на тестовия период.



Фигура 4.38. Мозъчна активност, отнесена към тестовете за работоспособност.

На база обща енергия и енергия на всяка от записаните мозъчни вълни е изчислена вложената енергия за всяка задача в началото и края на периода за всеки участник. Сравнението между използваната енергия от един обитател за определена задача в началото и края на тестовия период (фигура 4.41) показва, че мозъчната ефективност в края на периода е значително по-ниска отколкото в началото. От всички задачи в експеримента, тези за логическо мислене изискват най-много енергия. Резултатите на участниците, разбира се, зависят и от тяхната подготовка, личен опит и интереси.



Фигура 4.41. Сравнение между използваната енергия от един обитател за определена задача в началото и края на тестовия период

Изводи

- **Изследване влиянието на температурата на вътрешния въздух върху работоспособността на студенти**

Температура в интервала $[19-20]^{\circ}\text{C}$ повлиява негативно нивото на будност на субектите и по отношение на продуктивността и по отношение на броя грешки, но стимулира логическото мислене и качествено и количествено, като в края на периода на експозиция подобрението в продуктивността е статистически значимо ($p=0,015$). Не се отчита промяна в производителността на ума. Температури в интервалите $[20-21]^{\circ}\text{C}$, $[23-24]^{\circ}\text{C}$, $[24-25]^{\circ}\text{C}$ и $[26-27]^{\circ}\text{C}$ оказват статистически значимо негативно въздействие върху броя допуснати грешки при извършване на аритметични операции. Топлинна среда с температури на вътрешния въздух в интервала $[24-28]^{\circ}\text{C}$ стимулират логическото мислене в края на периода на експозиция на субектите, като по отношение на продуктивността тази промяна е статистически значима за този широк интервал, а статистически значимо намаляване на броя грешки се отчита при $[25-26]^{\circ}\text{C}$ и $[27-28]^{\circ}\text{C}$. В интервала $[26-27]^{\circ}\text{C}$ температурата на въздуха в изследваното помещение има благоприятен ефект върху работоспособността като цяло: нивото на будност и логическото мислене достигат максимум и заедно с производителността на ума отчитат статистически значимо подобрение по отношение на продуктивността.

На базата на тези изводи може да се заключи, че оптималната температура, осигуряваща максимална работоспособност на субектите при изследваната продължителност на експозиция от 90 минути е $[25-27]^{\circ}\text{C}$. Тази неутрална топлинна среда се различава от оптималната, предписана по стандарт, и тази, публикувана в различни изследвания, включително и при моделите на Serapen.

По отношение на качеството на въздуха в помещението, оценено субективно от обитателите, няма еднозначна тенденция. Това се дължи на малкия опит и подготовка на участващия панел студенти, което предопределя ниската степен на надеждност на вота. Осъзнатостта на субектите в експеримента също допринася за достоверността на гласуването.

- **Тестване на процедурата за изследване на работоспособността на ученици от възрастова група 8-12 години в реални условия**

По отношение на полевия експеримент с ученици от възрастова група 8-12 години е констатирано много сериозно отклонение на параметрите на микроклимата от предписаните в нормите и стандартите.

Въпреки това, процедурата е подходяща за провеждане на пълномащабно изследване с тази възрастова група: времето за решаване е достатъчно, и последователността на действията, описани в процедурата също е добре разпределена времево.

- **Пилотно изследване на оценката на работоспособността на докторанти и преподаватели чрез едноточкова ЕЕГ.**

Мозъчната ефективност в края на периода на експозиция е значително по-ниска в сравнение с началото на периода.

Опитът на изследваните субекти предопределя количеството мозъчна енергия, необходима за решаването на някаква задача. Например, субект с интерес към sudoku пъзели, който има богат опит в решаването им, ще покаже различни резултати по отношение на мозъчната активност в сравнение с нетрениран субект. Затова, за провеждане на пълномащабно изследване е нужно да бъде осигурен продължителен обучителен период за тествания панел субекти.

Резултатите от маломасштабното предварително изследване на потенциала на устройството MindWave™ показват, че едноточковата ЕЕГ може да бъде използвана за оценка на работоспособността, посредством обективно измерване на усилията, вложени от мозъка за решаване на задачите в относителни единици.

Процедурата по обработка на данните се нуждае от подобряване с цел да се изключи допълнителния шум на записания сигнал в процеса на обработката на суровите данни. Подобен пълномащабен експеримент се нуждае от внимателно проектиране, за да могат да се извлекат коректни връзки между физическите параметри на вътрешната среда и мозъчната ефективност на изследваните субекти.

ГЛАВА 5. ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ГЕНЕРИРАНИЯ СО₂ ОТ ОБИТАТЕЛИТЕ ВЪВ ВЕНТИЛИРАНИ ПОМЕЩЕНИЯ

В тази глава се описва числен експеримент за оценка на разпределението на генерирания от обитателите СО₂ във вентилирани помещения. Численото симулационно изследване е мотивирано от хипотезата, че концентрацията на СО₂ в зоната на дишане на студентите в зала 2225 на ТУ-София е по-висока от концентрацията на СО₂ във въздуха, който напуска помещението.

Тази хипотеза е породена от регистрираните резултати по време на експерименталното изследване на работоспособността на студенти в зала 2225 на ТУ-София при контролирана топлинна вътрешна среда (описани в глава 4), които не съответстваха на очакваните резултати за регистрираните стойности на СО₂ в помещението. Поради факта, че все още не съществуват бързи, точни и евтини уреди за измерване на концентрацията на СО₂ в зоната на дишане, тя бе измервана и регистрирана на изхода на въздуха от помещението, и непрекъснато съответстваше на изискванията на стандарт БДС (EN) 15251-2007 за категория I.

Целта на симулационното изследване в Глава 5 е да се изследва числено разпределението в обема на учебна зала 2225 на ТУ-София, и по-специално в зоната на дишане, на генерирания от обитателите въглероден диоксид при непроменени други условия по отношение на симулациите, представени в Глава 3 на настоящата дисертация.

За изпълнението на поставената цел, обитателите на помещението се разглеждат освен като източници на топлина и като източник на замърсяване, т.е. източник на СО₂. Издишваният от обитателите СО₂ се моделира като пасивен скалар като нормалния цикъл на дишане – вдишване и издишване се опростява и замества с постоянно издишване.

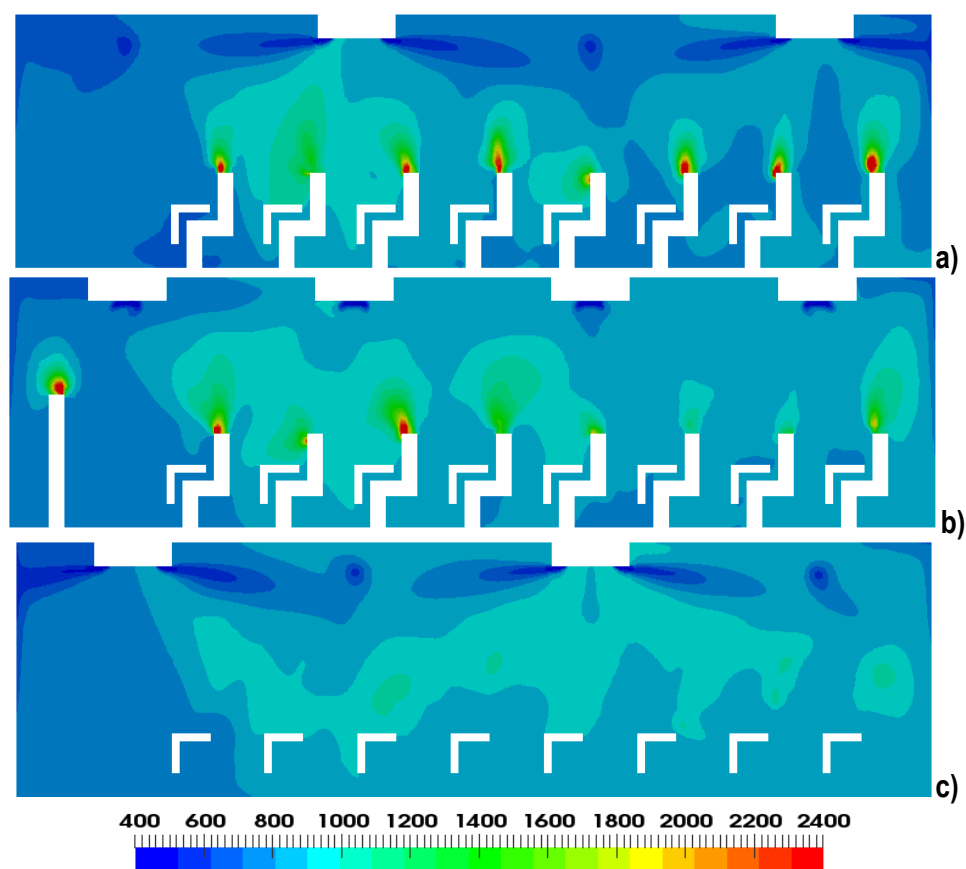
Числените симулации са проведени, посредством програмния продукт OpenFOAM. Математическият модел, подобно на описания в Глава 3, се базира на уравненията за съхранение на масата, импулса и уравнението за състояние на идеалния газ. Системата уравнения, която описва движението на въздуха в помещението, се състои от уравнението за непрекъснатост и системата, усреднени по Рейнолдс уравнения на Навие-Стокс, затворена посредством SST k- ω турбулентен модел. За да бъде зададена концентрацията на пасивния скалар, е изчислена генерацията на CO₂, посредством стандарта ISO 8996-2004.

Съгласно резултатите от симулационното изследване в Глава 3, лабораторната зала с контролиран микроклимат 2225 е оборудвана с 4 шахматно разположени рециркуляционни конвектори тип TOSHIBA MMU-AP0092H с разстояние между осите – 100 cm. В настоящото компютърно изследване е симулирано същото разположение, т.е. действителната ситуация, като наклона на насочващите лопатки спрямо тавана е $\Theta=30^\circ$. Изследвани са два случая на разположение на работните маси в помещението – с гъсто разположени маси, подредени в една колона на разстояние 40 cm една от друга и организирани в две колони работни маси с разстояние помежду им от 1.1 m.

Изчислителната мрежа е генерирана с помощта на snappyHexMesh, част от софтуерния пакет OpenFOAM като и в двата изследвани случая е тип съставна поли мрежа, която се състои основно от шестостенни елементи и няколко нива на съгъстяване. В случая на гъсто разположените в една колона работни маси броят на изчислителните клетки е 1 373 190, докато при симулацията на помещението с организирани в две колони работни маси на по-голямо разстояние една от друга, броят на контролните обеми е 1866161.

Симулирани са летни климатични условия, които да гарантират параметри на вътрешната среда, отговарящи на Категория I на EN 15251-2007.

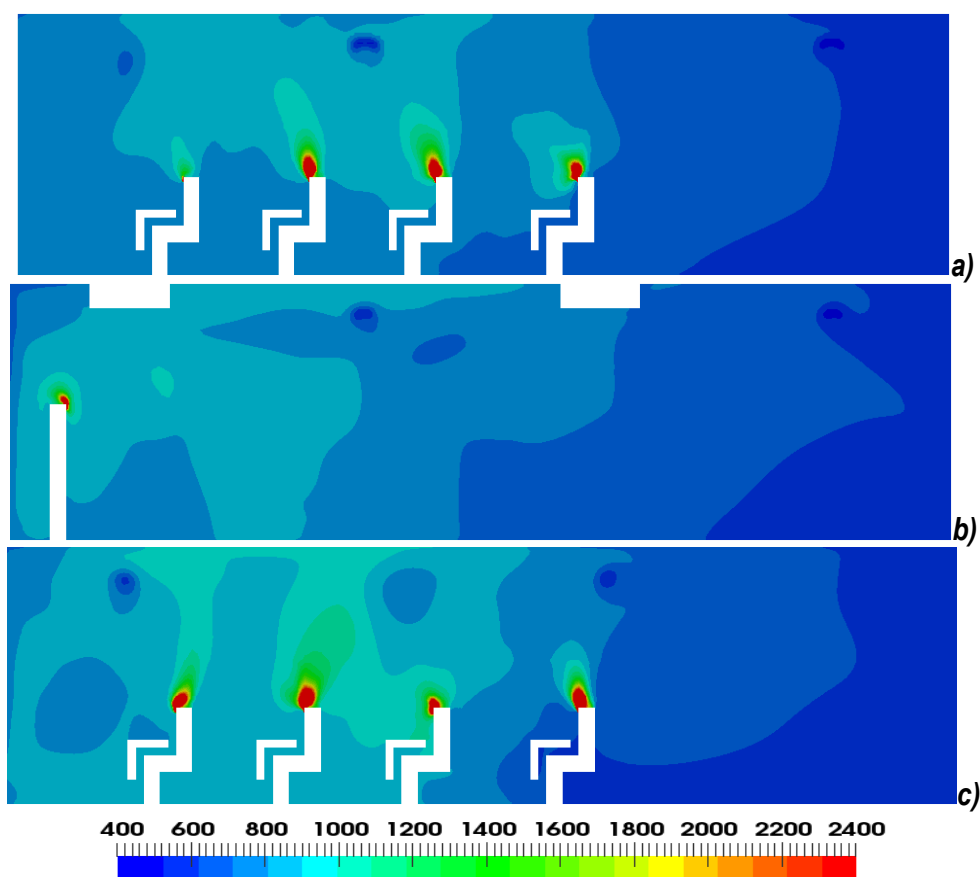
Числените резултати са онагледени посредством цветни картинни изображения на запълнени контури на полетата на променливите, които са от интерес за изследването.



Фигура 5.14. Поле на разпределение на генерирания от обитателите CO₂, [ppm] – а) X=2.1m, б) X=2.6m, в) X=3.1m

Фигура 5.14 представя полето на разпределение на генерирания от обитателите CO_2 [ppm] в случая на гъсто разпределени в една колона работни маси. Контурите на полетата на разпределение на генерирания от обитателите CO_2 показват формиране на зони с концентрация на CO_2 от и над 1200 ppm. Тези зони са ясно обособени между редовете 1 и 2, 2 и 3 и 4 и 5. Такива стойности на концентрацията на CO_2 сочат еднозначно влошаване на качеството на въздуха в помещението и по-конкретно в зоната на дишане на студентите, седящи на редове 2, 3 и 5, където качеството на въздуха е извън категоризацията по стандарт EN 15251-2007. Още повече, завишените нива на CO_2 в описаните зони са и индикатор за повишаване на нивата на всички останали емитирани чрез дишането и през кожата продукти на обмяната на веществата (bioeffluents).

Гъстото разположение на студентите в лекционните и лабораторните зали с или без работеща вентилационна система е предпоставка за повишаване на концентрацията CO_2 в зоната на дишане, което би довело до понижаване на работоспособността им, респективно на способността им да извършват ефективно интензивна умствена работа и да усвояват качествено изучавания материал. Намалената работоспособност от своя страна е индикатор за потенциални бъдещи здравни проблеми.



Фигура 5.20. Поле на разпределение на генерирания от обитателите CO_2 , [ppm] – а) $X=1.5\text{m}$, б) $X=2.8\text{m}$, в) $X=4.5\text{m}$

Фигура 5.20. изобразява полето на разпределение на CO_2 , генериран от обитателите при условие, че те са разположени на два реда работни маси с разстояние 1.1 m. Сеченията по ос X показват значително подобрене по отношение на формиране на области с концентрация на CO_2 в зоната на дишане над 1000 ppm, като за разлика от симулацията, в която работните маси са организирани в една колона с разстояние едва 40 cm помежду им, при организация в две колони само между втори и трети ред на масите, разположени в близост до западната стена на лабораторията има област, където концентрацията на генерирания от субектите CO_2 надвишава 1000 ppm. Резултатите от числената симулация на разпределените в две колони субекти в

лабораторията с контролиран микроклимат дават солидни доводи за доказване на хипотезата, изложена в началото на Глава 5, т.е. дори малка промяна в интериора (разпределението на работните места/маси) на едно помещение може да доведе до качествени изменения в микроклимата и по-конкретно в качеството на въздуха в зоната на дишане.

Изводи

Получените числени резултати показват, че в етапа на проектиране на една вентилационна система, трябва да се вземе предвид не само топлинния комфорт на обитателя, но и качеството на въздуха в зоната на дишане на всеки субект.

Все още е трудно да се организират директни измервания на концентрацията на генерирания от обитателите CO_2 в зоната на дишане. Изследванията, проведени в тази глава, показват необходимостта от разработване на измервателни уреди и техники, които да позволят валидирането на резултатите от симулациите.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси

- Създадени са нови средства (комплект инструменти) за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на студенти и офис-служители, които извършват интензивна умствена работа.
- Създадени са нови средства (софтуерни инструменти) за автоматизирано генериране на различни, но еднотипни варианти на тестовете за обективна оценка на работоспособността при избягване на т. нар. ефект на запомнянето (*learning effect*).
- Създадени са нови средства - процедура по прилагането на комплекта инструменти - за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на студенти и офис-служители.
- Създадени са нови средства - комплект инструменти за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на ученици на възраст 8-12 години.
- Създадени са нови средства - процедура по прилагането на комплекта инструменти за оценка на влиянието на микроклимата върху работоспособността на ученици на възраст 8-12 години.
- Получени са потвърдителни резултати с нови средства относно работоспособността на субекти посредством физиологично измерване на мозъчната им активност с помощта на едноточкова ЕЕГ.
- Създадена е нова изчислителна процедура за оценка на разпределението на параметрите на въздухообмена и топлинния комфорт на обитателите във вентилирани помещения при различни геометрични характеристики на вентилационната система.
- Създадена е нова изчислителна процедура за оценка на разпределението на генерирания от обитателите CO_2 във вентилирани помещения.

Приложни приноси

- Извършен е анализ на видовете тестове за оценка на работоспособността на хората които са чувствителни на промяна в параметрите на вътрешната среда и са отсети психологическите характеристики които тестват.
- Създадена е база данни от субективните оценки и обективно измерената работоспособност на целевите групи субекти – студенти, докторанти, ученици.
- Получени са потвърдителни факти относно влиянието на температурата на въздуха във вентилирано помещение върху нивото на будност на изследваните субекти – студенти.

- Получени са нови факти относно влиянието на температурата на въздуха във вентилирано помещение върху логическото мислене и производителността на ума на изследваните субекти – студенти.
- Получени са потвърдителни факти с нови средства: чрез числен експеримент се потвърждава хипотезата, че между обитателите на гъсто населените помещения – лабораторни, лекционни и учебни зали, концентрацията на CO₂ в зоната на дишане може да надвишава предписаната по стандарт стойност.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Simova I., D. Markov, P. Stankov, "Battery for assessment of the indoor environment impact on the performance of students, teachers and office workers"(2012) *Proceedings of XVII Scientific Conference with International Participation EMΦ 2012, Volume II*, ISSN 1314-5371, Sozopol, Bulgaria, pp. 64-72
2. Simova I., D. Markov, E. Manolova, P. Stankov, *Battery for assessment of the indoor environment impact on pupils' performance*"(2012) *Proceedings of XVII Scientific Conference with International Participation EMΦ 2012, Volume II*, ISSN 1314-5371, Sozopol, Bulgaria, pp. 55-63
3. Markov D., P. Stankov, I. Simova, M. Ivanov, N. Kehayova, E. Georgiev, *On the Influence of Indoor Temperature on Occupant's Performance*, (2014), *Ruse University Science Works*, October, vol. 53, series 1.2, pp. 159 – 164.
4. Simova I., "On the indoor environment impact on occupants comfort and performance" (2015) *Ruse University Science Works*, October 2015, vol. 54, series 1.2, pp. 179 – 185, ISSN 1311-3321
5. Simova I., D. Markov, N. Kehayova, R.A. Angelova, P. Stankov, "Experimental study on the indoor environment quality and students' performance in a classroom" (2016) *Ruse University Science Works*, October 2016, vol. 55, series 1.2, pp. 201 – 207, <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp16/1.2/1.2-38.pdf>

SUMMARY

CFD STUDY OF THE INDOOR ENVIRONMENT IN VENTILATED ROOMS AND ASSESSMENT OF ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH

Iskra Simova, M.Sc.

Since modern people in developed countries spend more than 90% of their lifetime indoors, the environment they are exposed to is of crucial importance for their comfort, well-being, performance and health.

The issue of human health and well-being as a function of microclimate is very complex. There are many interrelated factors that define an indoor environment as good or bad. The indoor environment impacts occupants physiologically and psychologically through several "channels", known as an indoor environment components: atmospheric environment, thermal environment, visual environment, acoustic environment and electromagnetic fields. All those components may be stressors of the environment and may lead to appearance of health-related symptoms.

There are many international standards and scientific papers that prove the importance of the microclimate for human comfort, performance and health. This PhD thesis is devoted to study some of the outstanding tasks.

The objective of the thesis is to investigate the influence of the indoor environment in ventilated rooms on occupants' performance as an indicator of their health.

In Chapter 1 is presented a review of the existing research on the indoor environment impact on human comfort, performance and health as well as the socio-economic aspect of the problem is assessed. A short review of the modern techniques for design of a comfortable indoor environment by the tools of CFD is given as well. Based on this survey important outstanding questions in the field are listed in order to motivate the aim and tasks of the PhD study. At the end of the chapter the goal of the thesis is set and the tasks to be completed in order to reach it are formulated.

In Chapter 2 a performance assessment battery (PAB) is developed: one for students, studying engineering and one for pupils at age 8-12. Both performance assessment batteries are developed to study specific psychological characteristics of the target groups. The developed PAB are included in a procedure for investigation of the indoor environment parameters impact on target groups' performance.

Chapter 3 includes a complete procedure based on CFD for design of an indoor environment that corresponds to Category I of the EN ISO 7730:2007 standard. Details concerning physical model, mathematical model, geometry built, turbulence model used, computational grid as well as the boundary conditions are given. Different working regimes and different positioning of the air handling units are simulated with the Fluent software package. Thermal comfort parameters are modeled as user defined functions and visualized and analyzed at the end.

Chapter 4 summarizes an experimental study on the indoor air temperature impact on students' performance in the designed lab with controlled environment (presented in Chapter 3). Chapter 4 includes and results from the procedure field testing for performance assessment of pupils at age of 8-12. Here a pilot study is presented as well on the possibility of objective assessment of the subjects' performance through a physical measurement of their brain activity measured by single point electroencephalography.

In Chapter 5 another numerical simulation on distribution of the CO₂ generated by the occupants in ventilated rooms is presented. Different geometries and positioning of the working tables are simulated and analyzed in the laboratory with controlled environment (the same described and simulated in Chapter 3) in order the effect of occupants' distribution in the room in regard to CO₂ generated by them.