



МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”
МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „РУДНИЧНА ВЕНТИЛАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКА БЕЗОПАСНОСТ“

маг. инж. Надежда Дамянова Костадинова

МОДЕЛИРАНЕ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ ВЪВ ВЕНТИЛАЦИОННИ СИСТЕМИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане на
образователна и научна степен **"ДОКТОР"**

Научна област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.8. Проучване, добив и обработка на полезни изкопаеми

Докторска програма: Минна аерология

Научен ръководител:

доц. д-р Елена Власева

СОФИЯ, 2021 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“ към Миннотехнологичен факултет на МГУ „Св. Иван Рилски“, София, на 30.09.2021г. т., съгласно Ректорска заповед № Р-714 от 23.09.2021 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р- 810 от 22.10.2021г. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ и ще се проведе на 14. 12. 2021 г. от 14:00 часа в зала 621, Лабораторен блок на МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209..

Утвърденото Научно жури е в състав:

1. Проф. д-р инж. Михаил Атанасов Михайлов - МГУ, катедра „РВ и ТБ“;
2. Доц. д-р инж. Благовеста Дианова Владкова - МГУ, катедра „РВ и ТБ“
3. Проф. д-р инж. Радослав Христов Къртов - Академия на МВР;
4. Доц. д-р инж. Валентин Тодоров Чочев - Академия на МВР;
5. Доц. д-р инж. Росица Тодорова Величкова - ТУ София;

Резервни членове:

1. Проф. д-р инж. Вяра Георгиева Пожидаева - МГУ;
2. Доц. д-р инж. Борислав Иванов Николов - ТУ София

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. Проф. д-р инж. Михаил Михайлов
2. Доц. д-р инж. Валентин Чочев

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“ на Миннотехнологичен факултет.

Автор: маг. инж. Надежда Костадинова

Заглавие: Моделиране на аварийни смущения във вентилационни системи

Тираж: 20 броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“, София.

СЪДЪРЖАНИЕ

МОДЕЛИРАНЕ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ ВЪВ ВЕНТИЛАЦИОННИ СИСТЕМИ	1
I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	4
Актуалност на темата	4
Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване	4
Структура и обем на дисертационния труд	5
II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	6
ГЛАВА 1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА	6
ГЛАВА 2. Цел и задачи на дисертационния труд	8
ГЛАВА 3. ВЪЗМОЖНОСТИ НА ИЗБРАНИЯ СОФТУЕР ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ НА ПРИМЕРА НА МАЛКА МРЕЖА	9
3.1. Възможности за моделиране на процеси и смущения с VentSim Premium	9
3.2 Моделиране на нормални и аварийни процеси в малка мрежа	11
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ ВЪВ ВЕНТИЛАЦИОННАТА СИСТЕМА НА ДЕЙСТВАЩ РУДНИК	14
4.1. Съставяне на адекватен числен модел и нормална вентилация	14
4.2 Аварийна вентилация и евакуационни маршрути	19
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ В ТРАНСПОРТЕН ТУНЕЛ	23
5.1. Допълнителни изчисления и изведени зависимости	23
5.2. Числено моделиране на тунелна вентилация	28
ГЛАВА 6 АВАРИЙНА ВЕНТИЛАЦИЯ НА ВИСОКА СГРАДА	30
6.1. Изследване на теченията и определяне на аеродинамичното им съпротивление	31
6.2. Числен модел на аварийната вентилация на висока сграда и съгласуване на числените решения с реални измервания	35
III. НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ	43
IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	44
SUMMARY	45

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на темата

С усложняването на пътния трафик все по-често се налага строителство и експлоатация на транспортни тунели с разклонена мрежова структура. От друга страна бързата експанзия на строителството на високи сгради, за които се изисква план за безопасна евакуация на обитателите им при аварийна ситуация, определя нуждата от задълбочен предварителен анализ на такива вероятни аварийни събития. Такъв анализ може да се извърши с помощта на компютърно моделиране като се използва дългогодишния опит при моделирането на вентилационни системи в подземни минни обекти.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Разработване на единен метод за мрежово компютърно моделиране на аварийни рискови смущения във вентилационните мрежи на подземни рудници, пътни тунели и високи сгради с отчитане на тяхната специфика.

За постигане на така формулираната цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Да се анализират възможностите на съществуващи вентилационни софтуерни програми за моделиране на аварийни и рискови събития във вентилационни мрежи. (глава 3)

2. Да се разработят алгоритми за отчитане спецификата на трите вида мрежи и софтуерното им приложение (глави 4, 5 и 6)

3. На основата на резултатите от численото моделиране да се създаде база за проектиране и планиране на технически решения за потискане на вредоносното въздействие и минимизиране на хуманните и конструктивни рискове в трите мрежови обекти. (глави 4, 5 и 6).

Методи, чрез които са решени поставените задачи в дисертационния труд:

- Емпиричен метод – анализ на публикации, обработване на статистически данни, структуриране и графично представяне,
- Итеративен метод - итеративно решение с разделяне на дължината на сектори с размер Δx и с индексване на разстоянията;
- Моделиране със специализиран софтуер, трансфер на данни между различни приложения, графично представяне на резултати

- Изчислителен метод – извеждане на зависимости, включващи законите за съхранение на масата и енергията на теченията и баланс на загубите на налягане и на енергията от работата на вентилатора; апроксимиране на данни от реални измервания;
- Сравнителен анализ на модели за определяне на температурата на пожарни газове

Научна новост:

Представена е възможност да се създаде база за проектиране и планиране на технически решения за потискане на вредоносното въздействие и минимизиране на хуманните и конструктивни рискове във вентилационни системи на мрежови инфраструктурни обекти (подземни рудници, транспортни тунели и високи сгради) чрез уникално приложение на минен вентилационен софтуер за моделиране на аварийни събития.

Практическа приложимост

Представеният метод може да се прилага за анализ на аварийна вентилация в проектен етап на висока сграда и транспортен тунел и при изготвяне на аварийен план за безопасна евакуация. Анализът на аварийни вентилационни смущения в малка мрежа може да послужи при обучение на минни вентилационни специалисти и на обучаващи се в това направление студенти.

Апробация

Изследванията, необходими при разработването на дисертацията са извършени в катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“ на Миннотехнологичен факултет в МГУ „Св. Иван Рилски“

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 3 броя научни статии, от които 1 самостоятелна.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **198** страници, като включва увод, **6** глави за решаване на формулираните задачи, изводи от моделирането и получените резултати, формулирани в научно-приложни и приложни приноси, използвана литература, списък на публикациите по дисертацията. Литературата, ползвана за разработване на доктората съдържа **131** литературни източници - **106** на латиница и **25** на кирилица, **15** нормативни документа. Работата включва общо **205** фигури и **13** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

В сложните (разклонени) вентилационни мрежи се проявяват различни по вид, характер и поведение процеси и явления, които оказват влияние върху работата на вентилационната система. Някои от тези процеси са свързани с нормалното функциониране на работата и за осигуряване на безопасни условия на труд – необходими количества въздух по експлоатационни фактори и нормални температурни режими. Други обаче може да провокират сериозни нарушения на работата на системата – пожари, експлозии, рязка промяна на аеродинамични съпротивления. Поведението на системата в такива случаи е трудно предвидимо, а в реална аварийна ситуация трябва да се действа по предварително очертан аварийен план. Анализът на такива събития в разклонени мрежови системи изисква от една страна познаване на обекта с всичките му особености, а от друга – изясняване на потенциално опасни от гледна точка на възникване на аварийни събития места с тяхната динамика. Следва прогнозиране на развитието на опасността във времето и пространството, както и набелязване на неутрализиращи инженерни решения. Тези решения могат да се анализират предварително много успешно със специализиран вентилационен софтуер, който има много разновидности при моделирането на мрежови системи и на процесите в тях – нормални или аварийни.

В тази глава на дисертационния труд е направен литературен анализ на актуални публикации по темата. Установен е сериозен изследователски интерес в няколко направления, а именно:

- Проблеми, свързани с увеличаване на дълбочината в подземните минни обекти и развитието на вентилационните системи в тях.
- Изследване на разпространението на пожарни газове и топлина – динамично представяне и проследяване .
- Методи за оптимизация, планиране и управление на вентилационните системи
- Моделиране на развитието на пожар във времето
- Моделиране на течението около вентилаторите (транспортен тунел)
- Изчисления и специфициране на просмуквания през прегради и врати
- Моделиране на влиянието на коминен ефект и въздушни течения около обекта (висока сграда)

Последователно са представени три разглеждани мрежови вентилационни обекти:

- Подземен рудник – разклонена система с няколко входа и изходи, развита на нива в дълбочина; дългогодишна история на числено моделиране със специализиран вентилационен софтуер.
- Транспортен тунел - подземен обект с голяма дължина и аварийни връзки между тръбите на тунела и към повърхността; разгледани за схеми на проветряване и подробно е представено депресионно и дебитно оразмеряване на нормална и аварийна тунелна вентилация, както и насоките, в които има необходимост от допълнителни изследвания за съставяне на компютърен аналог на тунела;

- Висока сграда - мрежов обект развит на нива във височина с мултифункционално предназначение, в който при авария (основно пожарен инцидент) силно влияние оказва коминния ефект. Изисква се проектиране на аварийна пожарна вентилация съгласно нормативните изисквания.

Анализирани са статистически данни за местата, причините и материала за възникване на пожарен сценарий в разглежданите мрежови обекти и са обобщени следните прилики и разлики между тях (таблица 1):

Таблица 1: Прилики и разлики между разглежданите обекти

ОБЕКТ	ПРИЛИКИ	РАЗЛИКИ
Тунел и подземен рудник	• Сравними по вид източници за възникване на пожар • Подобни причини • Съизмерима пожарна мощност	– Тунел - пожарен инцидент може да се случи навсякъде, – Рудник - експертно може да се определят потенциално пожароопасните места и да се предвидят мерки за минимизиране на последиците. Персоналът е обучен за действие в аварийна ситуация.
Тунел и висока сграда	• Мястото на пожара може да бъде навсякъде и е трудно прогнозируемо. • Необучени обитатели/ пътници за реакция при аварийна ситуация	– Тунел – по-голяма пожарна мощност; – Сграда - влияние на коминния ефект;
Висока сграда и подземен рудник	- Коминен ефект	– Рудник: развитието на пожара до пълна мощност и затихването са важни както за евакуацията така и за неутрализиране на последиците; – Сграда: началната фаза е от съществено значение; пожарът може да се неутрализира от повърхността.

Направен е преглед на най-често използваните софтуерни програми, като са разгледани областите им на приложение, залегналите математически модели и възможностите за решаване на различни проблеми, както трансфер на данни между тях и сравнимост на получените резултати. За решаване на поставените задачи в доктората са избрани програмите **VentSim Premium** и **MineFire Pro**.

Въз основа на литературния преглед и на извършените изследвания могат да се направят следните по-важни ИЗВОДИ:

- И1.1. Въпреки, че минни вентилационни системи се моделират със специализирани компютърни програми вече повече от 60 години интереса и към момента в специализираната литература е голям;
- И1.2. В публикациите не се дискутира намирането на съответствие между отделните елементи на физическия модел и компютърния им аналог;
- И1.3. Удължаването на тунелите и изграждането на аварийни изходи през определени разстояния доближава тунелите до мрежова конструкция;
- И1.4. За да се премине към компютърно моделиране на тунелната вентилация (нормална и аварийна) следва да се направят предварителни изчисления с проверени в практиката зависимости;
- И1.5. Интересът към аварийната пожарна вентилация на високи сгради е голям, поради увеличаването на броя на високите сгради и на височината им;
- И1.6. Изискването за определяне на еквивалентен отвор поставя основите за разглеждане на вентилацията на висока сграда като мрежов проблем.
- И1.7. Изследваните обекти (рудници, тунели, високи сгради) притежават специфични мрежови конфигурации, но имат и сходни характеристики. За всеки от тези обекти трябва да се акцентира на особеностите, съобразени с възможностите на избрания софтуер;
- И1.8. За тези обекти е задължително да се проектира нормална и аварийна вентилация, а компютърното моделиране може да помогне за изясняване динамиката на последиците на аварийни събития върху мрежите им.

ГЛАВА 2. Цел и задачи на дисертационния труд

Цел на дисертационния труд:

Разработване на единен метод за мрежово компютърно моделиране на аварийни рискови смущения във вентилационните мрежи на подземни рудници, пътни тунели и високи сгради с отчитане на тяхната специфика.

За постигане на така формулираната цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Да се анализират възможностите на съществуващи вентилационни софтуерни програми за моделиране на аварийни и рискови събития във вентилационни мрежи. (глава 3)
2. Да се разработят алгоритми за отчитане спецификата на трите вида мрежи и софтуерното им приложение (глави 4,5 и 6)

3. На основата на резултатите от численото моделиране да се създаде база за проектиране и планиране на технически решения за подтискане на вредоносното въздействие и минимизиране на хуманните и конструктивни рискове в трите мрежови обекти. (глави 4, 5 и 6).

Обект на настоящето изследване са вентилационните мрежови системи на подземен рудник, на транспортен тунел и на висока сграда.

ГЛАВА 3. ВЪЗМОЖНОСТИ НА ИЗБРАНИЯ СОФТУЕР ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ НА ПРИМЕРА НА МАЛКА МРЕЖА

В трета глава на дисертационния труд са показани възможностите на програмата VentSim Premium от гледна точка на начините за задаване на аварийен източник и оценяване на влиянието му върху обекта. Възможностите са представени на примера на сравнително проста вентилационна мрежа - учебен рудник, развит на три нива. Включена е и система за местно проветряване, която е съществена част от цялата система и която се представя като в реален обект - минна изработка-тръбопровод-изход към останалата част от рудника. Изследванията са насочени освен към начините за работа с програмата и влиянието на аварийни ситуации в типични мрежови конфигурации като паралелни, диагонални и последователни клонове. В този смисъл примерът може да служи за обучение на специалисти по вентилация за изграждане на умения за анализиране на поведението на вентилационни системи при авария.

3.1. Възможности за моделиране на процеси и смущения с VentSim Premium

Програмата VentSim Premium позволява да се моделират различни процеси и явления, които се проявяват в един действащ подземен минен обект. В дисертационния труд са показани начините за въвеждане на:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| • основни данни за вентилационен клон | • въвеждане на топлинен източник |
| • данни за климатични изчисления | • въвеждане на газов източник |
| • данни за вентилатори | • източник на замърсяване |
| • въвеждане на пожарен източник | • въвеждане на радиоактивен източник |
| • сензорна връзка | • пренос на данни от избрани сектори на мрежата |

След въвеждане на данните за модела логично са представени възможните сценарии (фиг. 3.2) за изследване развитието на процесите във времето и пространството.



Разпространение на:

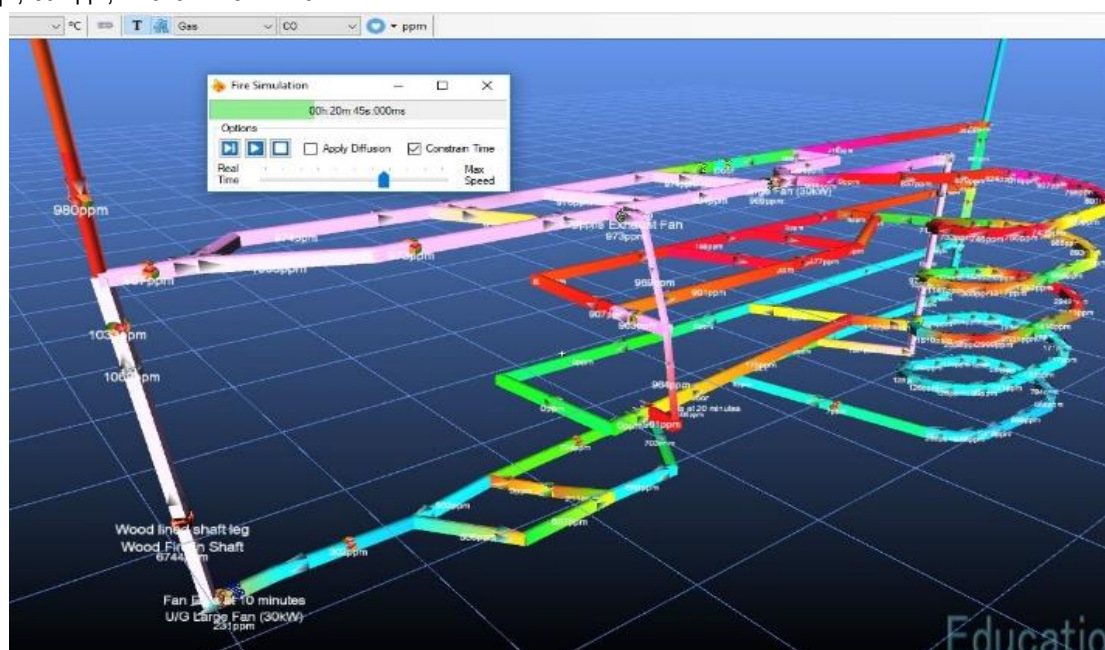
- Вредности
- Свръх налягане при взривявания
- Изгорели газове от ДВГ
- Прах
- Газове
- Радиоактивност
- Топлина

Начало на процеса

Данни за моделирането

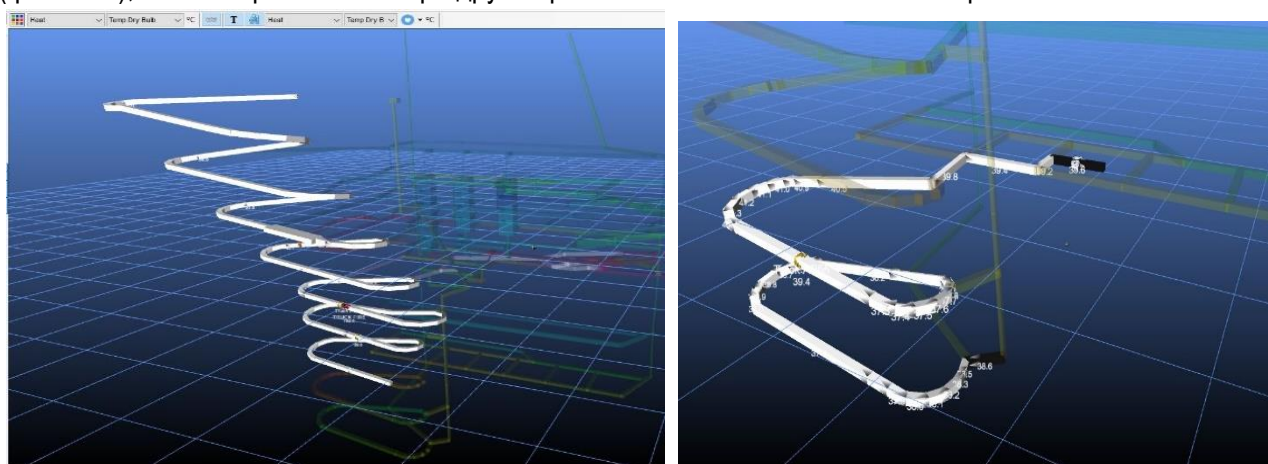
Фигура 3.2 Възможни сценарии за изследване

Програмата дава възможност за проследяване на разпространението основните газове отделяни при работата на минна механизация с дизелови двигатели - CO (фиг. 3.7), азотни окиси, прахови частици, сажди, влага и топлина.



Фигура 3.7 Цветова схема – въглероден моноксид

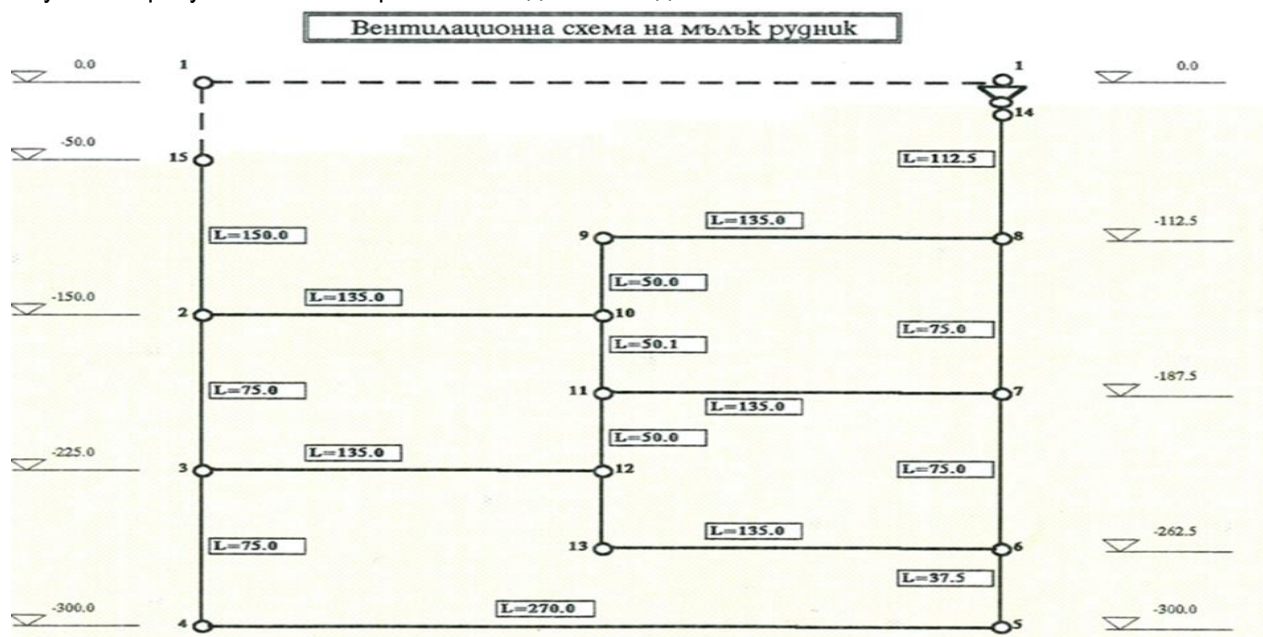
Подробно е описано моделиране на пожарни сценарии, което може да включва различни по вид и поведение пожарни източници и материали, характеристики. Пожарът се проследява в следните фази: запалване, разгаряне ($dQ/dt > 0$), достигане на максимална мощност ($Q = Q_{max}$) и затихване ($dQ/dt < 0$). Разпространението на продуктите от пожара и въздействието на пожарното събитие върху системата може да се проследи във времето и за предварително избрано място в мрежата. Въз основа на получените решения за аварийни сценарии се избират и пътища за безопасна евакуация. Тази функционалност на VentSim Premium позволява за конкретно аварийно събитие да се анализират няколко възможни маршрута за евакуация на хората или към повърхността или до спасителни камери (фиг. 3.10), което е приложимо и при други мрежови обекти които изискват аварийен план.



Фигура 3.10. Графично изображение на евакуационен маршрут

3.2 Моделиране на нормални и аварийни процеси в малка мрежа

Представените в точка 3.1. възможности са онагледени върху модел на малка вентилационна мрежа на учебен рудник развит на три нива (фиг. 3.13а), като е извършен анализ на поведението на аварийни събития в особени мрежови конфигурации като паралелни, диагонални, хоризонтални и вертикални сектори. Моделирани са технологични процеси и аварийни ситуации. Анализирани са получените резултати и са направени изводи за поведението на системата.



Фигура 3.13а) Схема на малък рудник

- Съставен е адекватен числен модел – съответства на нормален режим на работа на вентилационната система.
- Моделиран е технологичен процес – отчитане на бутален ефект от движението на минна механизация; проследяване на разпространението на газове, прах и други вредности от един или повече източници с различна динамика и режим на процеса (нестационарен и квазистационарен режим).
- Симулирано е нестационарно разпространение на газове от взривни дейности и времето за възстановяване на нормалната работа на системата;
- Моделирани са пожарни аварийни събития в различни участъци на вентилационната система
- Анализирано е влияние на аварията върху параметрите на вентилационната система – нестабилни течения, опасни концентрации, нарушения в работата на вентилационните съоръжения;
- Представени са начините за въвеждане на технически решения (вентилационни маневри) за неутрализиране влиянието на пожара и осигуряване на безопасна евакуация.

Детайлно са разгледани:

- Пожар в хоризонтален участък – диагонален клон - с проследяване на влиянието на пожара в различни участъци. Няма дестабилизиращо влияние върху цялата система.
- Пожар във възходящо течение фиг.3.29. Най-голяма нестабилност на вентилационната система включително с рециркулация, която връща пожарни газове в пожарното огнище.



Фигура 3.29. Дебити в четири части от мрежата по време на пожара

Поради това, че пожарът във възходящ поток оказва най-голямо влияние и дестабилизира системата на няколко нива, на този пример са моделирани вентилационни маневри, за да се:

- осигури безопасно извеждане на хората от обекта
- да се намали пожарната мощност и да се предотвратят вторични аварии
- да се минимизират последиците от пожара

Анализът на моделираните вентилационни маневри е обобщен в таблица 2:

Таблица 2 Вентилационни маневри - анализ

Вентилационна маневра	Анализ на последиците
Реверсиране на главен вентилатор	Неподходяща маневра – увеличава дебита в пожарния клон, увеличение на пожарната мощност и по-бързо разпространение на пожарни газове в цялата мрежа.
Затваряне на врати преди пожара	Неподходяща маневра – рециркулация на пожарни газове, увеличен дебит в пожарния клон; блокирана работа на вентилатор; допълнителна дестабилизация
Затваряне на врати зад пожара	Стабилизиране на системата – без рециркулация на пожарни газове, но увеличаване на температурата в пожарния клон и разрушаване на инфраструктурата след него.

Изводи към глава 3 – Моделиране на аварийни смущения в малка мрежа

ИЗ-1. Анализиране на аварийни събития в сравнително прости мрежови конфигурации може да се използва при обучение на студенти и вентилационни специалисти за придобиване на умения за прогнозиране поведението на вентилационната система в екстремни условия;

ИЗ-2. На основата на компютърното мрежово моделиране са формулирани изводи за поведението на пожар в различни по тип вентилационни клонове (паралелни, последователни, диагонални);

ИЗ-3. Пожар в диагонален участък не променя съществено поведението на системата, а причинява само локална дестабилизация;

ИЗ-4. Управление на вентилацията при авария може да се симулира със специализирания софтуер чрез въвеждане на конкретни технически решения (т.н. вентилационни маневри). Тяхната ефективност се проверява на създадения числен модел от гледан точка на поставената цел – стабилизиране на теченията, подтискане на вредоносното въздействие на аварията.

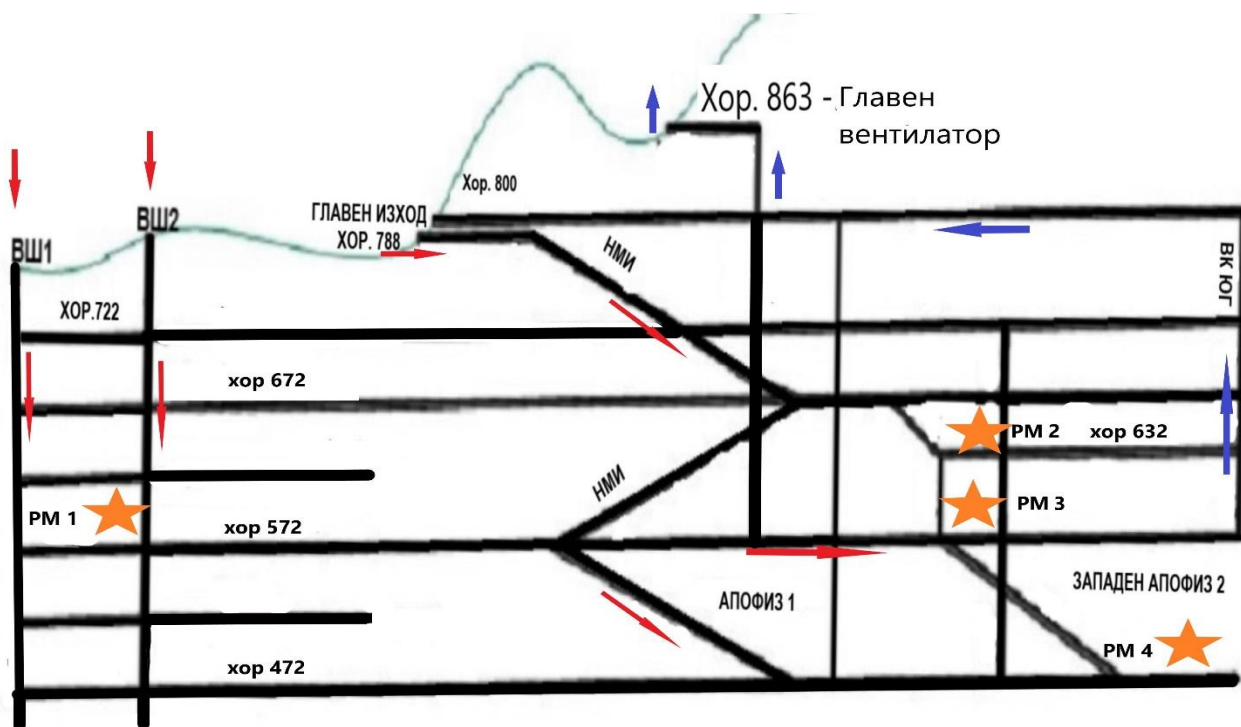
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ ВЪВ ВЕНТИЛАЦИОННАТА СИСТЕМА НА ДЕЙСТВАЩ РУДНИК

В глава 4 подробно са разгледани последователните етапи за изследване на аварийни смущения в действащ подземен рудник за полиметални руди. Те могат да бъдат обобщени в следните точки:

- **Изясняване на началното състояние** – установени са местата, където се извършват минни дейности, разгледани са актуалното състояние на вентилационната система; прецизирана и опростена е принципната схема на обекта.
- **Създаване на адекватен числен модел** – извършена е задължителна проверка на числения модел с реални измервания на ключови места в обекта. Проверено е дали в нормален режим на работа постъпващото въздушно течение е правилно преразпределено до всички работни места и е извършено регулиране на въздухоразпределението с пасивни и активни регулиращи съоръжения.
- **Изследване на технологичния режим на работа** – проследена е едновременна работа на минна механизация с дизелов двигател в три работни места, като е проверено дали вентилационната система работи в съответствие с регламентите и правилниците за безопасност.
- **Изследване на потенциални аварии** – съгласно експертно мнение на минни специалисти са определени местата за възникване на потенциални аварии в зависимост от наличието на горим материал и причината за възникване на аварийно събитие; обосновано е избрано е пожарно събитие за моделиране с вентилационен софтуер VentSim Premium.
- **Моделиране на аварийна ситуация** – анализирано и проследено е във времето и пространството въздействието на аварията върху системата в различни части на обекта.
- **Аварийна вентилация** – моделирани са инженерни мероприятия, за да се организира аварийна вентилация с цел контролиране на последиците от аварията и осигуряване на безопасно извеждане на хората от подземния минен обект.
- **Безопасна евакуация** – за всички обособени работни места (4 броя) са разгледани възможни евакуационни маршрути и е направен обоснован избор на маршрут за евакуация.

4.1. Съставяне на адекватен числен модел и нормална вентилация

Разгледаният обект е находище за полиметални руди с дълга история на разработване. Фиг. 4.1. показва принципна схема на минните изработки в обекта. Изображението е изготвено с програмата AutoCad и от него може да се добие представа за сложната топология на обекта. Обозначени са изолираните пространства, местата, където има струпване на работни места, местоположението на главния вентилатор, както входовете и изходите от обекта. След структуриране на мрежата, схемата е опростена до фиг. 4.3, която служи и за основа на създадения числен модел.



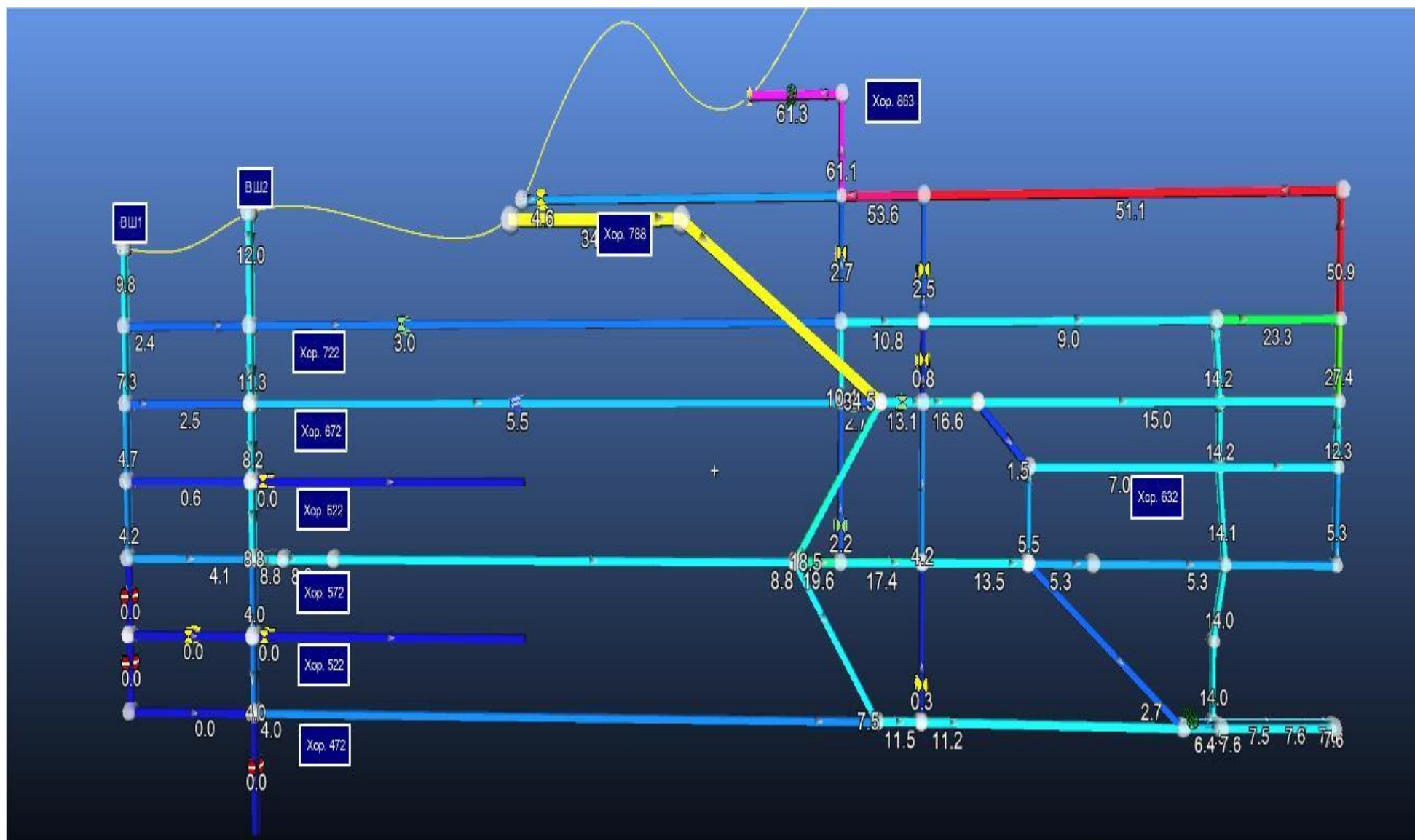
Фигура 4.3. Разположение на работните зони с означени работни места

Численият модел на рудника е представен чрез 85 клона, разположени на 6 нива на дълбочина 450 m. Общорудничната схема за проветряване е смукателна. Вентилаторът за главно проветряване е разположен на повърхността при кота 863 и работи на смукателен режим.

Чистият въздух постъпва по шахти № 1 и № 2, и автомобилен уклон (НМИ), разпределя се по травербаните на хоризонтите до работните места. На хор.572 от зона 1 по галерия за връзка до Източен апофиз, а от там се разделя към НМИ- север и НМИ - юг и достига до работните места. Измереното количество въздух, което постъпва в рудника е $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Това количество трябва да се преразпредели така, че да се осигурят четирите работни места с чист въздух, което се постига с поставянето на регулиращи съоръжения в няколко клона на мрежата. След симулиране на въздухоразпределението фиг.4.5, получените резултати са сравнени с действителни измерени стойности, като относителната грешка не превишава 4%, което потвърждава адекватността на модела.

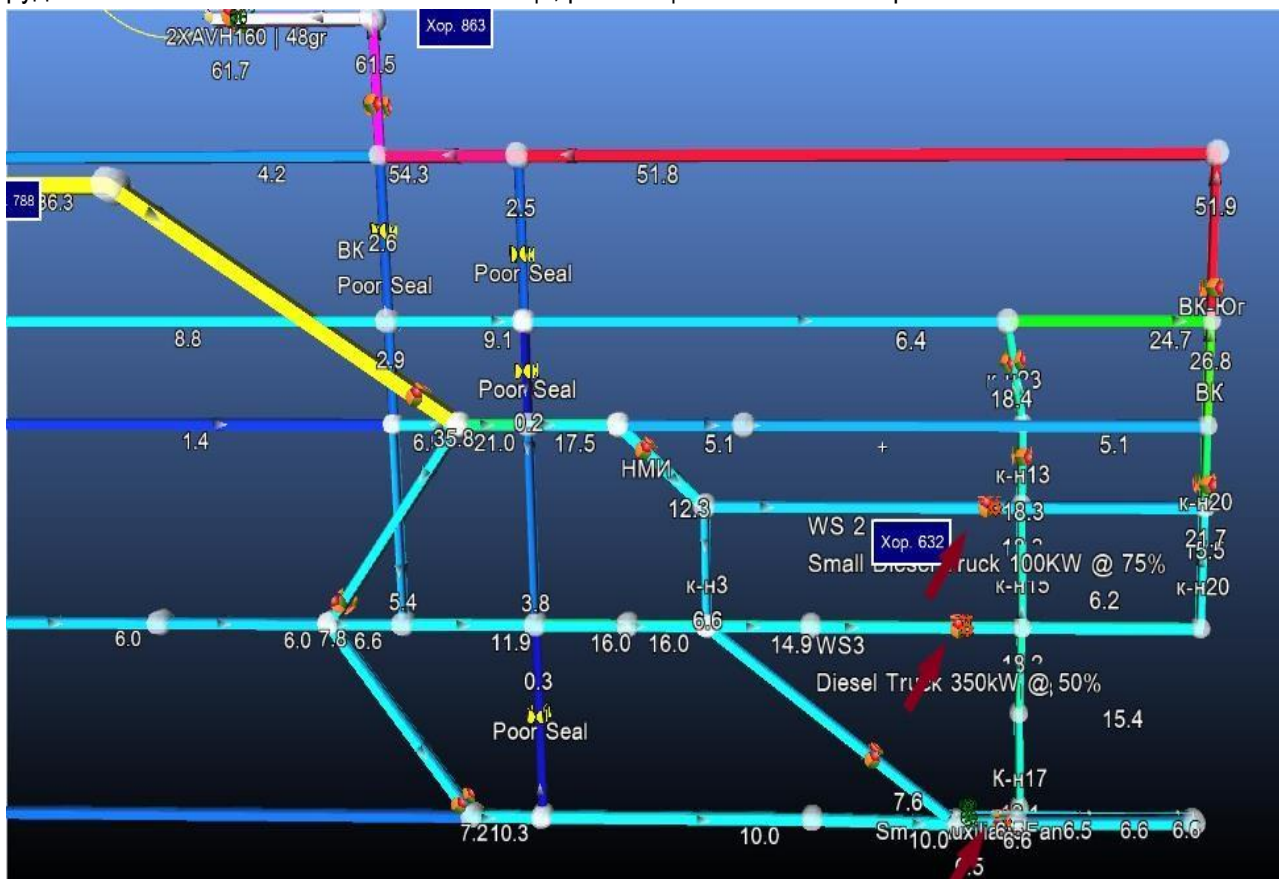
Таблица 4.2. Сравнение измерени - изчислени дебити

Наименование	Клон	Измерен дебит Q, [m^3/s]	Изчислен дебит Q, [m^3/s]	Относителна грешка, %
ВШ1	22	9,6	9,8	2,0
ВШ2	28	12,2	12	1,6
Главен вентилатор	1	59,84	61,04	2,61
НМИ	49	33,45	34,5	3,1
Хор. 472	59	7,2	7,5	4,0
572	19	9,1	8,8	3,2
632	17	7,1	7	1,4



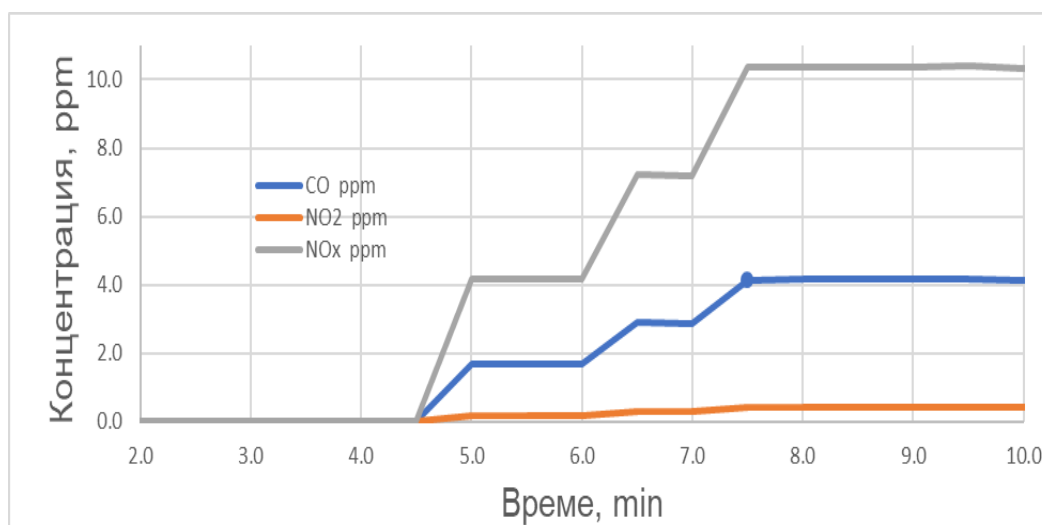
Фигура 4.5 Числен модел на рудника създаден с VentSim Premium

Изследване на технологичния режим на работа: На фиг. 4.8. е показана част от мрежата на рудника с нанесени технологични източници, работещи на съответните работни места.



Фигура 4.8. Местоположение на източниците на технологични емисии

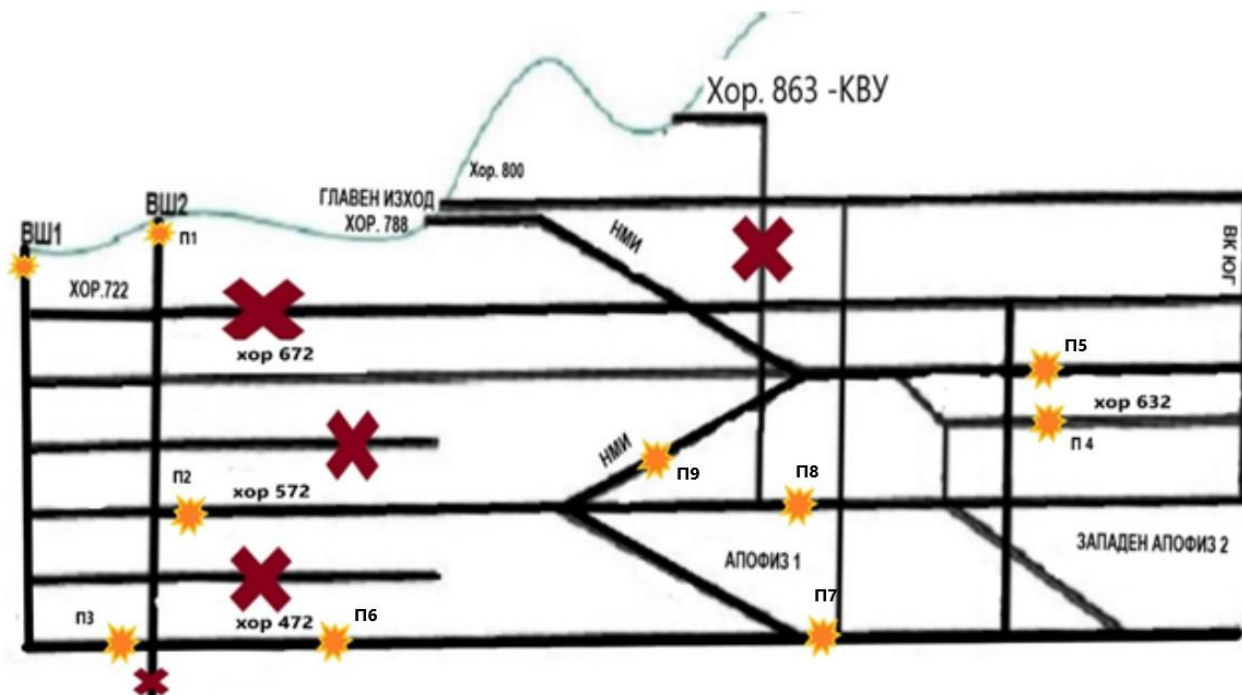
Проследено е разпространението на вредни газове и прах отделяни при едновременна работа на три дизелови двигатели, установени са местата където се събират потоците изнасящи отработените газове и е проверено дали в нормален технологичен режим вентилационната система работи съгласно правилниците за безопасност. Няма смесване на чисти с отработени течения, а от фиг. 4.11 се проследяват изменението на концентрациите на CO , NO_2 и NO_x в мястото на смесване на отработените течения от трите работни места.



Фигура 4.11. ВК Юг – Концентрация на CO , NO_2 и NO_x

4.2 Аварийна вентилация и евакуационни маршрути

В сложната вентилационна система на рудника са възможни редица смущения, които имат различни по въздействие и значимост последици върху цялостната система. Събитията с най-комплексни последици за цялата системата обикновено са пожарите. На фиг. 4.12 са показани възможните пожарни събития в рудника, в зависимост от наличието на горим материал и причина за възникване на пожар определени на основата на експертна оценка.



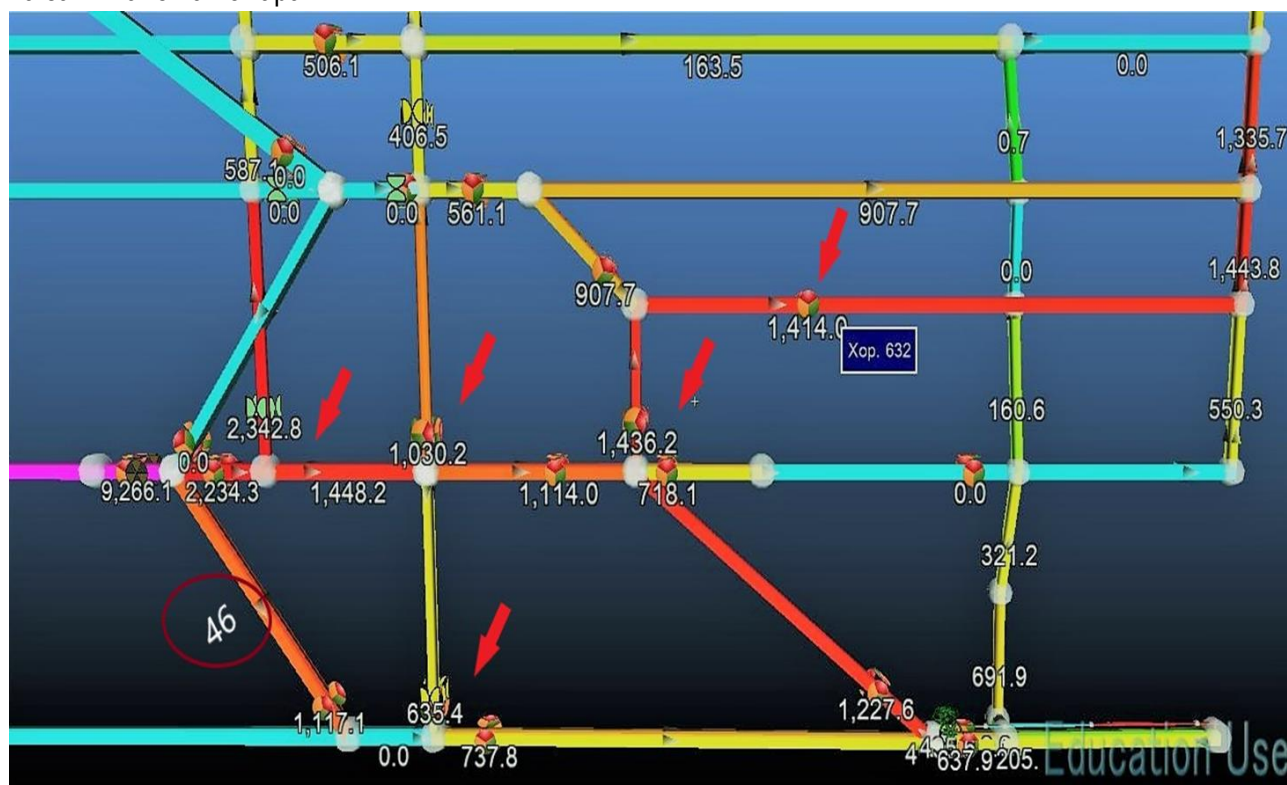
Фигура 4.12. Възможни пожарни събития в рудника

Избрано за моделиране и анализиране е пожарно събитие П2 - пожар в зарядна станция за дизелово гориво, хор. 572 – Рудодвор; поради:

- Непосредствена близост до основен източник на чист въздух – ВШ2;
- Непосредствена близост до миньорите обслужващи ВШ1 и ВШ2, както и до персонала на рудничните дворове.
- Мястото на пожара не е изолирано - продуктите на горенето достигат до всички работни места. Има връзка до всички нива на обекта, както и до главните евакуационни маршрути.
- Голямо влияние на пожара върху вентилационната система на рудника, поради масата, калоричността и вида на запалимия материал.
- Допълнителен риск от разрастване на пожара вследствие на запалване на минна механизация. Това би довело до увеличаване на пожарната мощност и до по-тежки последици върху цялата система;
- Висока топлинна мощност на пожара, което е предпоставка за достигане до концентрации на вредностите, в пъти по-големи от гранично допустимите.
- Затруднено уведомяване на работещите на работно място РМ2 (липсва директна телефонна връзка на работното място).

В дисертационния труд е описана последователността на задаване на това пожарно събитие, представена е извършената симулация и са анализирани резултатите от нея. Отчетено е

въздействието на пожарното събитие върху цялата система, установени са местата, където настъпва дестабилизация фиг.4.17 и е проследено разпространението на пожарните газове дори и след фазата на затихване на пожара.



Фигура 4.17. Концентрация на CO, ppm 24 минути след началото на пожара

След анализ на въздействието на пожарното събитие върху системата е извършено моделиране и анализиране на инженерни решения за определяне на аварийна вентилация. Задачите които трябва да изпълни аварийната вентилация за разглеждания рудник са следните:

- Стабилизиране на системата;
- Осигуряване на по-добри условия за провеждане на евакуация от работните места (подобряване на видимостта и намаляване на концентрацията на CO и димни газове в критичните участъци)
- Ако е възможно намаляване на пожарната мощност HRR с цел минимизиране на материалните щети от пожара.

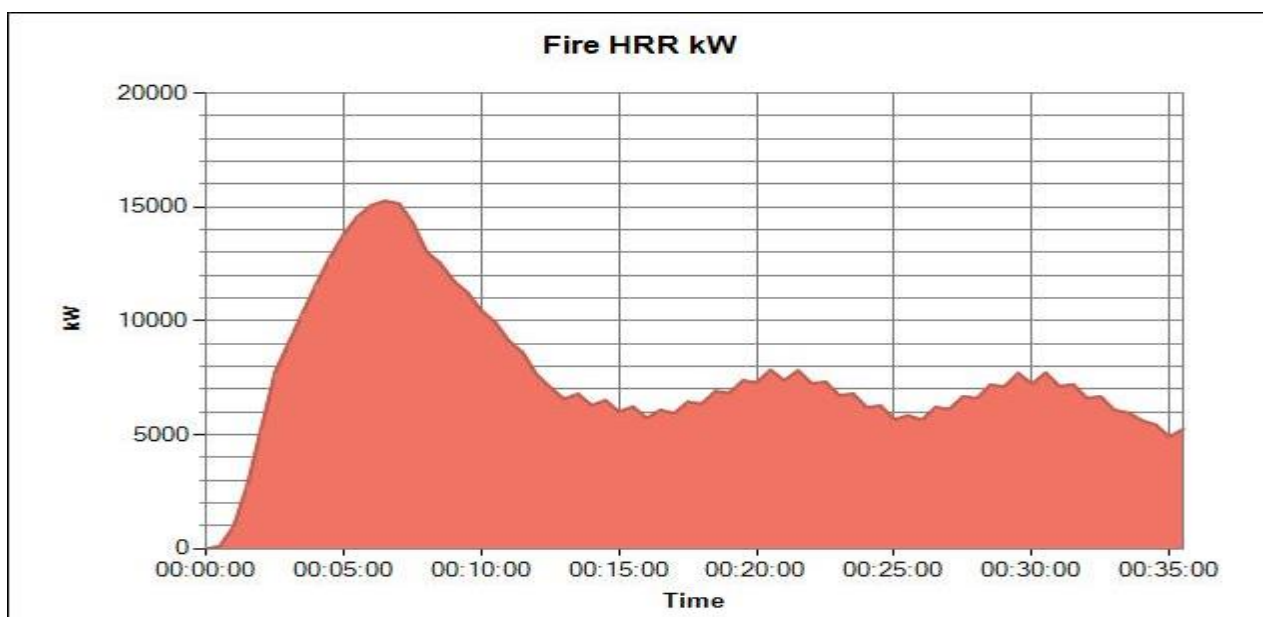
Симулирани са 3 вентилационни маневри:

- Реверсия на главния вентилатор;
- Поставяне на регулатор (противопожарна врата) след пожара;
- Комбинирани мероприятия – реверсия и регулатор, няколко регулиращи съоръжения.

Анализът на решенията показва, че за конкретното пожарно събитие реверсирането на главен вентилатор, както и поставяне на регулатор след пожара не удовлетворяват поставените задачи за аварийна вентилация, дори водят до увеличаване на пожарната мощност и до по-сериозни последици от пожарното събитие.

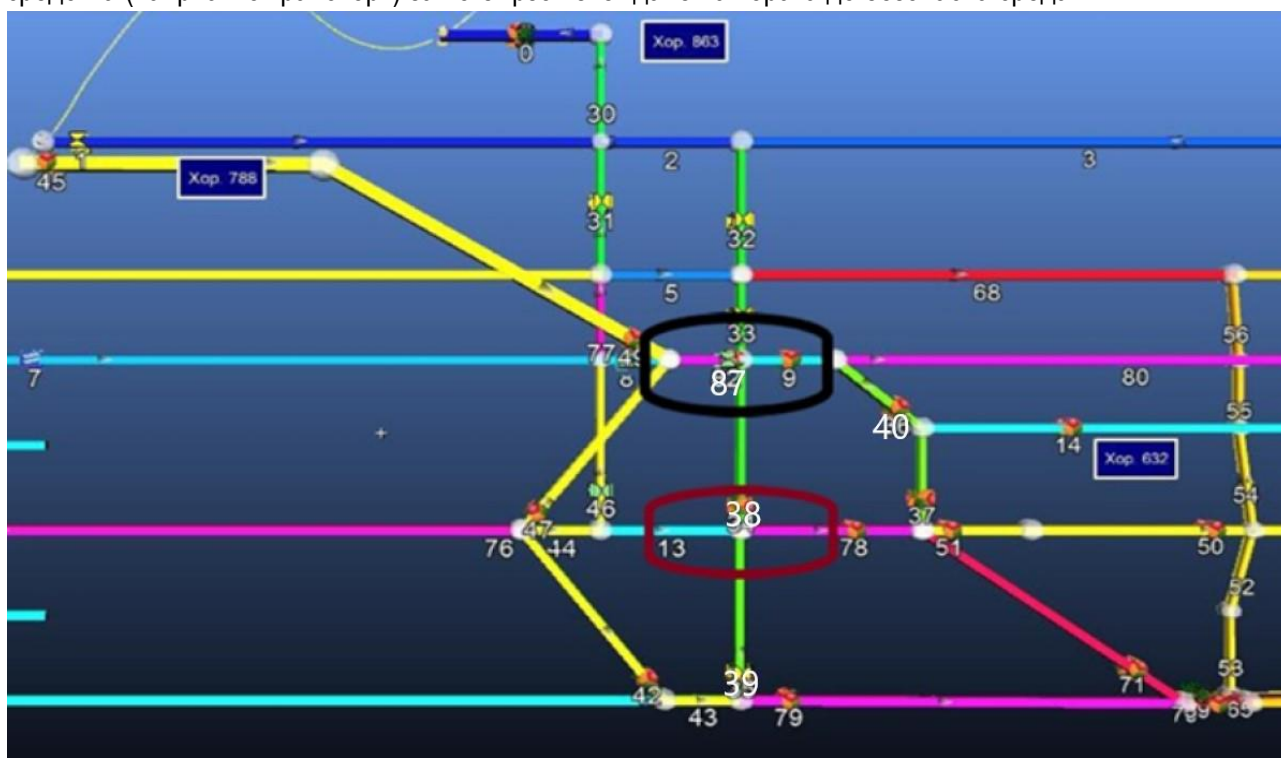
Като най-подходящо инженерно решение за описване на аварийната вентилация за пожар П2 е избрано едновременно затваряне на две противопожарни врати преди и след мястото на пожара като е прецизирано времето за изпълнение на маневрата за максимална ефективност. Както е видно от

фиг. 4.31. пожарната мощност намалява 3 пъти, забавя разпространението на пожарни газове в мрежата и осигурява достатъчно време за безопасна евакуация на персонала от всички работни места.



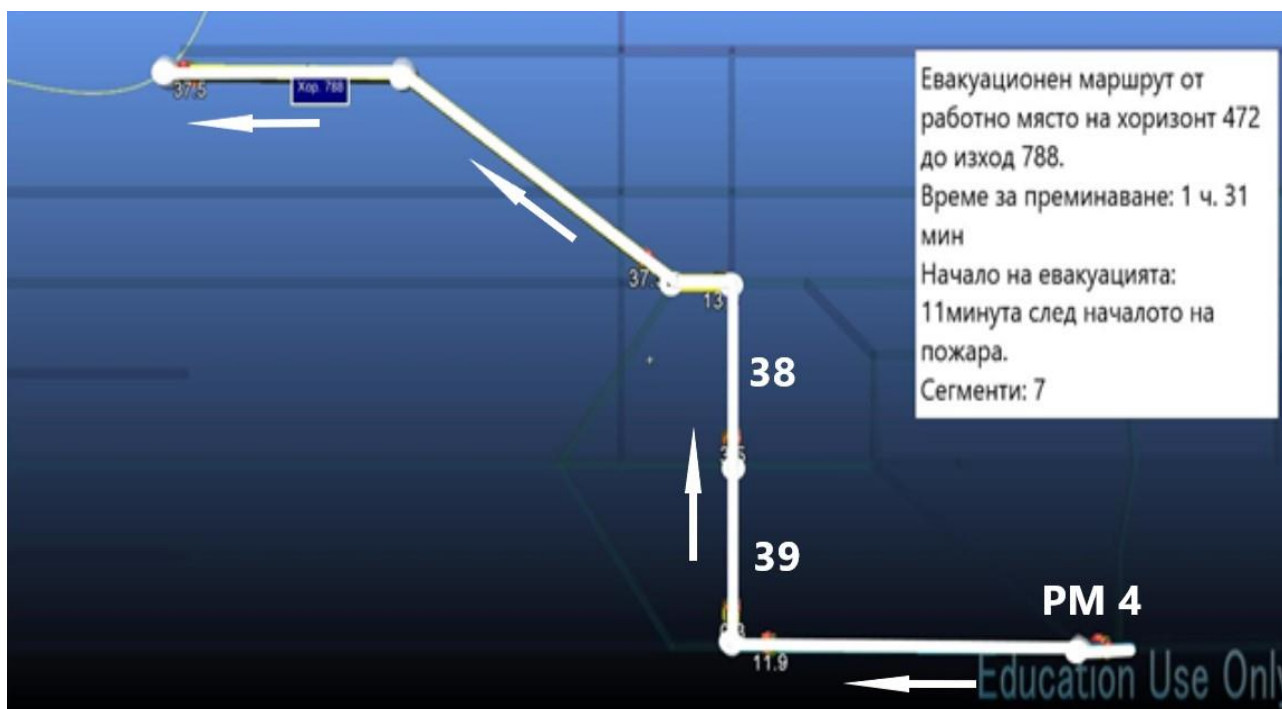
Фигура 4.31. Изменение на пожарната мощност след затваряне на две противопожарни врати

За всяко едно от четирите работни места са анализирани възможни маршрути за безопасна евакуация до повърхността при конкретния пожарен сценарий, като са установени наличието на критични участъци за преминаване в среда опасна за здравето и живота на персонала – фиг.4.35 показва критични участъци за РМ2, РМ 3, РМ 4. Освен дължината на маршрута и времето за преминаване през него, допълнително при избора се взема под внимание наличието на технически средства (напр. авто транспорт) за по-бързо извеждане на хората до безопасна среда



Фигура 4.35 Критични участъци при евакуация от РМ 2, РМ3 и РМ 4

Препоръчва се този анализ да се извършва за всяка аварийна ситуация поради възможна промяна във въздействието на аварията върху системата и промяна в аварийната вентилация. На фиг. 4.41 е изобразен избраният маршрут за евакуация от работно място 4, което е разположено на най-ниския хоризонт и работещите са изложени на най-голям риск от пожара.



Фигура 4.41 Евакуационен маршрут №3 от РМ 4

Изводи към глава 4: Анализ на аварийни смущения във вентилационната система на действащ рудник

- И4-1. Компютърното моделиране е подходящо средство за правилното преразпределение на общия дебит към работните места;
- И4-2. Съставянето на адекватен числен модел, проверен с реални измервания, позволява да се анализират критични места в мрежата за стабилизиране на нормалното проветряване;
- И4-3. Трудностите от провеждане на реален експеримент на вероятни пожарни сценарии се преодолява с помощта на компютърното моделиране, с което се съставя план за аварийна вентилация чрез добре премислени и изпробвани (на модела) инженерни подходи за осъществяване на безопасна евакуация и за стабилизиране на системата след аварията;
- И4-4. Последователността от действията, показани на основата на реален минен обект е софтуерен метод за компютърно моделиране на нормалната и аварийна вентилация на подземен рудник.

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ НА АВАРИЙНИ СМУЩЕНИЯ В ТРАНСПОРТЕН ТУНЕЛ

В тази част от дисертацията е обърнато особено внимание на специфичните особености на пътен тунел като мрежов обект и адаптирането им за числено моделиране с избрания специализиран софтуер. Това е и една от основните задачи, поставени за постигане на целта на дисертационния труд,

С развитие на транспортните тунели като мрежови инфраструктурни обекти, при които се изисква проектиране на нормална и аварийна вентилация, все повече се налага в практиката прилагането на надлъжна схема за проветряване със струйни вентилатори. Преди да се пристъпи към съставянето на адекватен числен модел на тунела, с който в динамичен режим да се моделира ефективна аварийна вентилация, са необходими предварителни изчисления за:

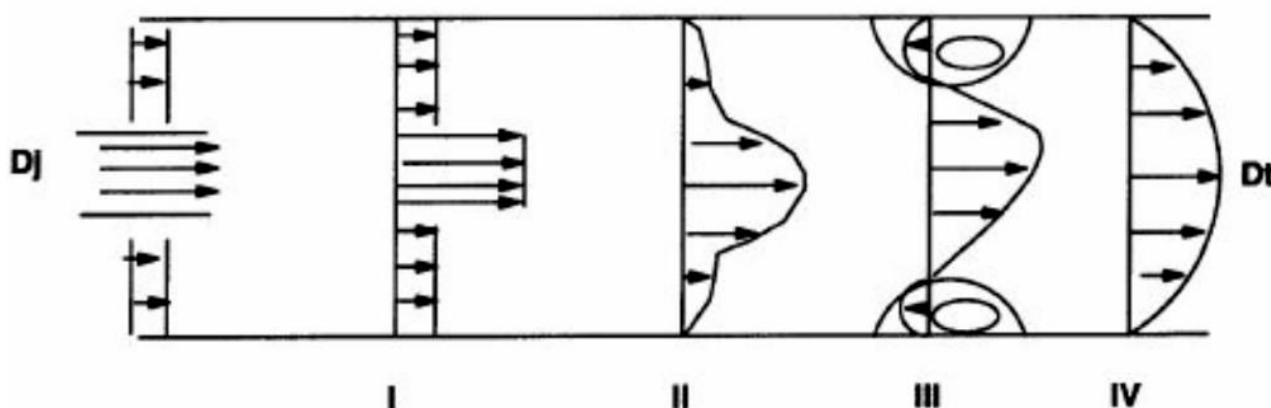
- депресионно и дебитно оразмеряване на тунела (по известни зависимости представени в глава 1);
- прогнозиране взаимодействието на вентилаторите със спътното течение,
- при пожарен инцидент изменение на температурата на пожарни газове по дължината на тунела,
- отчитане промяната на ефективността на работа на вентилаторите при промяна на температурния режим в тунела.

5.1. Допълнителни изчисления и изведени зависимости

- **Взаимодействие на вентилаторите и спътното течение**

Моделът, по който се изследва взаимодействието между вентилаторът и спътното течение (фиг.5.3) включва:

- закон за съхранение на масата и енергията на теченията;
- уравнение на енергията на струйника на вентилатора;
- баланс на загубите на налягане и на енергията от работата на вентилатора.

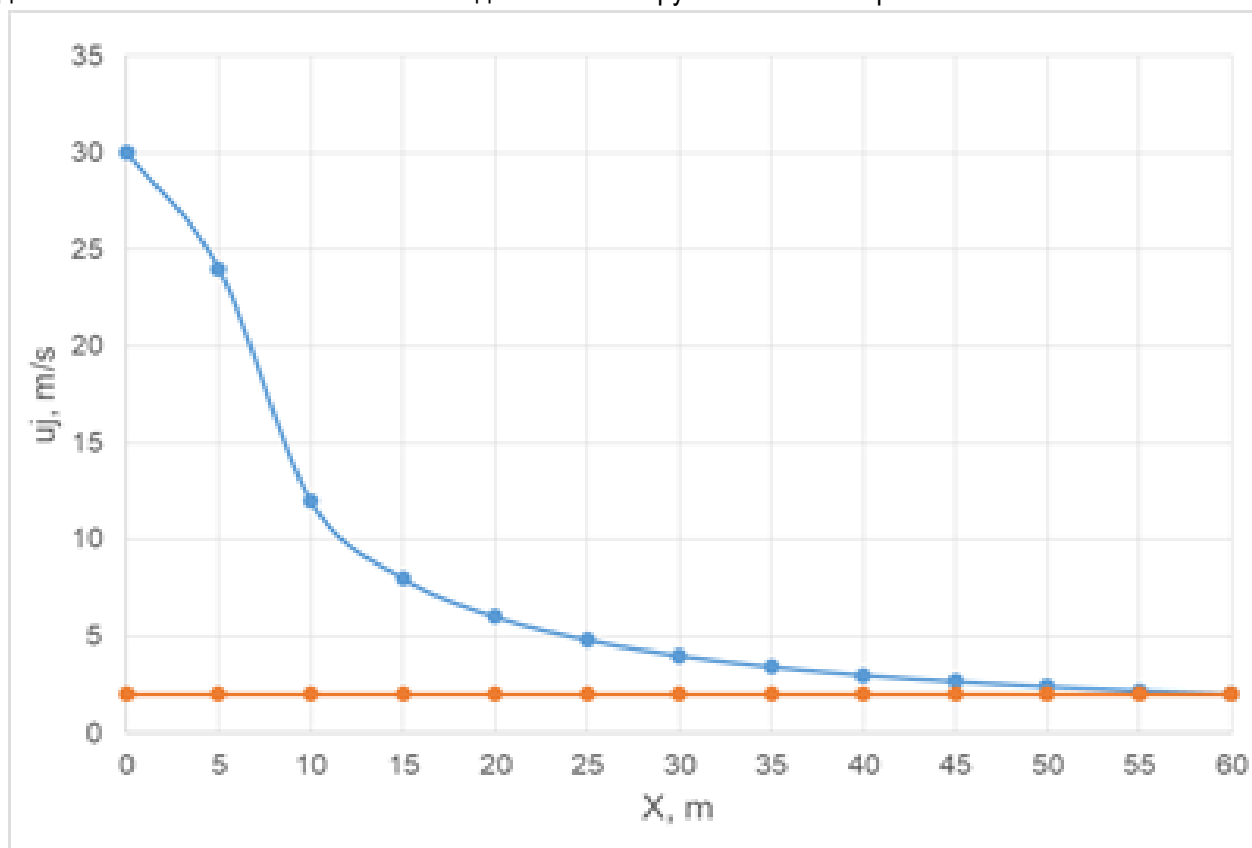


Фигура 5. 3. Профил на скоростта след вентилатора

Изменението на средната скорост на струята по дължината на тунела е показано на фиг.5.4 при прилагане на зависимост 5.2.

$$\bar{u}_j = k \frac{D_j}{x} u_j \quad (5.2)$$

Графиката е съставена при следните данни: сечение на тунела $f_t = 73m^2$; хидравличен диаметър $D_t = 7m$; диаметър и сечение на изходящия отвор на струйния вентилатор $d_j = 917mm$; $f_j = 0.4m^2$. От нея може да се отчете, че мястото на изравняване на скоростта на двете течения е 35-40m от мястото на действие на струйния вентилатор .



Фигура 5.4. Промяна на средната скорост след вентилатора

Отчетена е промяната на налягането в зоната на действие на вентилатора, включително и загубата на налягане от местни и челни съпротивления по изрази (5.5) и (5.6).

$$(P_2 - P_1)f_t = \rho_j f_j u_j^2 + \frac{1}{2} \rho_t u_t^2 (f_t - 2f_j) - \frac{1}{2} \rho_t u_t^2 \left(2 \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) f_t - \left(\zeta_d + \frac{1}{2} \lambda \frac{\Delta x}{D_t} \right) \frac{\rho_2}{2} \bar{u}_t^2 f_t \quad [N] \quad (5.5)$$

$$\Delta P_{t,theo} = \rho u_j^2 \frac{f_j}{f_t} \left(1 - \frac{u_t}{u_j} \right) \quad (5.6)$$

Анализът на двата израза показва, че трябва да се определи плътността в зоната на действие на вентилатора. Тъй като плътността зависи от температурата на течението най-съществена промяна на плътността се получава при пожар в тунела.

- **Изменение на температурата при пожар**

В специализираната литература (DelRey (2012), Lonermark (2005), CETU (2003), PIARC (2007)) се използват няколко зависимости за определяне на средната температура на вентилационното течение след пожар в тунела, както и на отделената газовъздушна смес след пожара. Всички те се базират на уравнението на енергията на масовия поток, по който се получава връзка между ефективната мощност на пожара и условията на течението. След извършен детайлен анализ на параметрите, участващи в зависимостите, бяха уточнени следните задължителни корекции: изменение на числото на Прандтл (Pr), критерия на Рейнолдс с променлив коефициент на кинематичен вискозитет $\nu(x,T)$ и добавен масов дебит от пожара

В резултат се получиха зависимости (5.14) и (5.18) за определяне на средната температура на вентилационното течение след пожар в тунела:

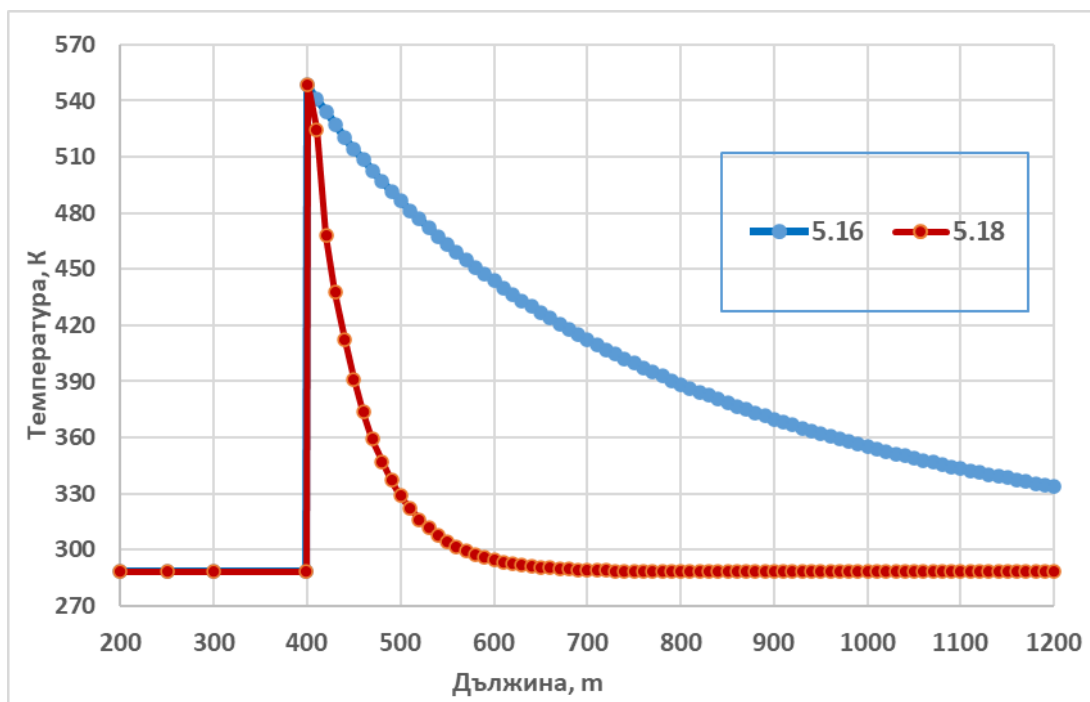
$$\frac{dT}{dx} = - \frac{h_c(T - T_o) + \varepsilon\sigma(T^4 - T_o^4)}{\frac{1}{4}D_H\rho c_p u^*} \quad (5.14)$$

$$T(x) = T_o + (T(x - \Delta x) - T_o) e^{-\frac{4h_{app}}{\rho f D_H u^*}(x - x_{fire})} \quad (5.18)$$

За израз (5.14) е приложена итеративна процедура за определяне на средната температура на пожарните газове с разделяне на дължината на сектори с размер Δx :

$$\frac{dT_i}{dx_i} = - \frac{h_c(i-1)(T(x_{i-1}) - T_o) + \varepsilon\sigma(T^4(x_{i-1}) - T_o^4)}{\frac{1}{4}D_H\rho_{i-1}c_p u_{i-1}^*} \quad (5.16)$$

Сравнение на получените резултати по (5.16) и (5.18) е показано на фиг. 5.9. Решението е за пожар с мощност 100 MW в тунел с дължина 1200 m и място на пожара – на 400 m от входа на тунела. Анализът на данните от графиката показва, че при зависимост (5.18) температурата на пожарните газове затихва до тази преди пожара на разстояние само от 200 m. Този резултат не съответства на експериментални данни, получени от реални експерименти и публикации. Анализът на представените зависимости за определяне на температурата на пожарните газове по дължината на тунела довежда до препоръка за използване на итерационна процедура (5.16), тъй като представя по-реалистичен резултат и се препоръчва при проектиране на аварийна вентилация на тунели.



Фигура 5.9. Сравнение на резултатите по (5.16) и (5.18)

- Промяната на ефективността на работа на вентилаторите при промяна на температурния режим в тунела.

При работа на вентилатора в реални условия се налага корекция на фабричния показател за ефективност $\eta_{\max}$ по няколко параметъра:

- Инсталационна ефективност η_i - $\eta_i = \left[0,0192 \left(\frac{z}{d} \right)^2 - 0,144 \frac{z}{d} + 1,27 \right]^{-1}$
- Скоростна ефективност η_v - $\eta_v = 1 - \frac{u_t}{u_j}$ (зависи от скоростта на спътното течение)
- Температурна ефективност η_p - $\eta_p = \frac{\rho_t}{1,2}$ зависи от плътността на въздушното течение

Коригираният коефициент на ефективност на струйния вентилатор се получава като произведение от трите и отчита влиянието на параметрите на течението (зависимост 5.20):

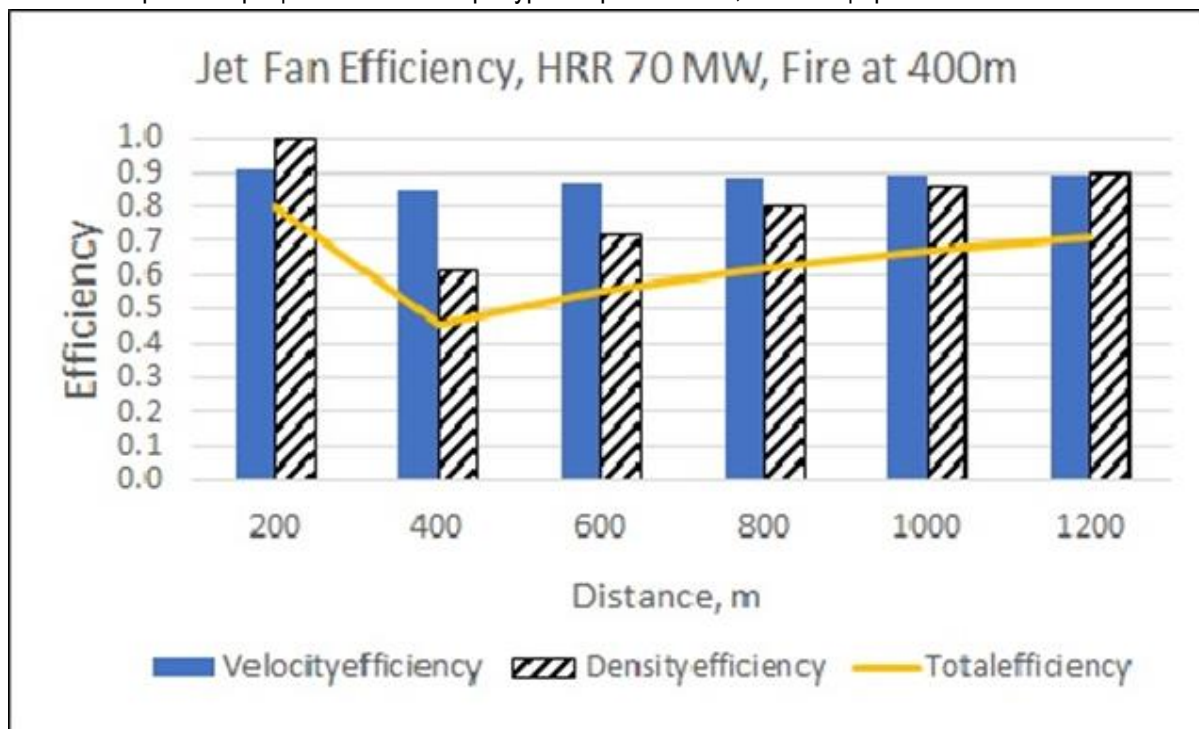
$$\eta_{eff} = \eta_{\max} \times \eta_i \times \eta_v \times \eta_p \quad (5.20)$$

Влиянието на параметрите на течението върху ефективността на работа на вентилатора е показано с данните от таблица 5.2.

Таблица 5.2. Характеристики на струен вентилатор

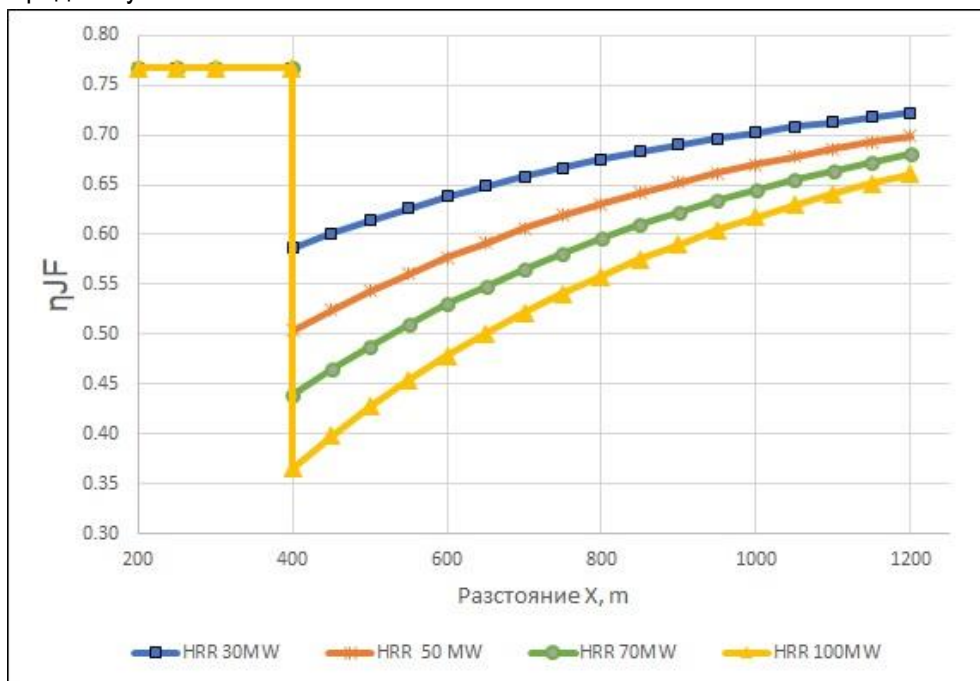
Струен вентилатор с параметри:		
Тласък F_{JF}	1230	N
Скорост u_{JF}	32.3	m/s
Диаметър D_{JF}	1.2	m
Отстояние до тавана z	0.5	m
Инсталационна ефективност η_i	0.88	-

На фиг. 5.14 са показани стойностите на скоростния и на температурния коефициент за избрани дължини от тунела. Преди пожара общият коефициент на ефективност стартира от 0.8, намалява до 0.5 в мястото на пожара и до изхода на тунела след пожара постепенно се увеличава до 0.7. По-голямо намаление търпи коефициента на температурна ефективност, отчитащ промяната на плътността.



Фигура 5.14. Коефициенти на ефективност на струен вентилатор

Мощността на пожара също оказва влияние върху ефективността на работа на струйния вентилатор. На фиг. 5.15 е показано влиянието на мощността на пожара върху коефициента на ефективност на струен вентилатор на дадено място от течението при отчитане на характеристиките на въздушната среда в тунела.



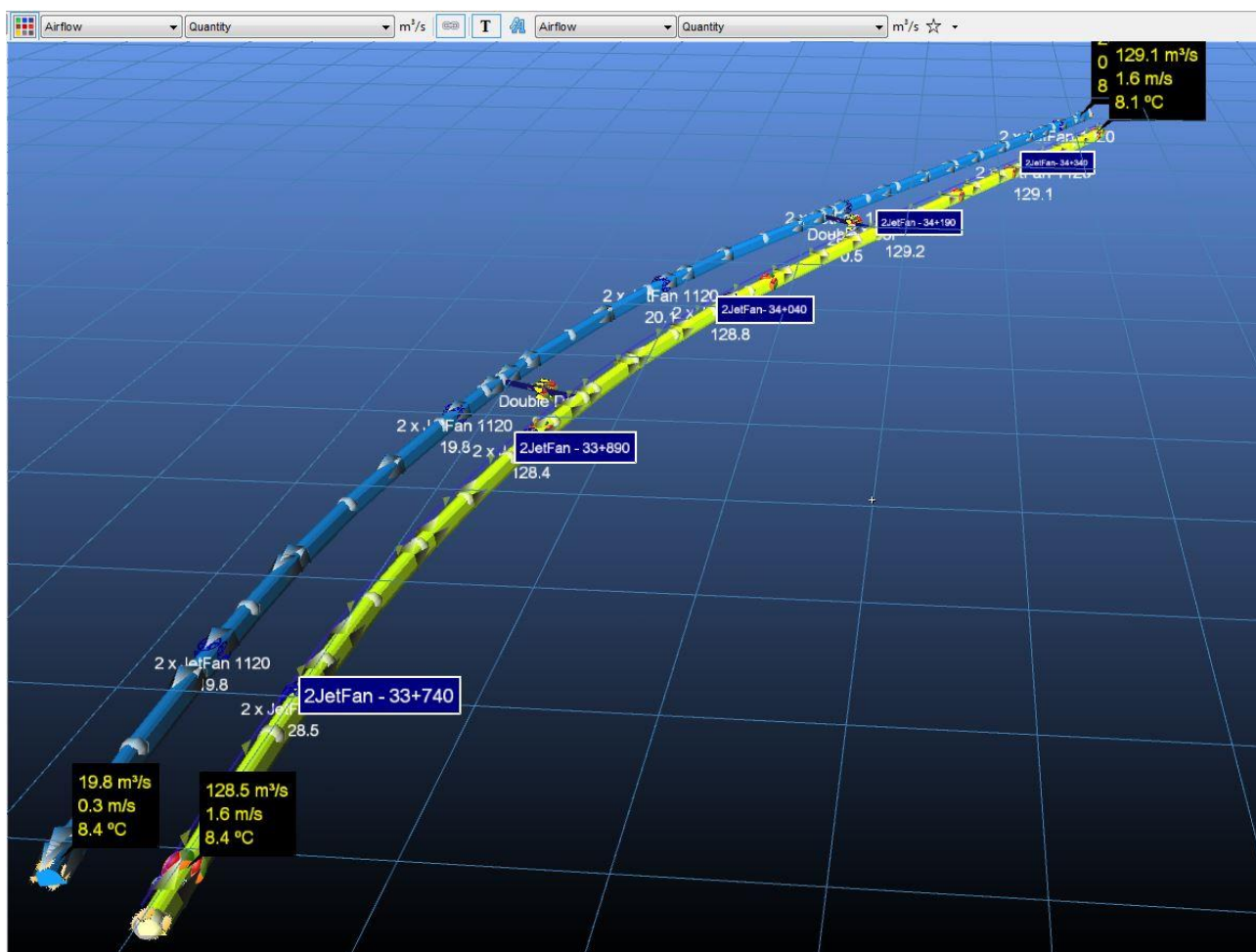
Фигура 5.15. Изменение на коефициента на ефективност на струен вентилатор спрямо пожарната мощност

5.2. Числено моделиране на тунелна вентилация

След изпълнение на описаните предварителни изчисления за вентилацията на тунел и определяне на размерите и броя на вентилаторите, препоръчителни места за разполагането им, както и необходимите резерви за преодоляване на пожарната депресия, се преминава към числено компютърно моделиране за оразмеряване на аварийна вентилация със специализиран вентилационен мрежов софтуер.

Числен модел (фиг. 5.16) на двутръбен еднопосочен тунел с две междинни връзки и надлъжна схема на проветряване със струйни вентилатори. За постигане на точни решения и адекватност на модела се препоръчва:

- Секционирание на участъци по дължина с еднакъв наклон (10-30m)
- задаване на външни условия –плътност, температура, относителна влажност, налягане на постъпващ в тунела въздух, свойства на скалите и др.

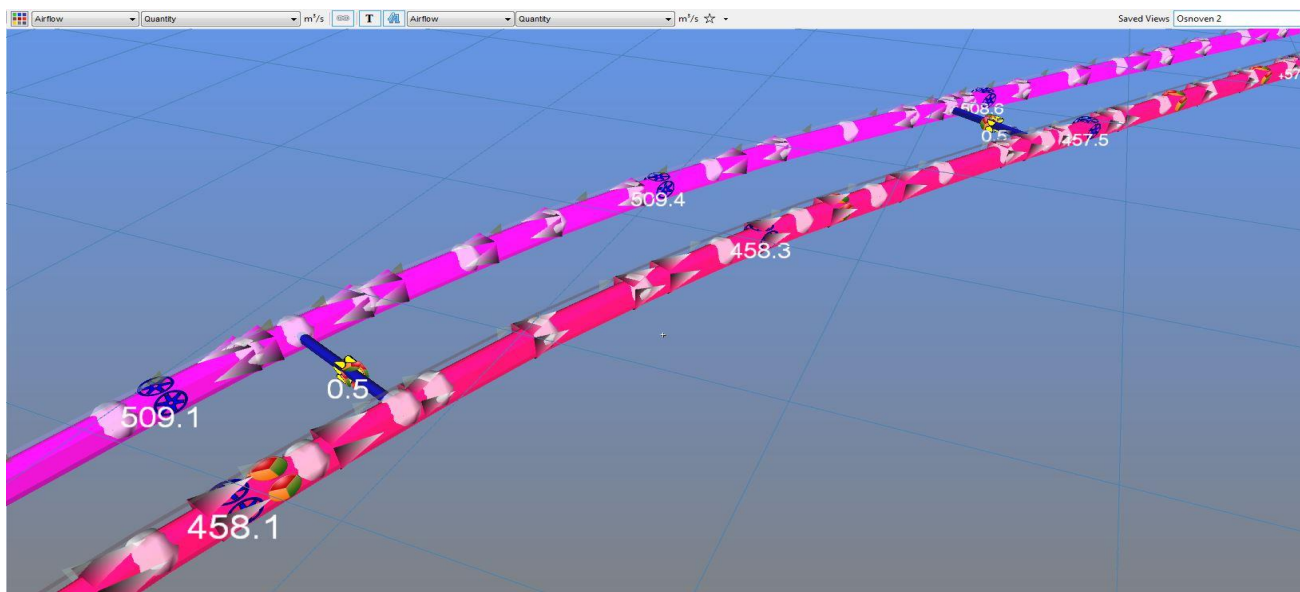


Фигура 5.16. Модел на двутръбен пътен тунел

Последователно се изпълняват следните стъпки:

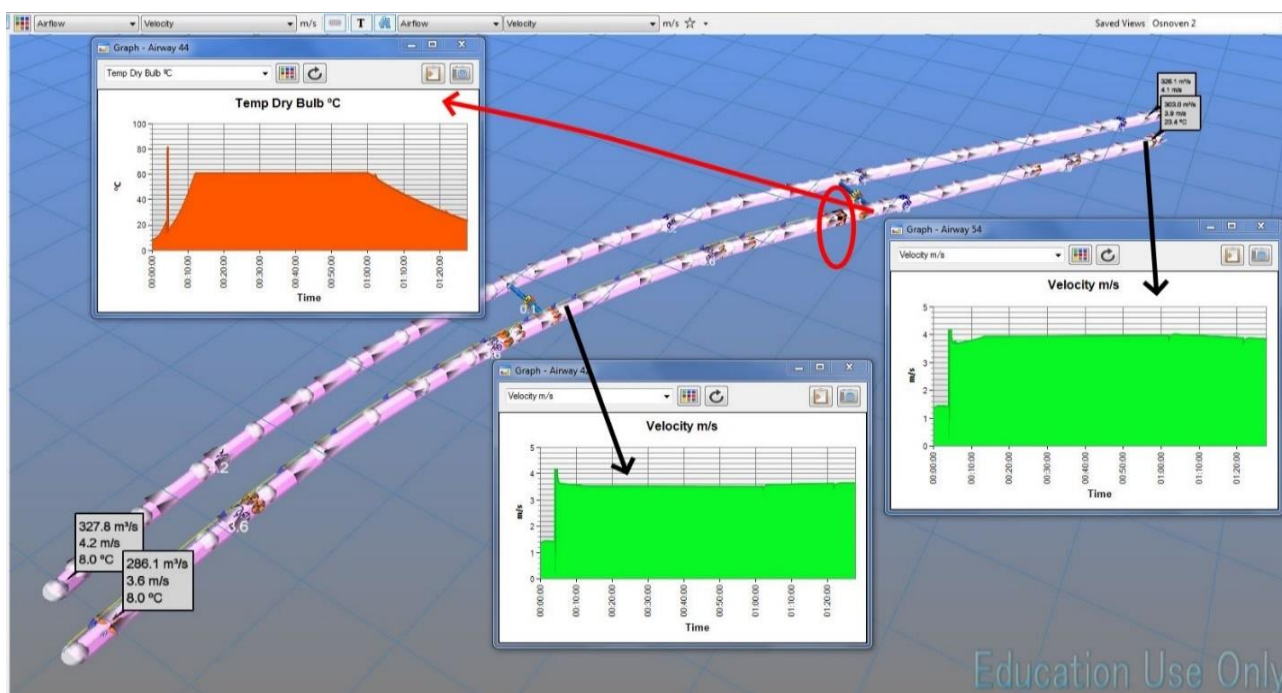
- За всяка тунелна тръба се задава трафик в три режима – нормален (80km/h), забавен (10 km/h), спрял (0km/h) режим.

- Отчита се буталният ефект от движението на трафика в зависимост от вида и броя на превозните средства зададени в програмата VentSim със съответните характеристики (Фиг.5.19а).



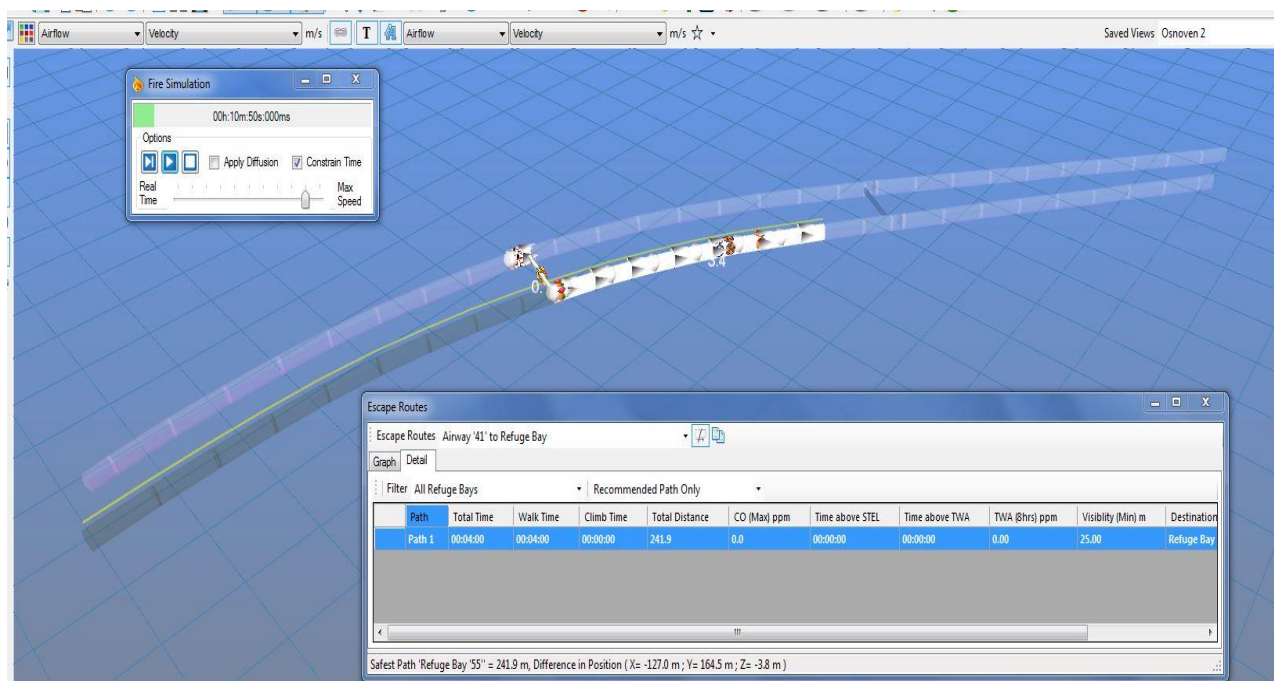
Фигура 5.19а. Въздушни дебити при нормален трафик (80km/h)

- Симулират се пожарни сценарии на различни места в тунела (мястото на пожара в тунела може е навсякъде) и се оценява въздействието им върху системата (Фиг. 5.24).



Фиг.5.24. Резултати от симулацията при пожарен инцидент – скорости и температури

- Съгласно нормативните изисквания се моделират пътища за безопасна евакуация на блокираните в тунела хора до повърхността или до „безопасно място“ (фиг.5.29). Осигурява се насрещно вентилационно течение с чист въздух, създава се надналягане в незасегнатата тунелна тръба и се отварят подходящи междинни връзки.



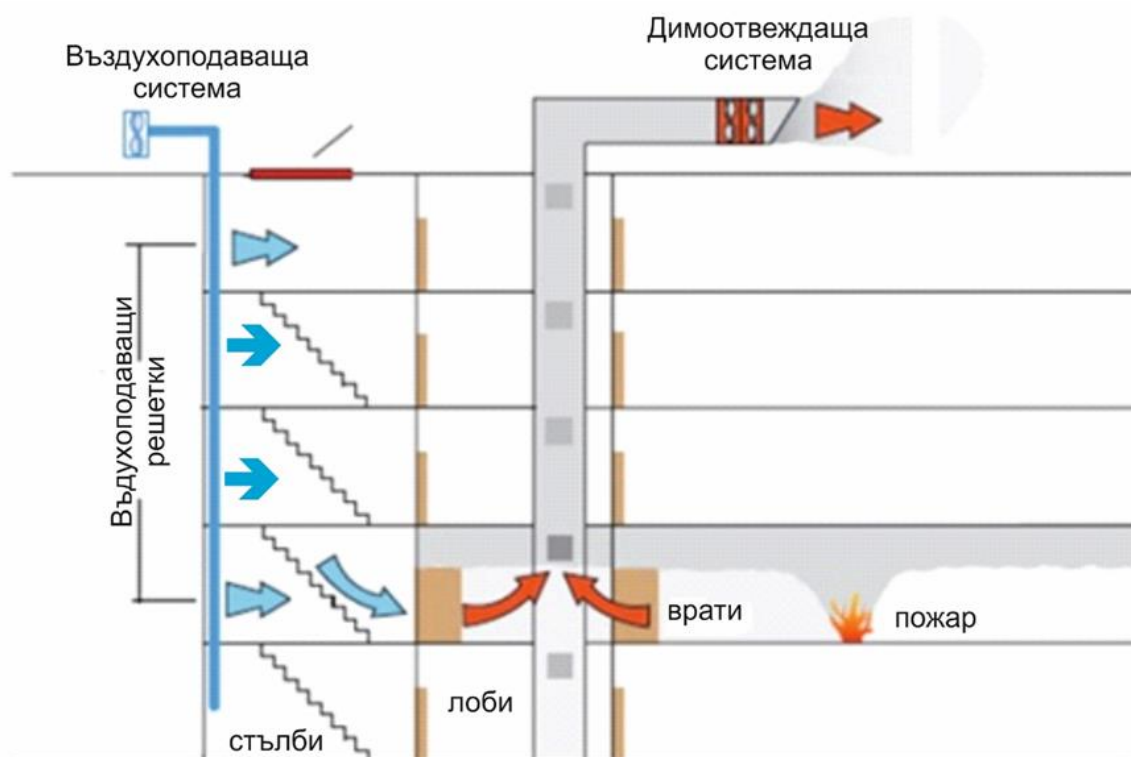
Фигура 5.29. Маршрут за евакуация до „безопасно място“

Изводи към глава 5. Анализ на аварийни смущения в транспортен тунел

- И5-1. На основата на законите за запазване на масата и импулса са изведени зависимости за взаимодействието между работата на струен вентилатор и спътното течение в тунел (израз 5.5);
- И5-2. Изведена е зависимост за определяне на средната температура на пожарни газове по дължината на тунела, като е обърнато внимание на всички участващи параметри в нея. На тази база е съставена и препоръчана за прилагане итерационна процедура (израз 5.16);
- И5-3. Уточнени за изразите за коригиране на фабричния коефициент на ефективност на струен вентилатор с отчитане на скорост и плътност на течението, с което се изяснява необходимостта от оразмеряване и резервираност на необходимите вентилаторни мощности (израз 5.21) ;
- И5-4. На основата на специфичните особености на вентилацията и влияещите ѝ фактори в транспортен тунел, са изяснени съществени за съставяне на компютърен модел компоненти (трафик, бутален ефект, сезонни колебания).

ГЛАВА 6 АВАРИЙНА ВЕНТИЛАЦИЯ НА ВИСОКА СГРАДА

В глава 6 представена методическа последователност за компютърно моделиране на аварийна вентилация на висока сграда със специализиран мрежов вентилационен софтуер. При проектиране ѝ се спазват регламентираните нормативни изисквания за аварийна вентилация за поддържане на зони с надналягане (стълбищни клетки и асансьорни шахти), подаване на насрещно течение с чист въздух и отвеждане на димните газове чрез смукателна вентилационна система (фиг. 6.3.).



Фигура 6.3. Схема на аварийна вентилационна система

В дисертационния труд е са изследвани и анализирани всички течения във висока сграда, като изведените зависимости са сравнени с измервания за реален обект – 18 етажна административна сграда. На основата на тези измервания са изведени апроксимационни зависимости, с които са моделирани вентилационните пътища в обекта. Последователно са представени:

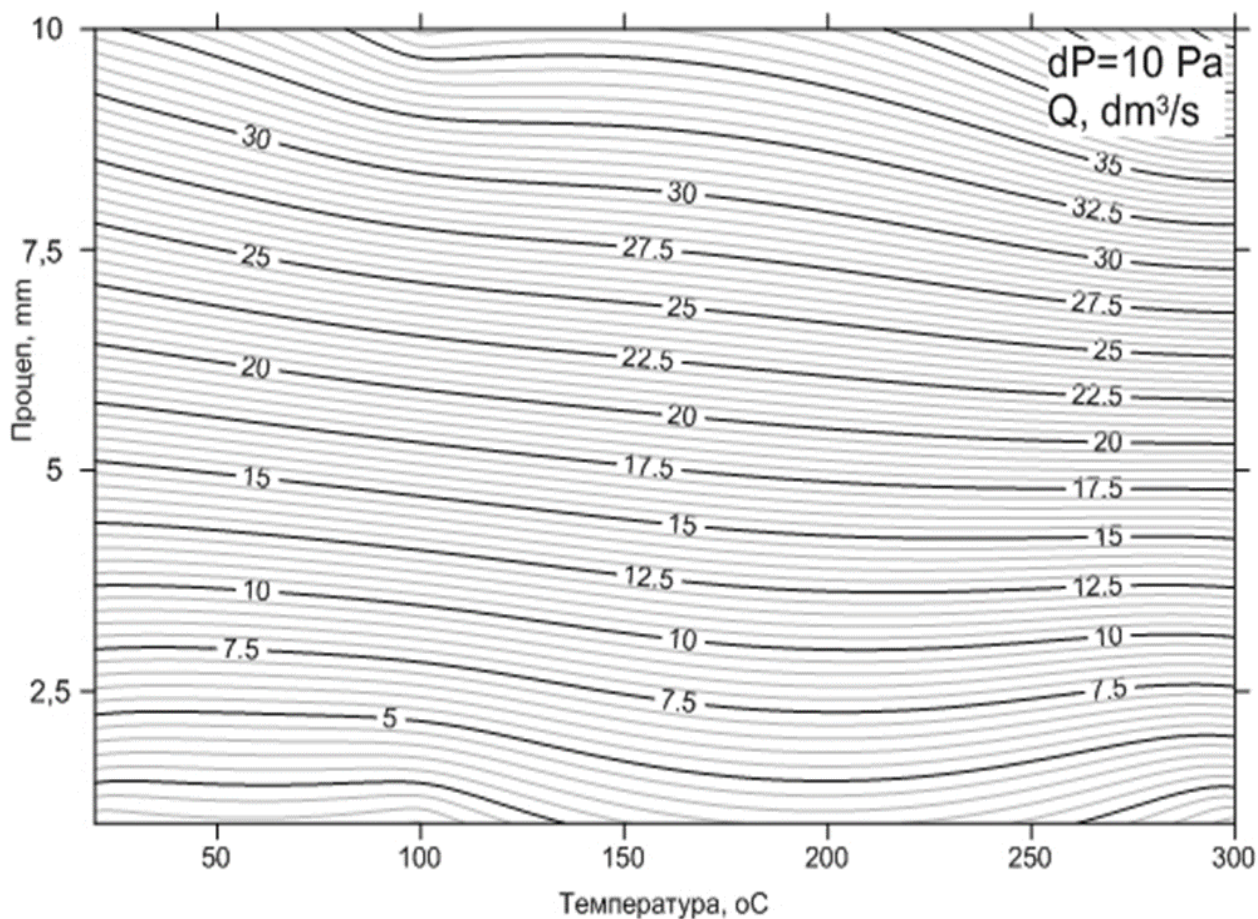
- въздушните течения в инсталациите на висока административна сграда и възможностите за формализиране на параметрите им за прилагане на специализиран вентилационен софтуер;
- числен модел на аварийната вентилация на 18 етажна административна сграда и съгласуване на числените решения с реални измервания.

6.1. Изследване на теченията и определяне на аеродинамичното им съпротивление

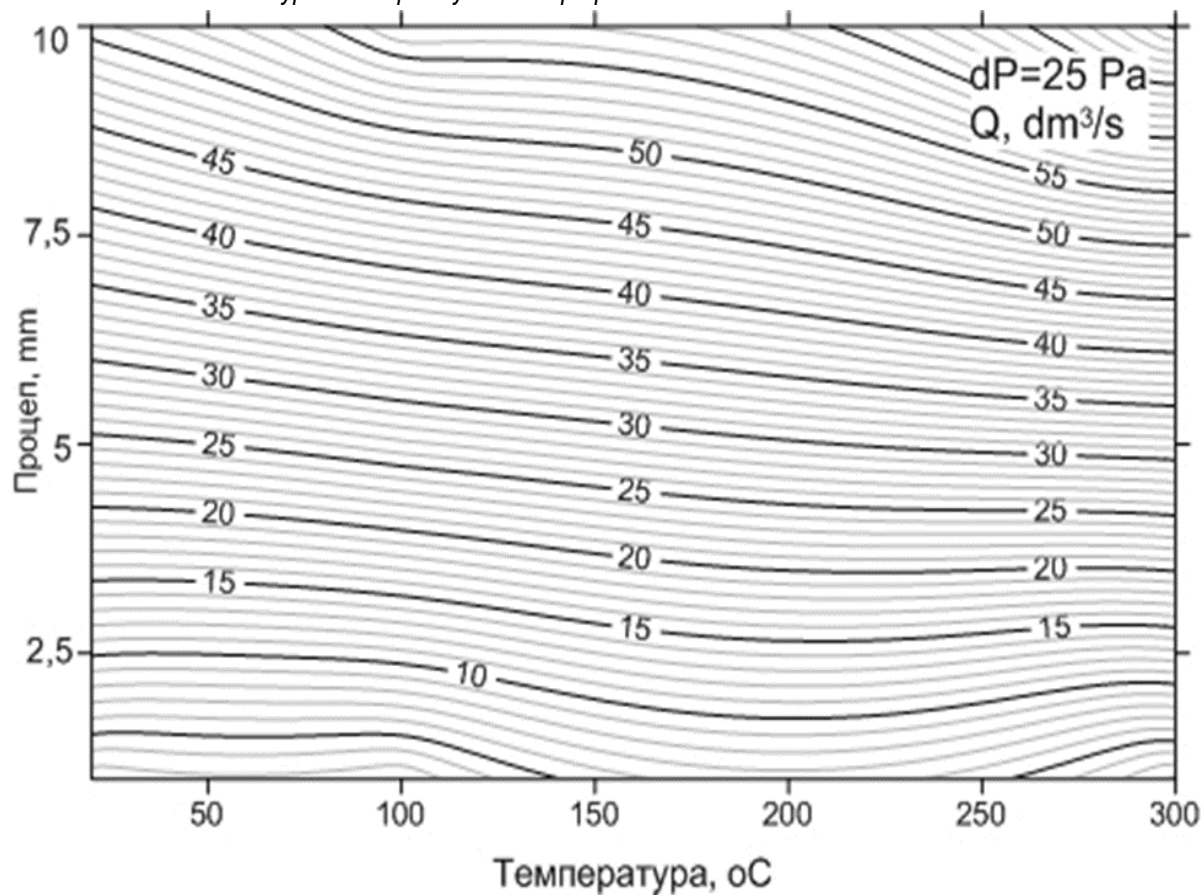
Въздушните течения във висока сграда, канализирани и поддаващи се на измерване са сведени до 4 типа. За всеки тип е изяснено определянето на аеродинамичното им съпротивление:

Просмукване през врати Обработени са резултати от редица литературни източници с цел да се определи количеството на просмукванията в зависимост от разликата в налягането и температурата. На фиг. 6.5 а, б, в са показани обработени резултати по реални измервания от публикации при следните данни:

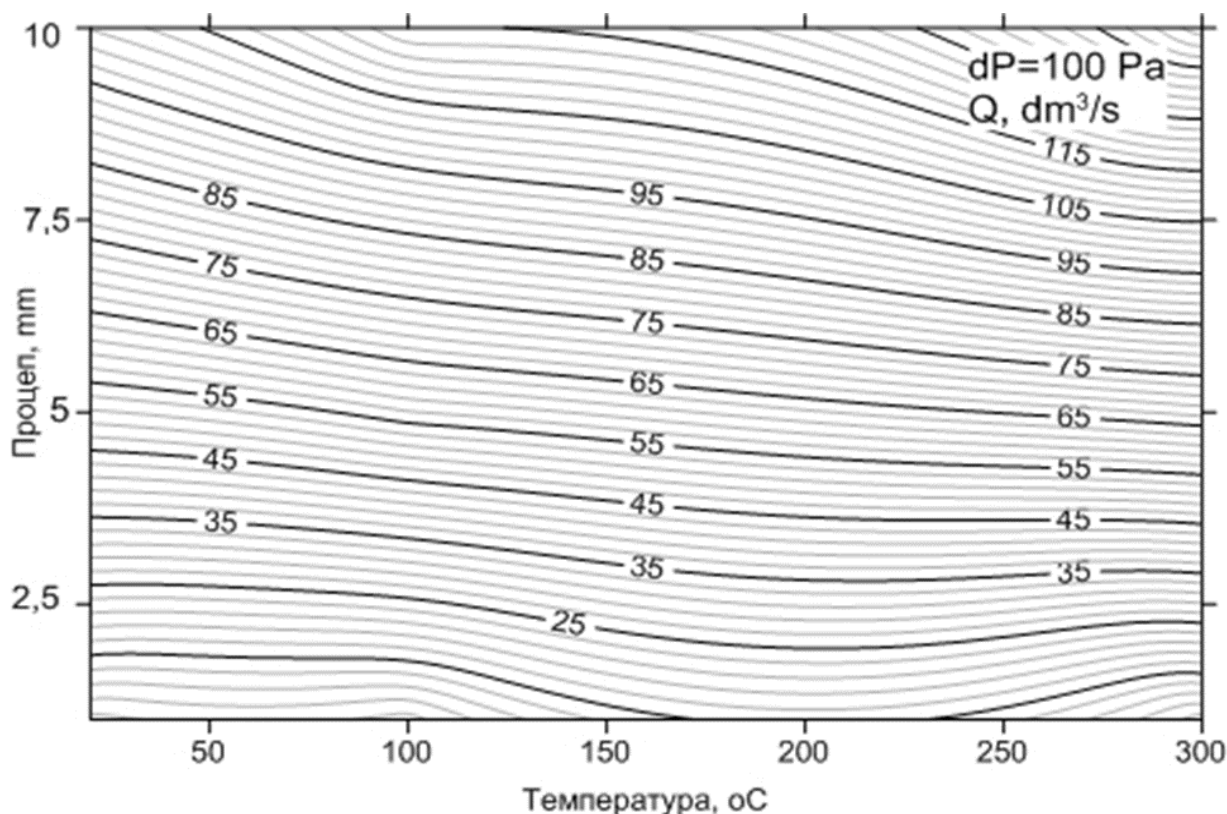
- размер на процепите – от 1 до 10 mm;
- разлика в налягането от 10 до 100 Pa;
- температура на въздуха в потенциално пожарната зона – от 20 до 300 °C.



Фигура 6.5а Просмуквания при разлика в налягането $dP = 10 \text{ Pa}$



Фигура 6.5б Просмуквания при разлика в налягането $dP = 25 \text{ Pa}$



Фигу

ра 6.5в Просмуквания при разлика в налягането $dP = 100 \text{ Pa}$

Сравнението на данните на фигури 6.5 показва, че при една и съща температура и при еднакво налягане количеството въздушен дебит, което ще премине силно зависи от степента на уплътнение. Това означава, че за да се моделират със софтуер големината на дебитите във висока сграда, като се отчетат променливите фактори (температури и налягания) трябва аеродинамичното съпротивление на съответния обект, през който има просмуквания на въздух (врата или прозорец) да се задава така, че да отчита тези промени.

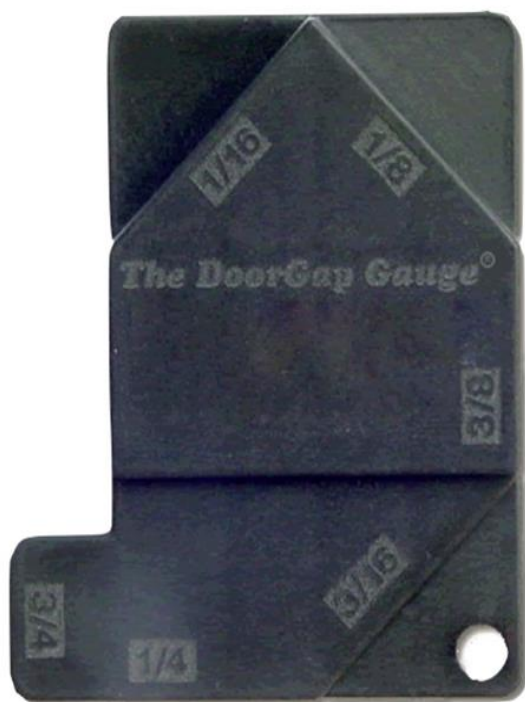
Предложен е алгоритъм за въвеждане на аеродинамично съпротивление във VentSim за течения през врати:

- въвеждат се сечение (f), периметър (Π), безразмерен коефициент на аеродинамично съпротивление (λ) на отворена врата/прозорец; Програмата изчислява базово аеродинамично съпротивление (R_{door}^{open});
- определя се площта на неплътностите (f_{gab}) по цялата рамка на вратата (прозореца) и се задава в програма VentSim като дюза (orifice) – процент от сечението на обекта, който е затворен.

От обработени данни от измервания е установено, че отношението между площта на процепа към

площта на вратите: $\frac{f_{gab}}{f_{door}} \approx (0.98 \div 1.6)\%$ е около 1 -1,5% .

Определяне на размера на процепите за реален обект, може да се извърши например с уреда показан фиг. 6.6. С него може да се измерят процепи с размери от 1.5 mm до 10 mm.



Фигура 6.6. Измерване на неплътности

Аеродинамично изследване на течението през асансьорни шахти За този тип конструктивни съоръжения може да се търси аналогия с шахтите в рудниците (сравнително гладки стени). Обикновено се използват за подаване на чист въздух и при двата вида вентилация (нормална и аварийна). Аеродинамичното съпротивление на асансьорните шахти може да се моделира във VentSim аналогично на шахтите в подземен рудник. Тук е важно да се определят два показателя:

- течението от просмукване през вратите – вече е коментирано по-горе в текста;
- **влиянието на бутален ефект** от движението на асансьора. Една зависимост, представена в в литературата и потвърдена с експеримент е:

$$\Delta P_a = \frac{\rho}{2} \left[\frac{f_a u}{N_a C f_e + C_c f_a \left[1 + \left(\frac{N_a}{N_b} \right)^2 \right]^{1/2}} \right]^2 \quad (6.4)$$

Програма VentSim има вграден алгоритъм за отчитане на бутален ефект от движещи се транспортни средства, което беше коментирано в раздел 5 и чрез него може да се отчете и този ефект.

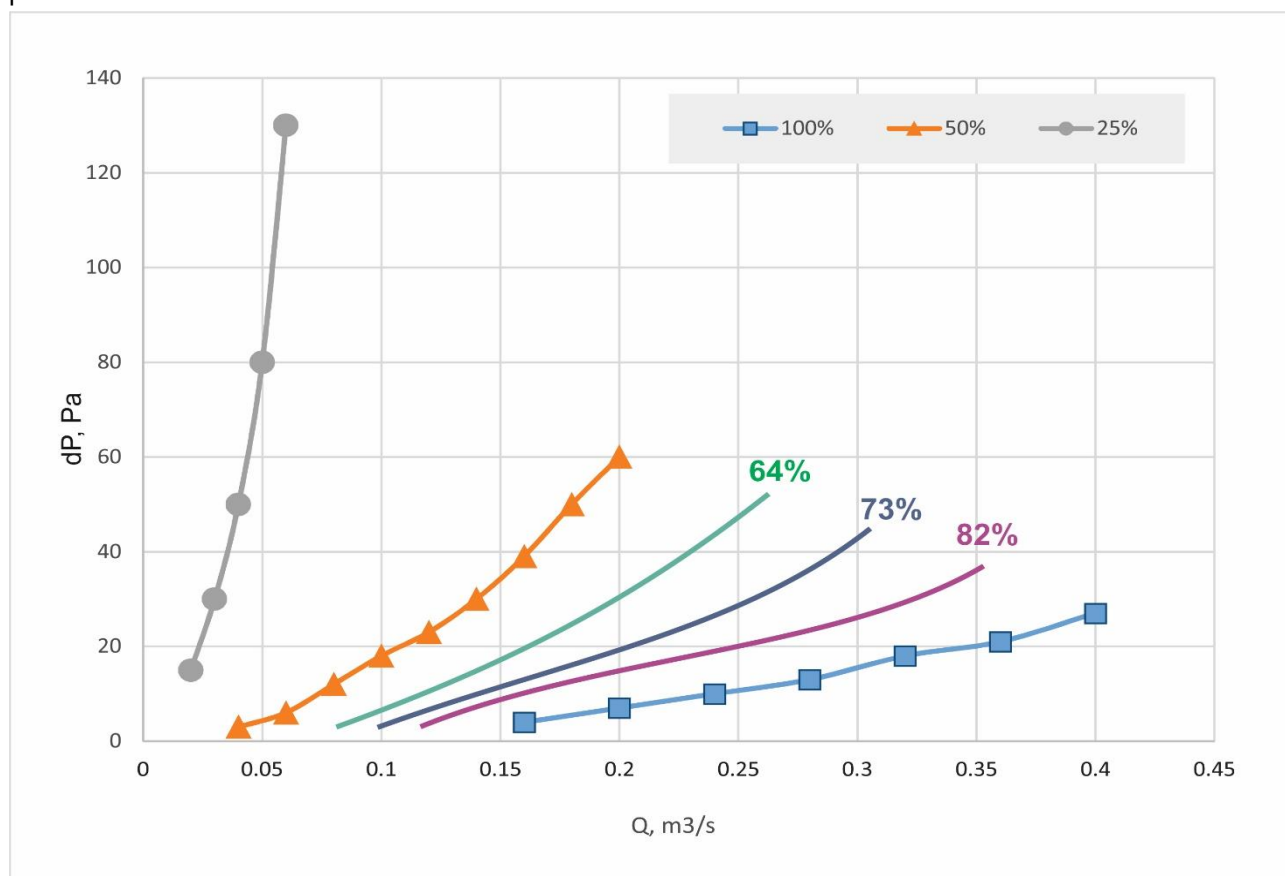
Аеродинамично изследване на течението през стълбищните площадки стълбища и стълбищни площадки. За моделиране на теченията през стълбищната клетка въз основа на реалните размери се изчислява безразмерния коефициент на триене λ по зависимост (6.3). Използва се изведената в литературни източници зависимост за отношението между площта на стълбищната клетка (f_s) и площта на стълбите (f_o):

Отношението $\frac{f_o}{f_s}$ е в порядъка 0.3 – 0.28.

Безразмерния коефициент на триене λ се определя по зависимост (6.3):
$$\lambda = \frac{1}{C_D} \left(\frac{f_s}{f_o} \right)^2 \frac{D_e}{h}$$

Въздушни течения през решетки – въздухоподаващи и въздухоотвеждащи (димоотвеждащи).

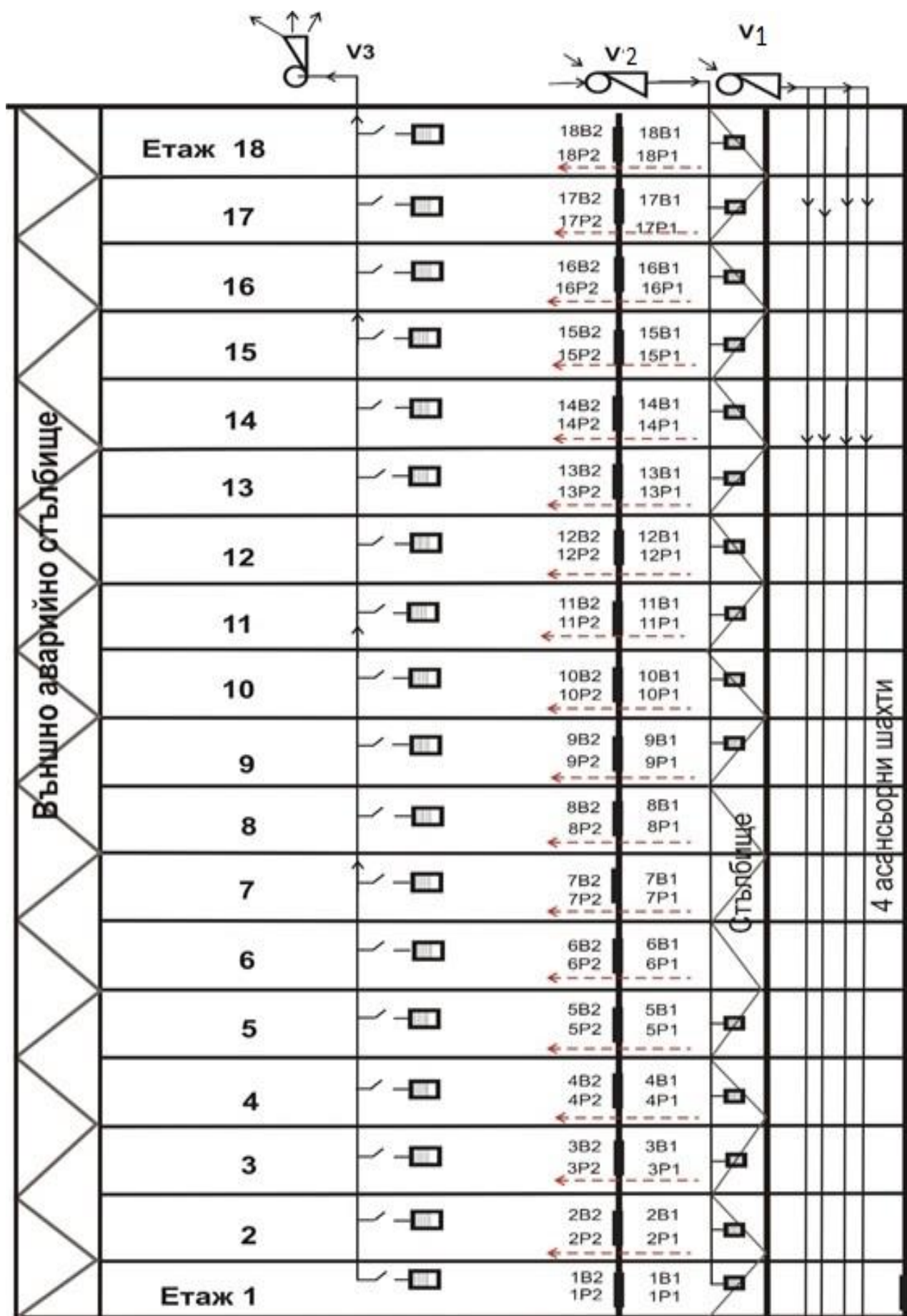
За всяко конкретно съоръжение се вземат данните за преминаващ дебит при дадено налягане от каталог. На фиг. 6.11 са показани аеродинамичните съпротивления при напълно отворени решетки (100%), при затворени наполовина (50%) и при затворени 25% от ламелите – стойности взети от фабричната характеристика на решетките. Аеродинамичното съпротивление при 64%, 73% и 82% отворена решетка са апроксимирани по подобие с фабричните и също са показани на фигура 6.11. Апроксимационната процедура е приложена за всички видове решетки и е проверена с измервания от реалния обект.



Фигура 6.11. Аеродинамични съпротивления на вентилационните решетки

6.2. Числен модел на аварийната вентилация на висока сграда и съгласуване на числените решения с реални измервания

Обект на изследването е 18 етажна административна сграда (фиг.6.8) с реални измервания за одобряване на аварийна вентилация от оторизираните органи. Данните от измерванията са предоставени за ползване от колектива на катедра «РВ и ТБ».



Фигура 6.8. Вертикален разрез на сградата

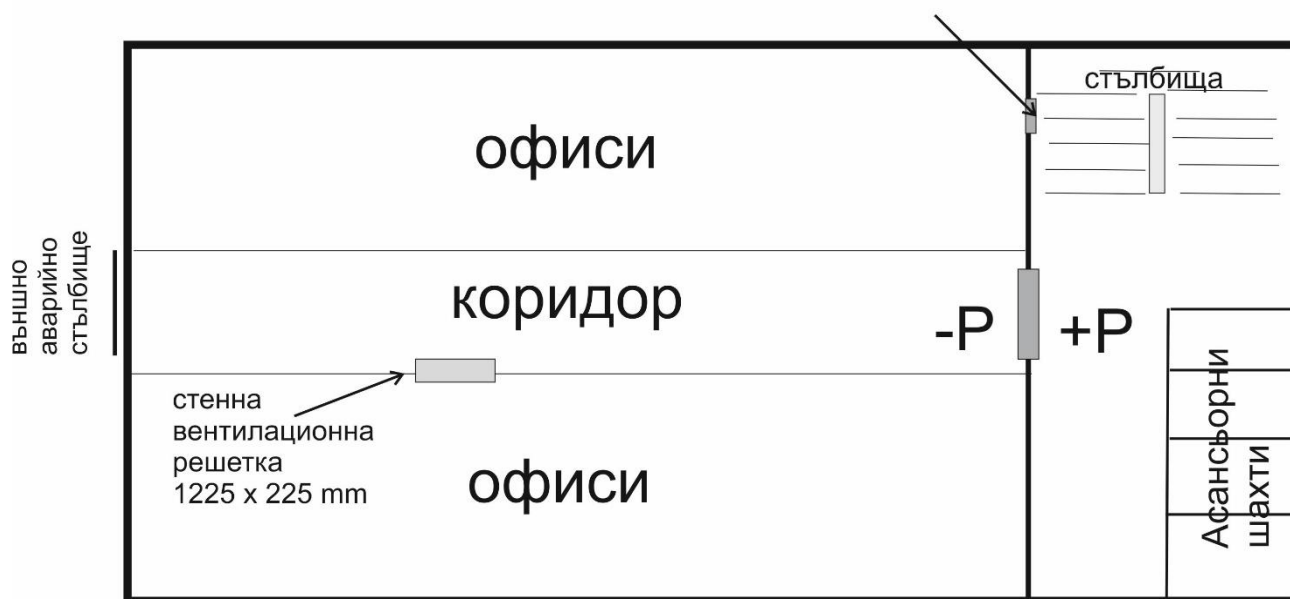
Течения в обекта (фиг. 6.8):

- Четири асансьорни шахти, по които чист въздух се подава от V1;
- Стълбищна клетка, в която се осигурява надналягане чрез вентилатор V2 през вентилационни решетки с размер 425 x 225 mm, поставени на стената на всеки етаж на стълбището между етажите;
- Стълбищна клетка е изолирана от коридора чрез уплътнена противопожарна врата, през която се получават просмуквания на въздух през пролуките около вратата;
 - Срукателна инсталация, осъществена от вентилатор V3 през тръбопровод в стената на коридора през решетки с размери 1225 x 225 mm

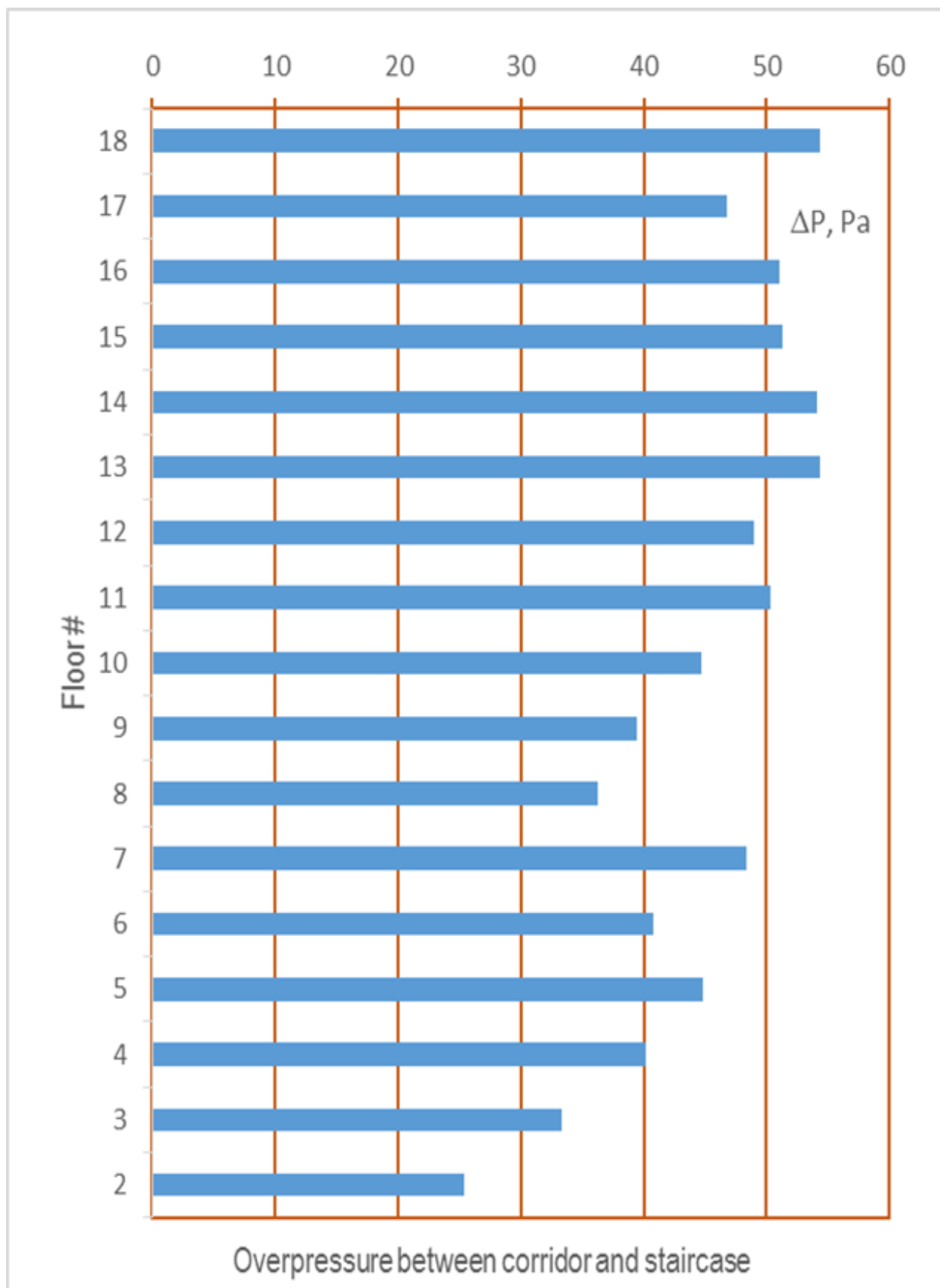
Съставен е аеродинамичен модел на движение на въздуха - за всеки етаж (фиг.6.9) и със съседните етажи чрез 7 вентилационни клона, които се повтарят 18 пъти::

- подаване на въздух по асансьорните шахти;
- просмуквания през асансьорните врати,
- просмуквания през вратите към коридора;
- подаване на въздух през вентилационните решетки в стълбищната клетка;
- засмукване на въздуха през вентилационните решетки в коридора;
- движение на въздуха между етажите по стълбищната клетка;
- просмукване на въздух от коридора към аварийното стълбище.

стенна
вентилационна
решетка
425 x 225 mm



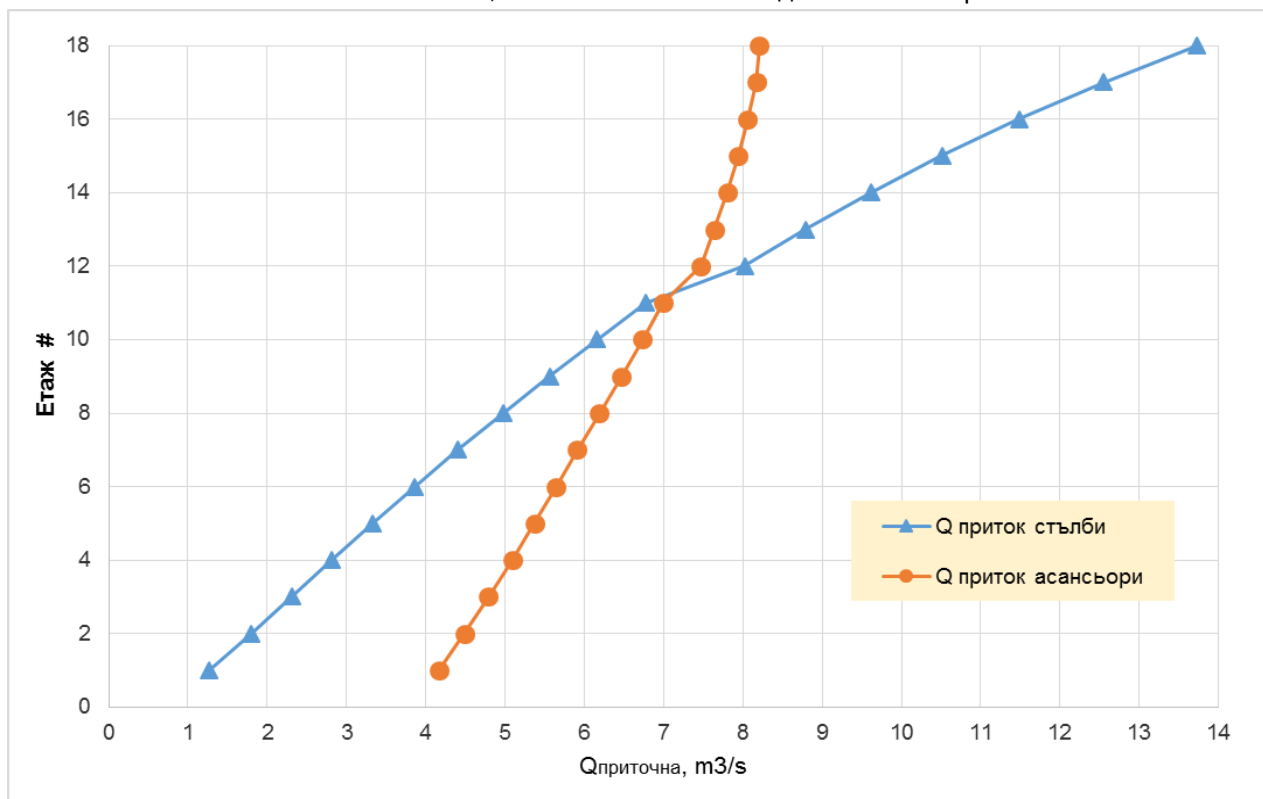
Целта на измерването е да се провери наличието на надналягане в стълбищната клетка спрямо коридора през затворена врата във всички етажи в диапазона 20 – 50 Pa. На фиг. 6.10 е показан резултата от измерванията.



Фигура 6.10. Измерени стойности на надналягането между коридора и стълбището.

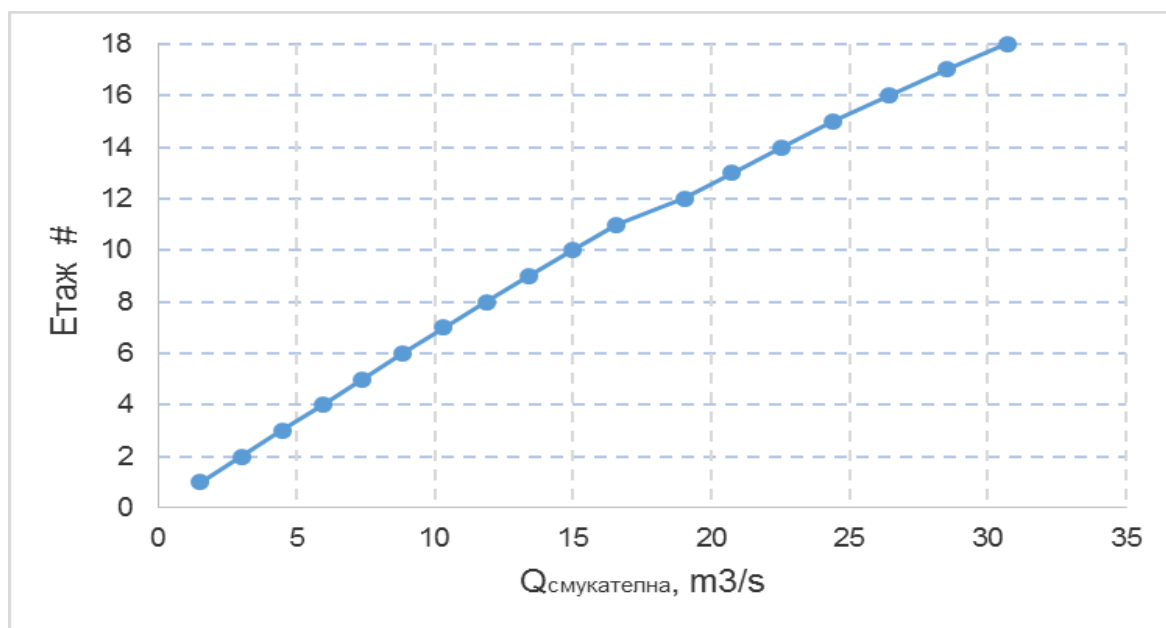
Фиг. 6.17 изобразява намаляването на дебита на въздушния поток, подаван през асансьорните шахти и стълбищата:

- На етаж 18 обемният дебит на въздуха подаван през асансьорните шахти е с максимална стойност от $8 \text{ m}^3/\text{s}$, постепенно намалява до $4 \text{ m}^3/\text{s}$ на първия етаж;
- На етаж 18 обемният дебит на въздуха подаван през вентилационната шахта на стълбището с максимална стойност от $13 \text{ m}^3/\text{s}$, постепенно намалява до $1 \text{ m}^3/\text{s}$ на първия етаж.



Фигура 6.17. Промяна на дебита, постъпващ на всеки етаж от проточните системи

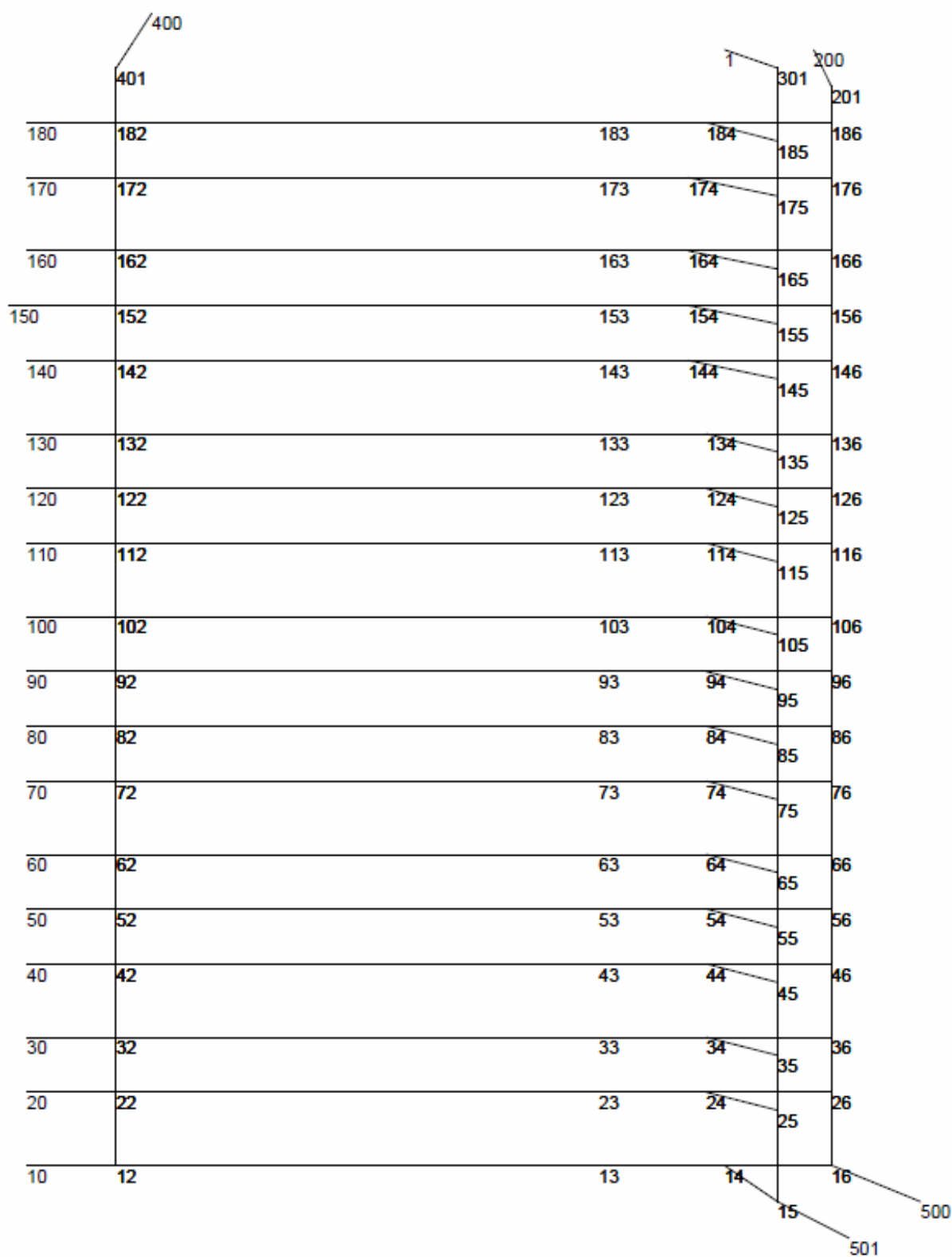
Фиг. 6.18 представя разпределението на дебита при смукателен режим на работа на вентилационната система по етажи от 1 до 18. На етаж 1 стойността е $1 \text{ m}^3/\text{s}$ и достига до $32 \text{ m}^3/\text{s}$ на етаж 18.



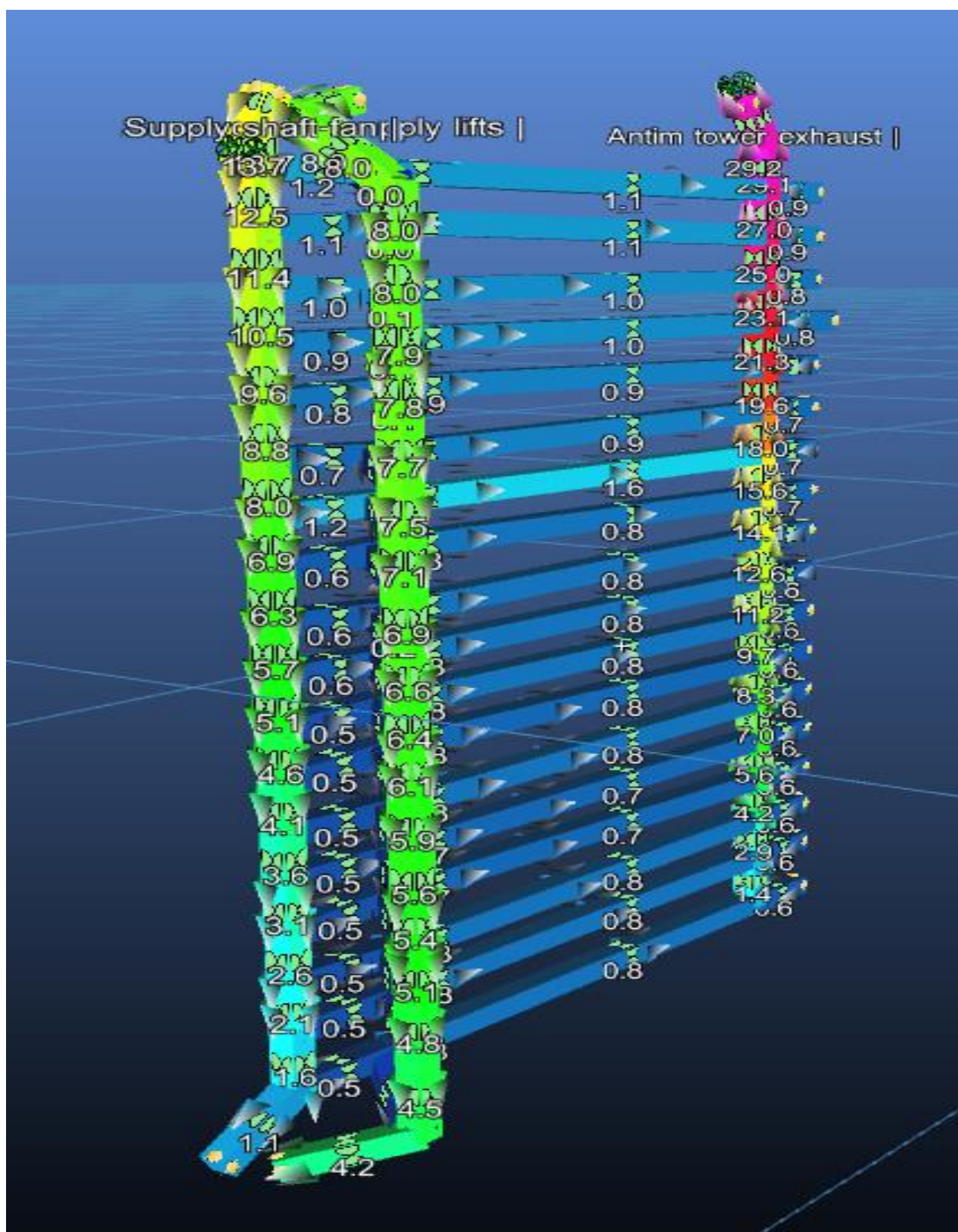
Фигура 6.18. Промяна на дебита на смукателната система по етажи

Създаден е модел с програма MfirePro+ (фиг.6.14), който е трансформиран в програмата VentSim Premium (фиг.6.16) като посоките на въздушните течения са сравнени с измерените стойности и

отговарят на нормативните изисквания за аварийна вентилация на висока сграда. Сравнението на резултатите между числения модел и измерванията показва много добро съвпадение. Относителната грешка между изчислените и измерени дебити на трите вентилатора е с 4 %, което е потвърждава адекватността на числения модел.



Фигура 6.14. Модел на сградата с програма MfirePro+



Фигура 6.16. Модел на сградата с програма VentSim

Изводи към глава 6: Аварийна вентилация на висока сграда

И6-1. Направен е анализ на теченията във висока сграда за реализиране на аварийна вентилация в нея като е съставен компютърен модел за решаването ѝ като мрежа от взаимно свързани въздушни течения;

И6-2. Изведени са зависимости за определяне на аеродинамичните съпротивления на въздушните течения в сградата и начините за интерпретация в компютърния модел (зависимости 6.3 и 6.4);

И6-3. На основата на реални измервания от авторитетни литературни източници са изведени графични и апроксимационни зависимости за връзката между налягане, дебит и температура при просмуквания на въздух през процепи (фиг. 6.5);

III. НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

На основата на представените модели, решения, анализи и изводи за вентилационните мрежови обекти, разглеждани в доктората, може да се твърди, че поставената цел е постигната.

Това позволява да се формулират следните НАУЧНО – ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ:

1. За първи път е приложен минен вентилационен софтуер за моделиране на аварийна пожарна вентилация на пътен тунел и висока сграда с отчитане на специфичните им особености. В този процес е апробиран създадения метод за проектиране и планиране на технически решения за минимизиране на хуманните и конструктивни рискове в изследваните обекти.
2. На основата на законите за запазване на масата и импулса са изведени зависимости за взаимодействието между на работата на струен вентилатор и спътното течение в тунел (израз 5.5).
3. Уточнени са изразите за коригиране на фабричния коефициент на ефективност на струен вентилатор с отчитане на скоростта и плътността на течението в тунела при аварийна ситуация в него (израз 5.21)
4. Изведени са зависимости за определяне на аеродинамичните съпротивления на въздушните течения във висока сграда и начините за интерпретация в компютърния модел (зависимости 6.3 и 6.4).
5. Приложен е инженерен подход при утилизирание на специализиран минен мрежов вентилационен софтуер към други структури интерпретирани кат мрежа.

IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Динчев З., **Н. Костадинова**, Ел. Власева, 2017, АДАПТИРАНЕ НА МИНЕН ВЕНТИЛАЦИОНЕН СОФТУЕР КЪМ ГРАЖДАНСКИ ОБЕКТИ, 60-та Международна научна конференция МГУ „Св. Иван Рилски“, Vol. 60-2017 JOURNAL of MINING AND GEOLOGICAL SCIENCE, part II Mining, Technology and Mineral Processing, Sofia 2017 стр. 33 - 38. ISSN 2535-1184
2. Динчев З., **Н. Костадинова**, Ел. Власева, 2018, НОВИ ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСИ ВЪВ ВЕНТИЛАЦИОННИ СИСТЕМИ, Шеста национална научно-техническа конференция “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 1 – 4 октомври 2018 г., Девин. стр.102-109. (ISSN 1314-7056)
3. **Kostadinova N.**, 2020, Jet fans efficiency in tunnel emergency situations, Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials (<https://seprm.com>) Volume 1 October Issue 2020, p. 47-52 ISSN 2738-7100 (print), ISSN 2738-7151(online)

SUMMARY

Title: Computer modelling of emergency events in ventilation networks

Author: Nadezhda Damyanova Kostadinova

The aim of this PhD thesis is to develop a unified method for network computer modelling of emergency risk events in the ventilation networks of underground mines, road tunnels and high buildings, considering their specificity.

The literature review shows an increased research interest in the application of specialized ventilation software in solving various tasks. Most commonly applied software programs are discussed, emphasizing on their unique features and applications. Based on these analysis programs VentSim Premium and MineFire Pro+ are selected for network computer modelling in presented study.

Ventilation systems of three network objects - underground mine, transport tunnel and high-rise building, are analyzed and application of above selected software products in regards of modelling accidental phenomena in them is presented. Statistical data concerning type, location, main reasons, and fire sources were analyzed. As a result, similarities and differences between three objects were summarized.

The functionalities of the selected specialized software are presented in Chapter 3 by modelling and solving various problems on the example of a small network to clarify the impact of emergency interference on typical network configurations.

In Chapters 4, 5 and 6 consequently for underground mine, transport tunnel and high-rise building main phases of computer modelling are systematized, reaching - adequate numerical models, clarified fire scenarios, their influence on ventilation systems, engineering solutions for minimization of accident outcomes. The obtained results are analyzed and summarized.

Pre-computer modelling specifics of selected networks are taken into account and expressions and algorithms are proposed.

Chapter 5 deals with a transport tunnel as a network. Most commonly applied longitudinal ventilation scheme with jet fans is considered. Research for interaction between jet flow and main flow, temperature change in case of fire, correction index for efficiency of jet fan operation, is performed. The key stages in computer modelling of emergency tunnel ventilation are specified.

Emergency ventilation of a high-rise building is the subject of research in Chapter 6. Based on analysis of flows and air leakages in a tall building, expressions for aerodynamic drag are derived and algorithms for interpretation in a computer model are proposed. Computer model is verified with real measurements.