



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

маг. инж. Диана Димитрова Македонска

**ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА СТАЦИОНАРНИ
ПОЖАРОГАСИТЕЛНИ ИНСТАЛАЦИИ В ПЪТНИ ТУНЕЛИ**

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: Техника на безопасността на труда и противопожарна
техника

Научни ръководители:

проф. д-р Михаил Михайлов

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 22.03.2021 г., съгласно Ректорска заповед № Р-231 от 10.03.2021 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р- 296 от 12.04.2021 г. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ и ще се проведе на 27.05.2021 г. от 14.00 часа в зала 621 на Лабораторен блок на МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересувалите 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 с.з.№ Р-296/12.04.2021 г. на Ректора на МГУ е в състав:

1. проф. д-р инж. Николай Жечев – председател
2. проф. д.т.н. инж. Иван Антонов, външен;
3. проф. д-р инж. Кръстю Дерменджиев, вътрешен;
4. изв. проф. д-р. инж. Веселин Спасов, външен;
5. доц. д-р инж. Валентин Чочев, външен;

Резервни членове:

2. проф. д-р инж. Велико Кертиков, външен;
3. доц. д-р инж. Захари Динчев, вътрешен;

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия
2. проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия

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

Автор: маг. инж. Диана Македонска

Заглавие: Изследвания върху ефективността на стационарни пожарогасителни инсталации в пътни тунели

Тираж: 25 броя

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

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Новото строителство и модернизацията на съществуващите пътни тунели имат като основна цел да направят българските тунели по-безопасни. Това е стремеж на повечето европейски страни да управляват ефективно оценените рискове.

Авариите в тунелите представляват актуален проблем, който изисква подобряване на безопасността в тях, което от своя страна изисква комплексни решения. Особени признаци при пожари в тунели са опасността за засегнатите лица и значителните материални щети, поради високите температури и токсичните газове, отделяни при горенето. Затова вниманието се насочва върху възможността за спасяване и евакуиране на хората, намиращи се в зоната на аварията.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Основната цел на дисертационния труд е минимизиране на последиците от пожар за пътниците и материалната среда в пътни тунели като се осигури:

- подобряване на условията за самоспасяване;
- предотвратяване разпространението на пожара към други превозни средства;
- ограничаване на структурните повреди на конструкцията на тунелите;
- подобряване на условията за достъп на службите за гасене и спасяване;

Задачи на дисертационния труд:

- Да се анализират събитията довели до въвеждането на стационарни пожарогасителни инсталации в пътни тунели и да се обоснове необходимостта от прилагането им;
- Да се изяснят възможностите за приложение на системите с диспергирана вода в пътни тунели;
- Да се изследва експериментално интензивността на оросяване на водната струя върху защитаваната площ от различни разпръскващи дюзи;
- Да се изследват дисперсните характеристики на разпръскващи дюзи за оптимален избор на пожарогасителна система;
- Да се определи вида на ефективна система за пътните тунели, която да превърне пожарната мрежа в пожарооросителна, без да променя действието на хидрантите.
- Да се разработи методика за проектиране на стационарни пожарогасителни инсталации в тунели, като елемент от цялостната система за безопасност на пътните тунели;
- Да се анализира действието на системата в съществуващите тунели при пожари на пътни превозни средства в тях.

Методите, чрез които са решени поставените задачи в дисертационния труд включват:

- Емпиричен метод – анализ на публикации, документи и резултати;
- Експериментална част в която е изследвана интензивността на оросяване, формата на факела, на разпръснатата водна струя от различни конструкции разпръскващи дюзи;
- Методи за измерване на налягане, дебит и определяне размера на капките;
- Изчислителни методи за обработване на резултатите от измерванията и подготовка за въвеждането им в специализирани софтуерни продукти;
- Сравнителен анализ.

Научна новост

Разработена е методика за определяне интензивността на оросяване на водата върху защитаваната площ.

Предложена е методика за проектиране на стационарни пожарогасителни инсталации с фино разпръсната вода в пътни тунели.

Практическа приложимост

Представената методика може да се прилага за изследване и на други видове пожарогасителни дюзи при различни налягания и ориентация;

Проектирането на такъв тип пожарогасителна система, освен в транспортни тунели може да намери приложение и в градски тунели, най-напред като водна завеса, която ще понижи димообразуването и саждите и по този начин ще защити хората, чакащи на спирките и евакуиращите се от автобусите.

Необходимо е да се дефинират и предложат допълнителни нормативни изисквания за изграждането на такива инсталации в тунели с дължина по-голяма от 500 m, голям трафик и особено при двупосочно движение, както и в други тунели в зависимост от оценката на риска.

Апробация

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

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 броя научни статии, представени на следните конференции:

1. Македонска Д.Д., Ел.Д. Власева. Пожарни инциденти в транспортни тунели – статистика, анализ, моделиране. 59-та Международна научна конференция МГУ „Св. Иван Рилски“, 28.10.2016, стр.56 – 63, Изд. къща „Св.Иван Рилски“, ISSN 1312-1820

2. Михайлов М., Д. Македонска. Намаляване на пожарния риск в пътни тунели. VIII Научна конференция с международно участие „Гражданска безопасност 2017“ в Академия на МВР.

3. Михайлов. М., Д. Македонска, Изследване на дюзи за пожарогасене с фино разпръсната вода в пътни тунели. ISSN 1314 – 2550 Топлотехника. Година X. Книга 1. стр.54 – 66

4. Михайлов, М., Д. Македонска, Необходимост от стационарни пожарогасителни системи в пътни тунели. 62-та Международна научна конференция МГУ „Св. Иван Рилски“, 23.10.2019 г., стр.60-65, Изд. къща „Св.Иван Рилски“, ISSN 1312-1820.

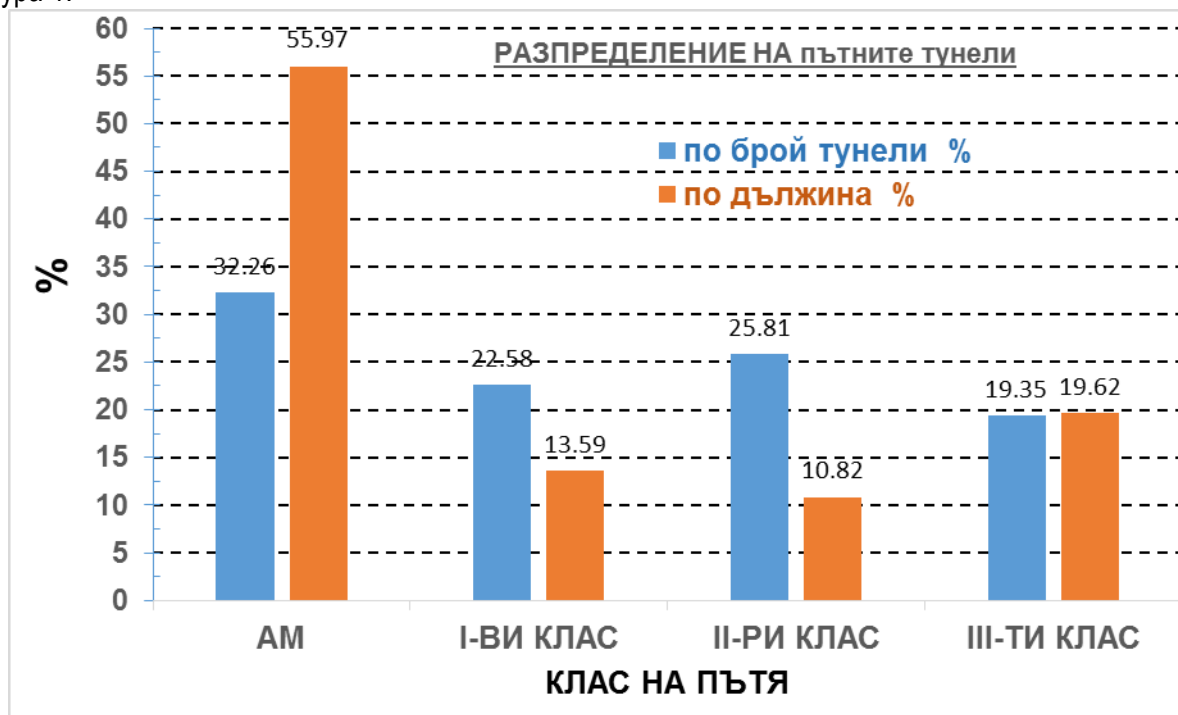
Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **213** страници, като включва увод, 6 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **136** литературни източници, като **94** са на латиница и **30** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **158** фигури и **52** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМА

Строителството на пътни тунели в България започва през 70-те години на миналия век. Построени са 31 пътни тунела с обща дължина 11 416 m, разпределени по класове, както е показано на фигура 1.



Фигура 1

Към момента най-дългия действащ пътен тунел е „Витиня“ с дължина 1 155 m, лявата тръба на който се привежда в съответствие с изискванията към тунелите по трансевропейската пътна мрежа. Продължава строителството на тунел „Железница“ от Автомагистрала „Струма“ с проектна дължина 2 040 m.

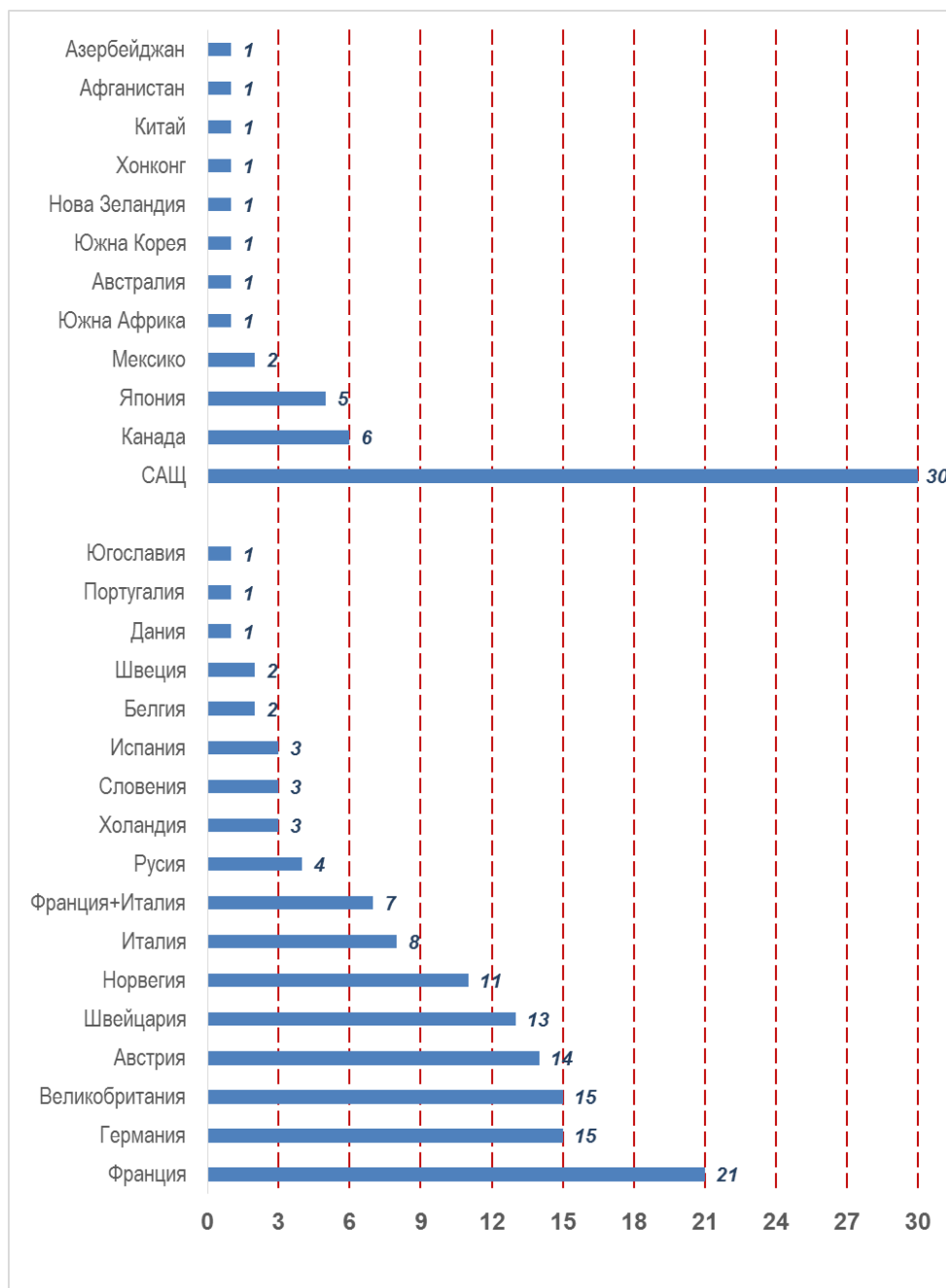
Новото строителство и модернизацията на съществуващите пътни тунели имат като основна цел да направят българските тунели по-безопасни. Това е стремеж на повечето европейски страни да управляват ефективно оценените рискове.

Възникналите пожари през последните години по цял свят показват, че инциденти, свързани с пожари в превозни средства могат да доведат до значителен брой жертви и сериозни материални щети, както на превозни средства, така също и на носещите и ограждащите конструкции на тунелите и оборудването им. Аварии в тунелите представляват актуален проблем, който изисква подобряване на безопасността в тях, което от своя страна изисква комплексни решения.

Пожарните инциденти в транспортните тунели за периода 1995-2009 са завършили с 1 193 жертви и големи материални щети, свързани преди всичко с конструкцията на тунелите.

Тежките пожарни инциденти в пътните тунели доведоха до приемане през 2004 година на директива на ЕС за повишаване на безопасността в тунелите. Тежките последици от станалите инциденти и Директивата дадоха тласък на редица изследователски проекти насочени към нови знания за обосноваване на пожарната безопасност на пътните тунели. В тази насока е и това изследване.

Пътнотранспортните произшествия, довели до пожарни инциденти в тунелите в Европа и по света, подчертават важността на тези съоръжения от човешка, икономическа и културна гледна точка. Особено тунелите с дължина над 500 метра са важни обекти, които улесняват комуникацията между големи региони на Европа и играят определяща роля за функционирането и развитието на регионалните икономики. На фиг. 2 е систематизирана информация за пожарни инциденти по държави.



Фигура 2. Пожари в пътни (авто) тунели

Обстановката, която се създава при възникване на пожар в тунел, налага извънредно трудна намеса за спасителните екипи. Доказателство за това са и едни от най-големите възниквали до момента пожари – пожар в тунел под „Мон Блан“, Франция-Италия, 1999 г. Пожар в тунел „Тауерн“, Австрия, 1999 г. и пожар в тунел „Сен Готард“, Швейцария, 2001 г.



Фигура 3. Изглед на пораженията след пожара в тунел „Мон Блан“

Разгледаните примери показват, че в автомобилните тунели могат да се развият сложни пожари и да бъдат нанесени значителни материални загуби. От решаващо значение за последствията от пожар на МПС в пътен тунел е ранното установяване на инцидента и възможността за бързо алармиране на аварийните служби.

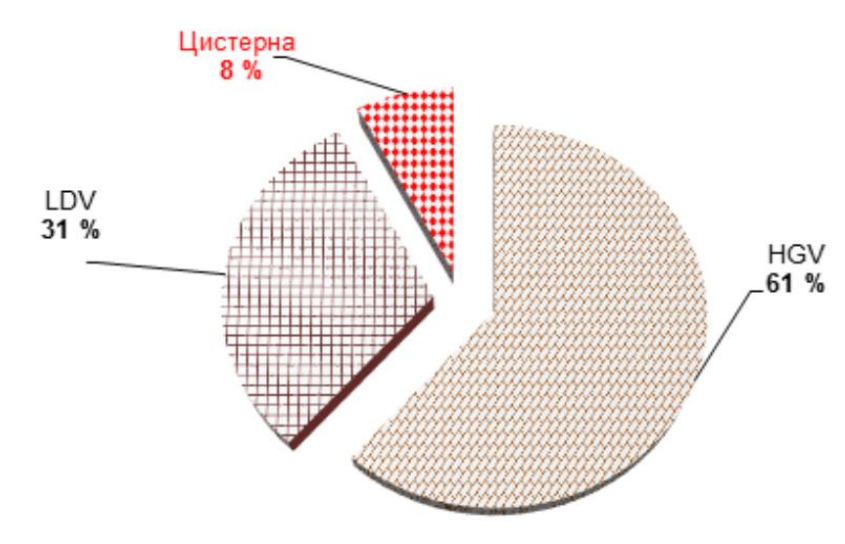
1.2. Причини за пожарите в пътни тунели

В табл. 1. са систематизирани причини за пожарите в пътни тунели. От данните в таблицата се вижда, че най-често срещаната причина за възникване на пожар е повреда на двигател на транспортно средство, като най-честа причина за такава повреда е дефект на електрическата система на автомобила. Като втора по значимост причина е катастрофа между два или повече автомобили.

Таблица 1. Причини за пожари в тунели

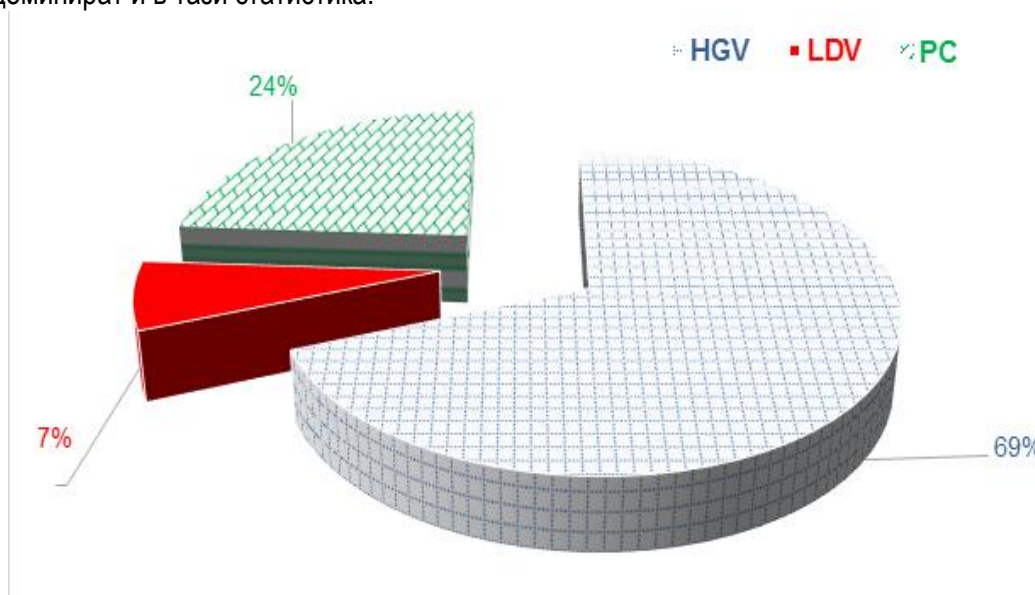
ПРИЧИНА ЗА ПОЖАР В ТУНЕЛ	ОТНОСИТЕЛЕН ДЯЛ %
Повреда в двигателя	36
Катастрофа	27
Опасни товари	8
Повреда на спирачна система	7
Петролни продукти	6
Аварии по време на строителство	5
Повреда в електрическата система	5
Запалване на гуми и гумени уплътнения	3
Теч на хидравлична течност	2
Умишлен палеж	1

В мащабно изследване, финансирано от Европейския съюз [1-15,1-21], се анализират причините за пожари в пътни тунели, както и вида на транспортните средства, участвали или причинили инцидента. На фиг.4. е показана част от тези анализи, от които се вижда, че тежкотоварните (HGV) автомобили са с доста висок дял (61%).



Фигура 4. Товарни средства, участвали в пожарни инциденти

На фиг. 5 е показано разпределението на жертви от пожар и от пожари в тунели за периода 1987-2006 г. по вид на транспортното средство, участвало в инцидента. Отново тежкотоварните автомобили доминират и в тази статистика.



Фигура 5. Пожари с жертви – по вид на транспортно средство

Както се вижда от графиките, тежкотоварните автомобили (HDV) имат сериозен дял при пожарите в тунели за последните 20 години, в сравнение с леките (PC) и лекотоварните (LDV) превозни средства.

1.3. Пожарна безопасност в пътни тунели

След големия брой пожари в значими тунели от европейската инфраструктура Европейската комисия прави преглед на безопасността в тунелите. Проведени са редица проучвания и международни програми за установяване на условията в тунелите и възловите рискови фактори. Резултатите от тях са обединени и анализирани с идеята за унифициране на изискванията за проектиране и експлоатация на тунелите и са създадени нови разпоредби за безопасност.

В системата за безопасност на транспортен тунел може да се отделят 6 подсистеми, показани на фиг.6. С изключение на „Пасивна защита“ и „Сензори“ всички останали елементи на системата за

безопасност са динамични системи, чиито действия се определят от конкретната аварийна ситуация и трябва да се разглеждат като взаимно зависещи една от друга.

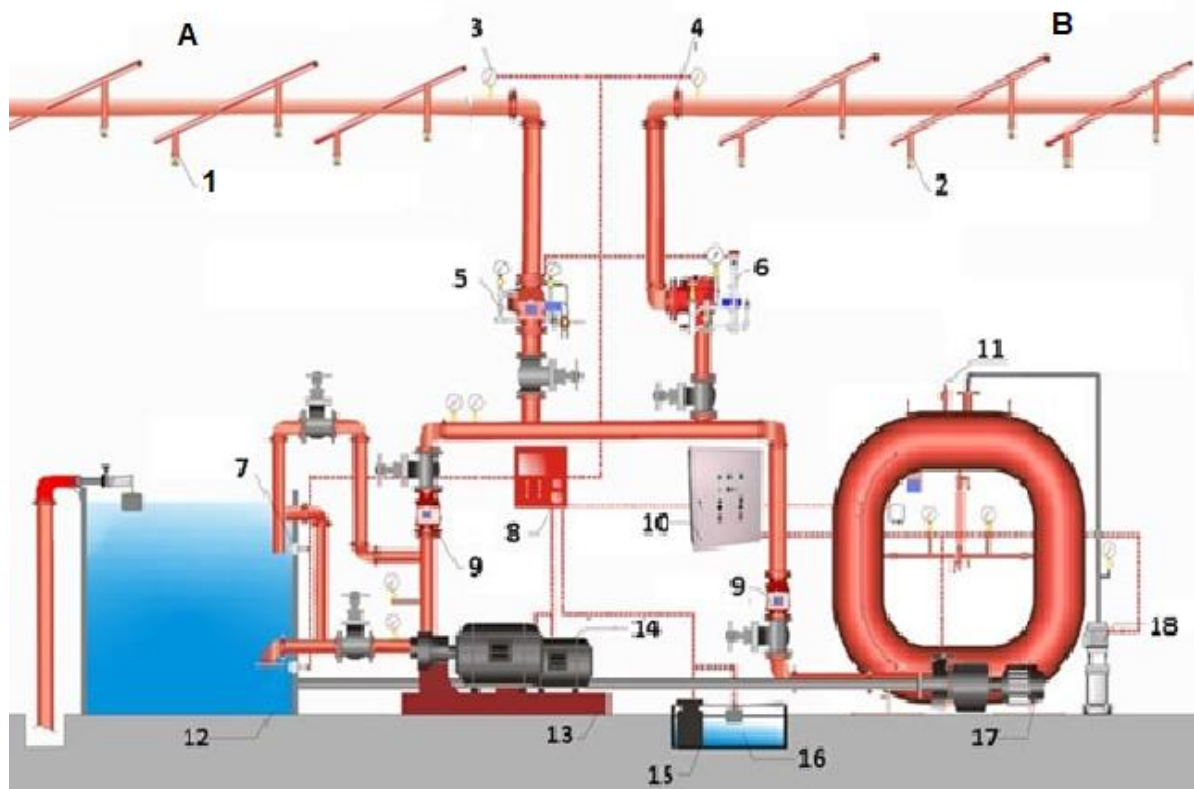


Фигура 6. Интегрирана (свързана) система за безопасност на тунел

I.4. Стационарни пожарни инсталации в пътни тунели

Под стационарна пожарогасителна система (СПГИ) се разбира система, състояща се от определен запас пожарогасително вещество, свързан към една или повече стационарни дюзи, през които веществото се подава ръчно или автоматично, за гасене на огън.

Дренчерната система (фиг. 7.) се състои от контролно-сигнално устройство и тръбна редица, снабдена с дренчери, помпена група, тръби и тръбна арматура.



Фигура 7. Принципна схема на автоматична дренчерна инсталация

1,2-разпръсквачи; 3-датчик за налягане в тръбопровода; 4-монтажни елементи за тръбопроводите- разглобяеми съединения; 5-вграден контролен блок; 6- устройство за управление на въздуха на базата на клапан ACS; 7- датчик за ниво на течността в резервоара; 8-клапан за управление на разпръсквачите; 9-възвратна клапа; 10-оборудване за управление на помпите; 11-автоматична система за поддържане на налягането в тръбопроводите; 12-резервоарът с течен пожарогасителен агент; 13 –помпа основна; 14-помпа резервна; 15-дренажна помпа; 16-отводнителна шахта; 17- жокей помпа; 18-компресор.

Дренчерната система се задейства при предварително зададени температури, за да се разпръсне водата в защитаваната площ. Потокът вода през сигналния клапан инициира пожарна тревога. В общия случай температурата на задействане се определя така, че да съответства на температурните условия в тунелната среда.

От съществено значение е гасителните системи с разпръсната вода да бъдат съответно поддържани, за да може да се гарантира функционална годност и работоспособност в аварийен случай.

ИЗВОДИ към ГЛАВА 1

От проведения анализ на проблема са направени следните по-важни изводи:

1. Честотата на възникналите пожари в пътни тунели е по-малка отколкото по сравними авто-пътища извън тях. От табл.1.2 се вижда, че последиците от аварии в тунелите създават по-големи опасности и по-тежки загуби за пътниците и материалната среда, включително за конструкцията, оборудването на тунела и превозните средства в него.
2. В пътните тунели могат да се развият сложни пожари със значителни хуманни и материални загуби. Анализът на възникналите аварии в автомобилните тунели налага следния извод – използваните пасивни и активни мерки, осигуряващи понастоящем пожарната безопасност в тунелите не са достатъчни.
3. В страната не са извършвани експериментално-теоретични изследвания за проследяване развитието на пожари в тунели и съответно тяхното контролиране чрез стационарни пожарогасителни системи.
4. В резултат на извършеното проучване и при проведения анализ не са установени достатъчно данни за натурни изследвания върху ефективността на стационарни пожарогасителни инсталации в пътни тунели по света.
5. Няма достатъчно пожари загасени със стационарни пожарогасителни инсталации, с изключение в Япония, но използването им се приема за достатъчно за ограничаване на скоростта на топлоотделяне и поддържане на пожара на много по-ниско енергийно ниво.
6. След направения сравнителен анализ на използвани стационарни пожарогасителни системи в тунели в Европа и по света се установи, че те значително биха подобрили безопасността на пътниците, на спасителните екипи и на конструкцията на тунелите в България.

ГЛАВА 2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Основната цел на дисертационния труд е минимизиране на последиците от пожар за пътниците и материалната среда в пътни тунели като се осигури:

- подобряване на условията за самоспасяване;
- предотвратяване разпространението на пожара върху други превозни средства;
- ограничаване на структурните повреди на конструкцията на тунелите;
- подобряване на условията за достъп на службите за гасене и спасяване;

Задачи на дисертационния труд

- Да се анализират събитията довели до въвеждането на стационарни пожарогасителни инсталации в пътни тунели и да се обоснове необходимостта от прилагането им;
- Да се изяснят възможностите за приложение на системите с диспергирана вода в пътни тунели;
- Да се изследва експериментално интензивността на оросяване на водната струя върху защитаваната площ от различни разпръскващи дюзи;
- Да се изследват дисперсните характеристики на разпръскващи дюзи за оптимален избор на пожарогасителна система;
- Да се определи вида на ефективна система за пътните тунели, която да превърне пожарната мрежа в пожарооросителна, без да променя действието на хидрантите.

- Да се разработи методика за проектиране на стационарни пожарогасителни инсталации в тунели, като елемент от цялостната система за безопасност на пътните тунели;
- Да се анализира действието на системата в съществуващите тунели при пожари на пътни превозни средства в тях.

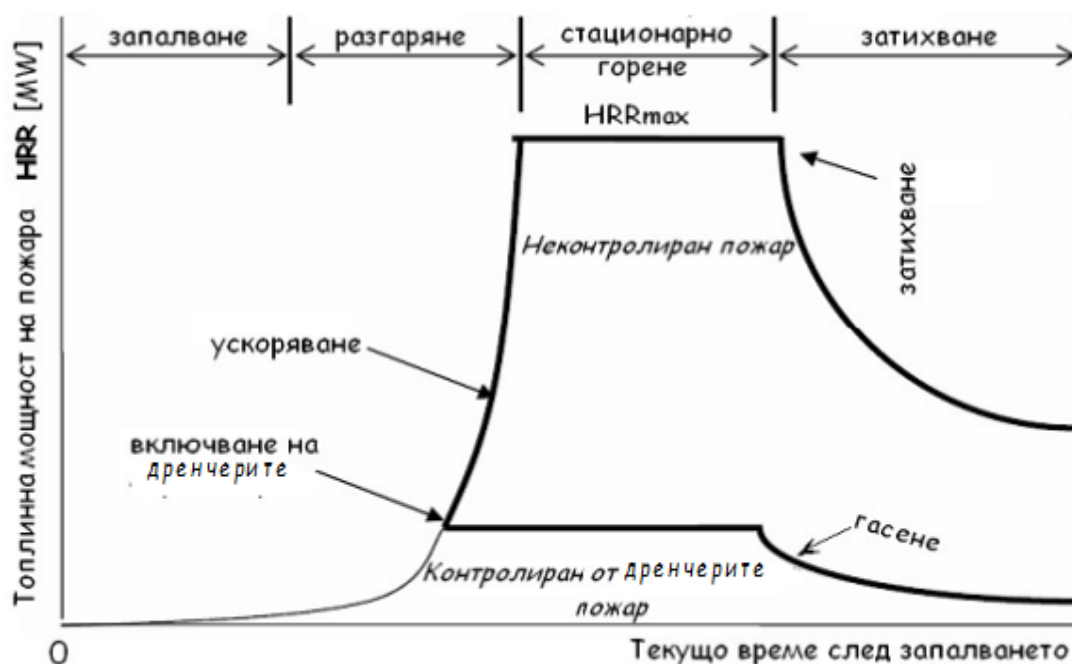
ГЛАВА 3. НЕОБХОДИМОСТ ОТ СТАЦИОНАРНИ ПОЖАРОГАСИТЕЛНИ ИНСТАЛАЦИИ В ПЪТНИ ТУНЕЛИ

В пътните тунели с голям трафик се очаква предприемането на конкретни аварийни мерки с цел да се предотвратят и ограничат последиците от пътнотранспортни произшествия и други критични събития, свързани с пожари, които могат да застрашат човешкия живот, конструкцията и съоръженията в тунела или да предизвикат замърсяване на околната среда.

Целта на настоящото изследване е да проследи динамиката на пожарите в пътни тунели, като отчете времето за реакция на службите за ПБЗН, обоснове необходимостта от използването на стационарни пожарогасителни системи в тях, както и провеждане на обучение за поддържане и актуализиране на тактическата подготовка на състава от РСПБЗН, осъществяващ пожарогасителна и аварийно-спасителна дейност в тези подземни обекти.

III.1. Динамика на проектни пожари в пътни тунели

Динамиката на пожара има съществено значение за проектирането на аварийния вентилационен режим, пожароизвестяването и пожарогасенето в тунела.

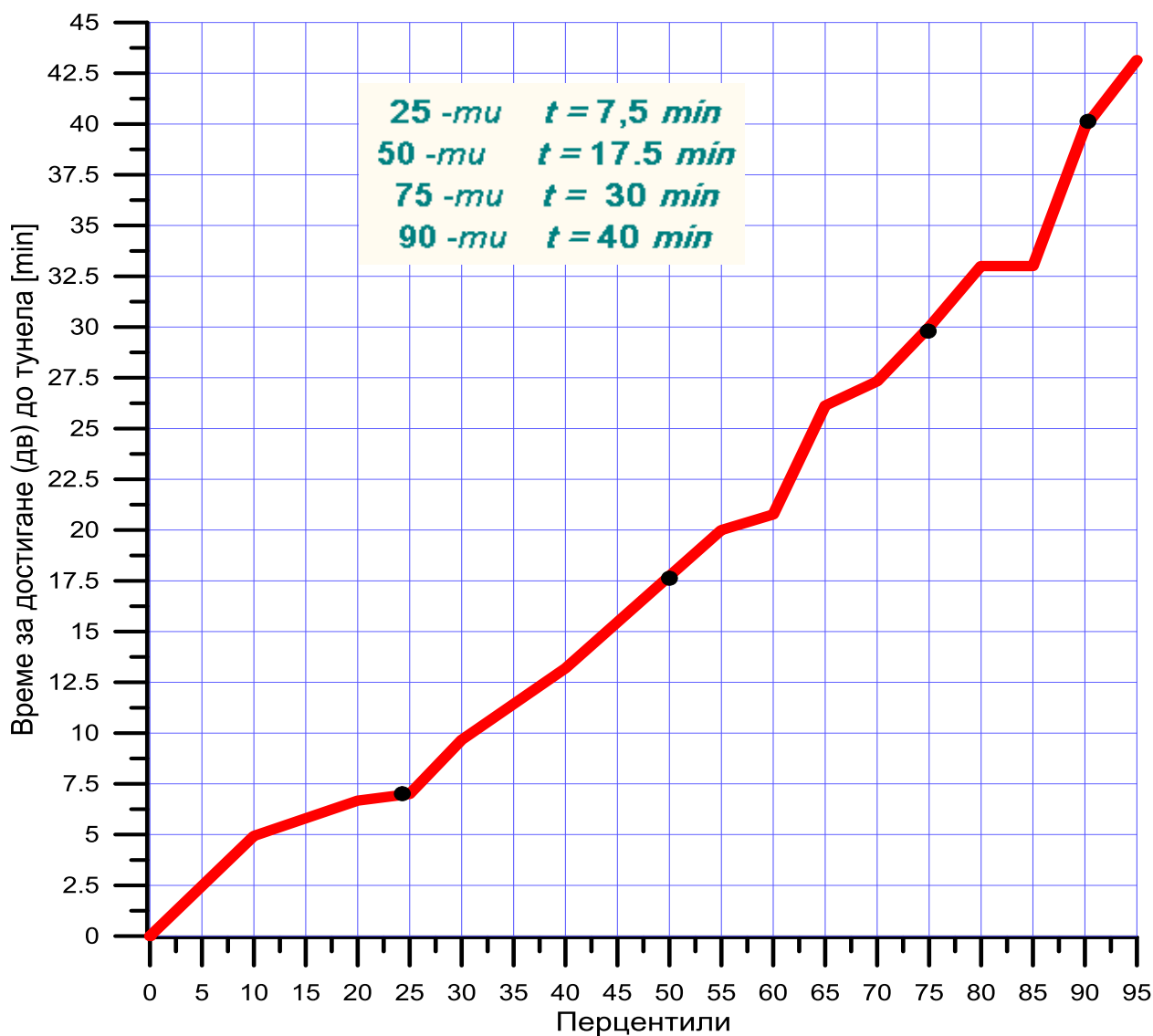


Фигура 8. Стадии на развитие на пожар в тунел

Скоростта на генериране на топлина (HRR) е основна характеристика на динамиката на развитие на пожара. От нея зависи производството на нежелани ефекти от пожара и на неговите продукти, които се повишават с нарастване на HRR. Това означава, че токсичните газове, димът, температурата и други видове опасности от пожар нарастват паралелно с увеличаване темпа на отделяне на топлина.

III.2. Време за реакция на службите за ПБЗН

Времето за откриване на пожарен инцидент в даден тунел има решаващо значение за началото на евакуация на пътниците и на реакцията на аварийно-спасителните служби. Анализирани са времената за достигане на службите на ПБЗН до 30 тунела с дължина над 100 m. На тази база е построена кривата на фиг.9.

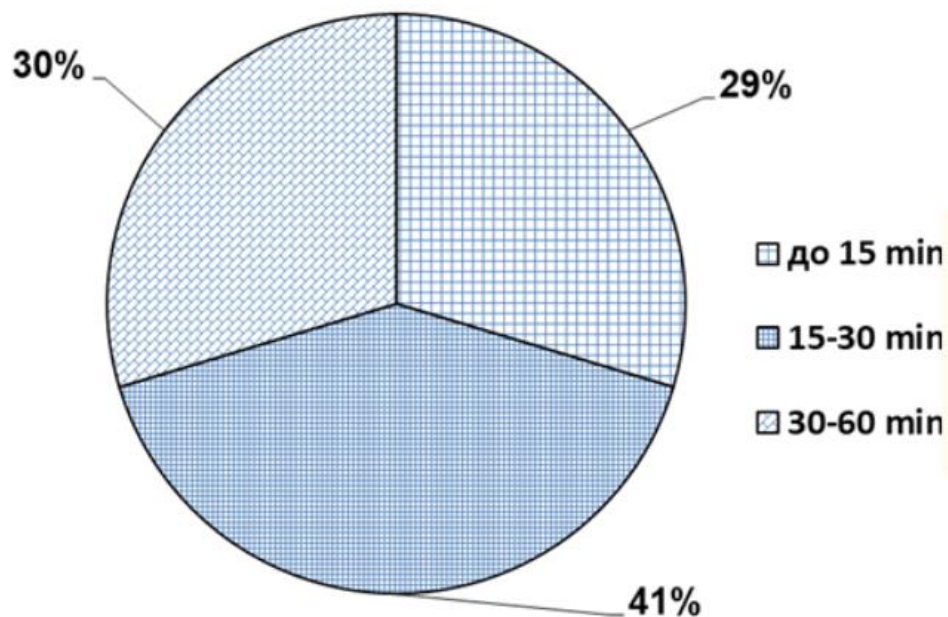


Фигура 9. Време за достигане на пожарната служба до тунела

За $\frac{1}{4}$ от тунелите, това време е 7,5 минути. За 90 % от тунелите, това време е по-малко или равно на 40 минути.

Тези времена са важни за планиране на пожарния резерв, с който тунела трябва да разполага и се използват в методиката за оразмеряване на водния резервоар.

В 29 % от тунелите в България действията на служителите от РСПБЗН ще започнат пожарогасене до 15-та минута след получаването на сигнала за пожар. В останалите 71 % от тунелите разположени на територията на страната пожарогасене ще започне след 15-та минута от получаването на сигнала за пожар, при което пожарите ще са достигнали максималната си мощност (HRR_{max}).



Фигура 10. Време за реакция на службите за ПБЗН при пожар в тунелите

Споменатите обстоятелства налагат необходимостта тунелите да бъдат защитени със стационарна водна пожарогасителна система или други подходящи средства за създаване на благоприятна среда за безопасна евакуация и достъп на аварийна помощ. Необходимостта се обосновава с краткото време за разгаряне на пожара, след което се затруднява гасенето, поради невъзможността пожарникарите да се приблизят достатъчно до зоната на горене.

Специфичните особености при възникването и развитието на пожарите в пътните тунели налагат необходимост от системно поддържане и повишаване тактическата подготовка на състава, осъществяващ пожарогасителна и аварийно-спасителна дейност в тези обекти.

Обучението трябва да се организира и провежда в две обичайни направления: теоретична подготовка и практическо обучение.

Теоретичното обучение трябва да обхваща основните принципи, методи и особености в гасенето на пожари в пътни тунели и тяхното практическо прилагане.

Практическото обучение има за цел придобиване на знания и умения необходими за правилна преценка на обстановката при пожар, избор на най-подходящите пожарогасителни вещества и умело ръководство на силите и средствата, осъществяващи гасенето.

ИЗВОДИ към ГЛАВА 3

1. Времето за откриване на пожарен инцидент в тунела има решаващо значение за началото на евакуация на пътниците, за реакцията на аварийно-спасителните служби и началото на пожарогасенето. Използването на адресируеми пожароизвестителни инсталации ще спомогне за изпращане на сигнал за открит пожарен инцидент в спасителните служби, като ще задейства и други инсталации и съоръжения като съседни камери за наблюдение, аварийна вентилация, сигнализиране на движението, аварийно осветление и др.

2. От направените изследвания и анализи може да се заключи, че в 29 % от тунелите в България силите от РСПБЗН ще започнат пожарогасене до 15-та минута, след получаването на сигнала за пожар. В останалите 71 % от тунелите разположени на територията на страната, пожарогасене ще започне след 15-та минута от получаването на сигнала за пожар, при което пожарите ще са достигнали максималната си мощност.

3. Времето за пристигане на противопожарните екипи и момента на започване на гасителните действия зависи от мястото на пожара в тунела, достъпа на противопожарния автомобил и степента на познаване на тунела от бойните групи. Познаването на реалната обстановка предполага избор на правилна тактика.

4. Тези обстоятелства налагат необходимостта тунелът да бъде защитен със стационарна водна пожарогасителна система или други подходящи средства за създаване на благоприятна среда за безопасна евакуация и достъп на аварийна помощ.

5. Разглежданият проблем се усложнява допълнително и от факта, че при възникване на пожар ще се увеличи дебитът на вентилацията в тунела с цел да се осигури безопасна пешеходна евакуация, с което нараства и мощността на пожара.

6. Във връзка със специфичните особености при възникването и развитието на пожарите в пътните тунели е необходимо системно да се поддържа и повишава тактическата подготовка на състава, осъществяващ пожарогасителна и аварийно-спасителна дейност в тези обекти.

7. Стационарните пожарогасителни системи могат да контролират пожарите, да запазват тунелната конструкция, да предотвратят линейното разпространение на пожара в тунела и върху други превозни средства и системи.

ГЛАВА 4. ПЕРСПЕКТИВА НА ДРЕНЧЕРНИ СИСТЕМИ В ТУНЕЛИ

IV.1. Конструкция и горими материали в пътните тунели

Конструкцията на пътните тунели се проектират при спазване изискванията на Наредба № РД-02-20-2 от 21 декември 2015 г. за технически правила и норми за проектиране на пътни тунели (ДВ., бр. 8 от 29 януари 2016 г.) и на действащите национални нормативни актове за проектиране на конструкциите на строежите, в т.ч. за основните положения и за въздействията върху тях.

Горими материали в пътните тунели

Всеки пожар в пътен тунел е реализиран пожарен риск. Загубите от него са хуманни и материални. В материалните загуби се включват директно засегнатите превозни средства и конструкцията на тунела. Последната, трябва да се характеризира не само с вида и дължината на увредените конструкции, а преди всичко с времето за функционално възстановяване на движението в тунела.

Необходим е анализ на разпределението на пожарното натоварване в превозните средства, за да се установи потенциала на недиференцираните източници за разпространение на пожара.

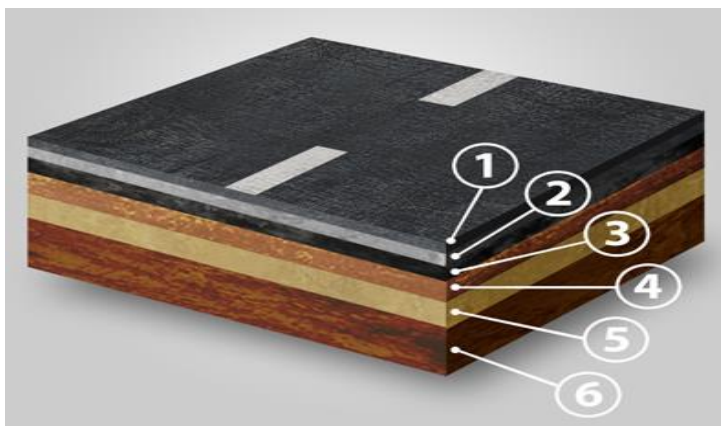
Като пример се анализира участието на автомобилни гуми в пожарното натоварване на леки автомобили с различни размери. В табл. 2. се сравняват три класа автомобили с резервоар за гориво пълен до 45 dm³ и 66 dm³. Данните в последната колона на таблицата показват, че гумите формират от една четвърт до повече от една трета от калоричния потенциал на автомобила.

Таблица 2. Сравнение на три класа автомобили

ГОРИМ МАТЕРИАЛ	КОЛИЧЕСТВО [kg]	HRReff [MJ/kg]	Q [MJ]	Q [%]
МАЛЪК АВТОМОБИЛ				
Гуми 185/70 R13 или 175/65 R14	28.8	30	864	25.78
Дизел	40	42.6	1 704	50.85
Масла	5.5	42.85	235.7	7.03
Седалки 4x5 кг	18	22.78	410.04	12.24
Електрически кабели	1.5	19.41	29.1	0.87
Гумени постелки	4	27	108	3.22
ОБЩО	97.8		3 350.8	100
СРЕДЕН АВТОМОБИЛ				
Гуми 195/65 R15	36	30	1080	30.28
Дизел	40	42.6	1 704	47.77
Масла	5.5	42.85	235.7	6.61
Седалки 4x5 кг	18	22.78	410.04	11.50
Електрически кабели	1.5	19.41	29.1	0.82

Гумени постелки	4	27	108	3.03
ОБЩО	105		3 566.8	100
ГОЛЯМ АВТОМОБИЛ				
Гуми \geq R20	60	30	1800	38.19
Дизел	50	42.6	2 130	45.20
Масла	5.5	42.85	235.7	5.00
Седалки 4x5 кг	18	22.78	410.04	8.70
Електрически кабели	1.5	19.41	29.1	0.62
Гумени постелки	4	27	108	2.29
ОБЩО	139		4 712.8	100

Асфалтово пътно покритие. Асфалтът е лепкава, черна и полутечна маса, съставена основно от битум - остатък от рафинирането на нефта. Структурата на пътното покритие с асфалт е показана на фиг. 11. Повърхностният слой (1) е асфалтобетон, който представлява смес на асфалт, пясък и трошен камък. В тази смес асфалтът играе роля на свързващо вещество, което слепва отделните агрегати.

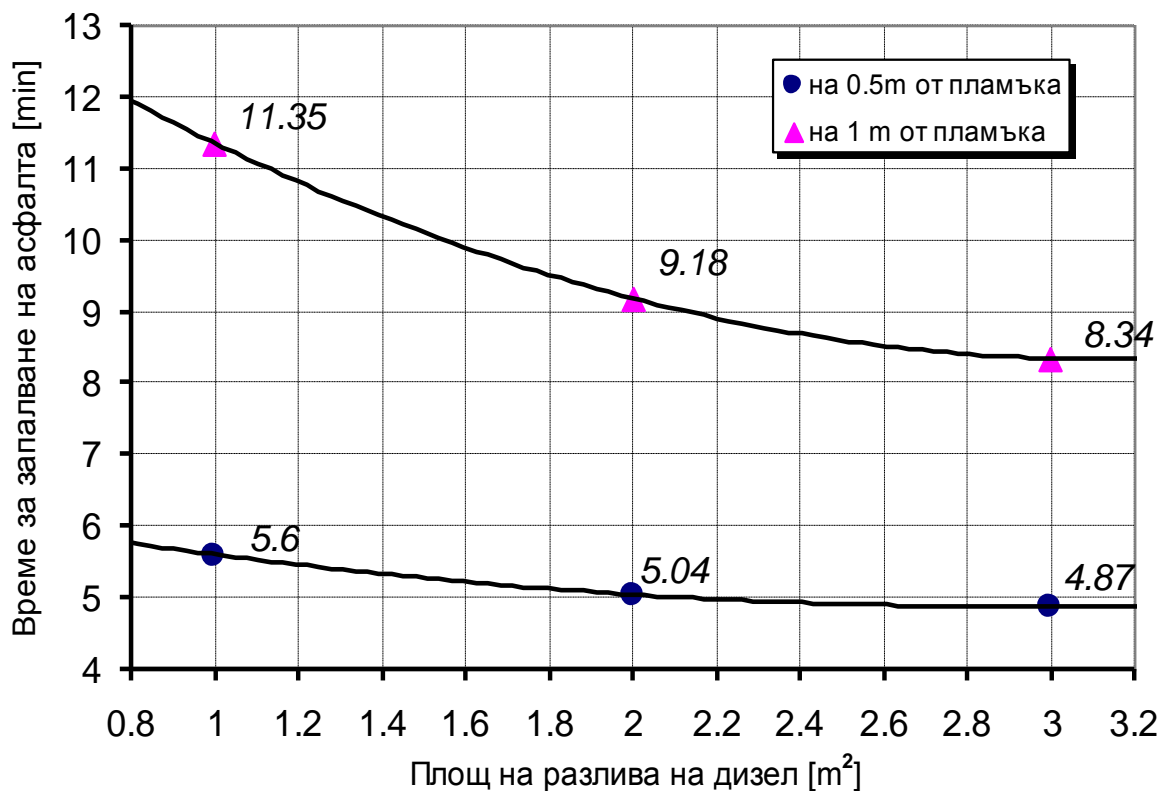


- 1) Повърхностен слой
- 2) Свързващ слой
- 3) Долен асфалтов слой
- 4) Пътна основа
- 5) Фундамент
- 6) Скална основа

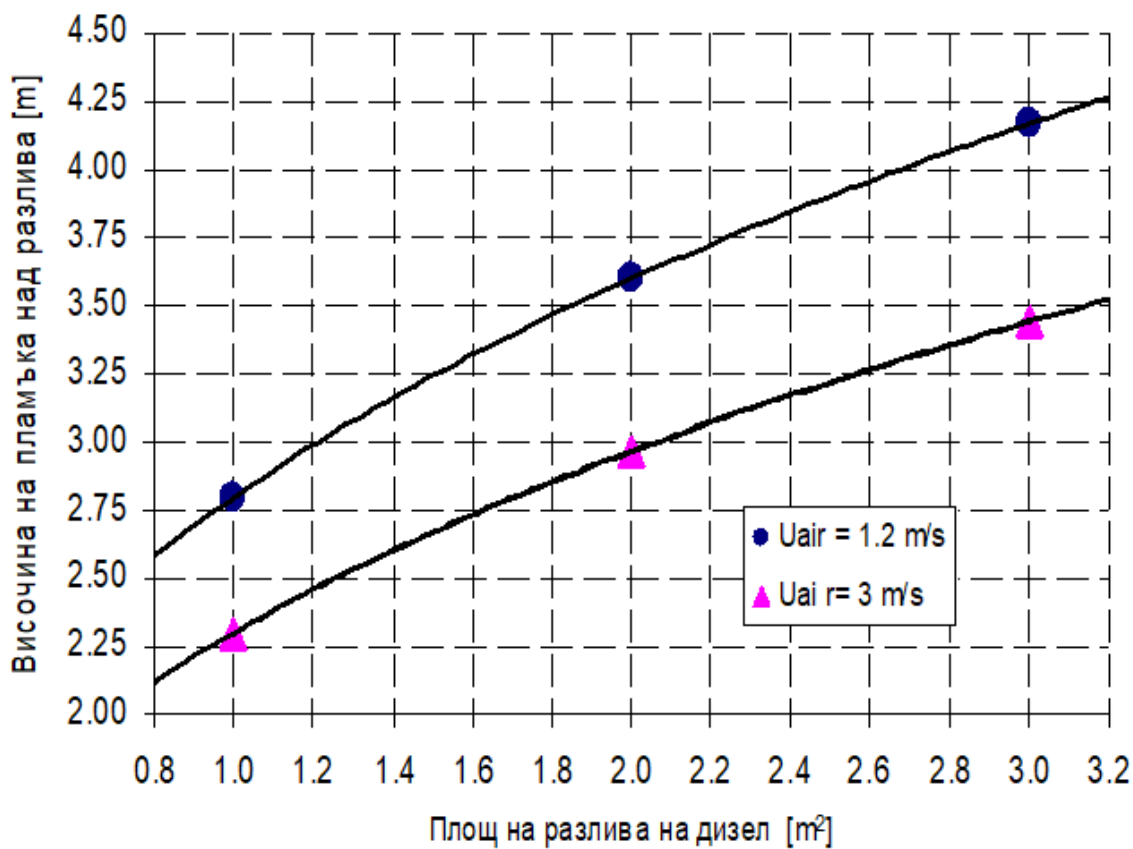
Фигура 11. Структура на пътно асфалтово покритие

Разглежда се промяната на пожарното натоварване на тунела от асфалтовото пътно покритие, при иницииран пожар от разлив на горима течност с различна площ. В момента на възникване на пожара в тунела действа нормална вентилация със скорост 1.2 m/s. След откриване на пожара се включва аварийна вентилация със скорост 3 m/s, която трябва да предотврати обратното разпространение на пожара и дима в тунела за безопасна пешеходна евакуация.

Резултатите от моделирането са представени на фигури 12 и 13. На близко разстояние (1/2m) от повърхността на пламъка (фиг.12) времето за запалване на асфалта се влияе твърде малко, може да се каже незначително от площта на разлива и остава около 5 минути.



Фигура 12. Време за запалване на асфалта в зависимост от площта на разлива



Фигура 13. Височина на пламъка над разлива в зависимост от площта му

На двойно по-голямо разстояние (1m) асфалта е по-чувствителен към нарастване на площта на горящия разлив, видно от промяната на наклона на съответната крива на фиг.12. Двете разстояния на

фигурата са избрани с оглед участието на асфалта в разпространението на пожара и неговия принос във верижно запалване.

Представа за това как тягата на пожара и аварийната вентилация променят максималната височина на пламъка е показана на фиг. 13. Площта на разлива има голямо влияние върху височината на пламъка (наклона на кривите) и се влияе по-малко от скоростта U_{air} на въздушното течение, което постъпва в пожарното огнище.

Горенето на гумите е съпроводено с отделяне на голямо количество токсични газове и много плътен дим, които затрудняват евакуацията. Експлозията на гумите (фиг.14) при пожар в тунел може да бъде предотвратена чрез напompването им с азот.



Фигура 14. Експлозия на автогуми

Основното изискване към пътищата включително и тези в тунелите е постигането на безопасност на пътуващите по тях. Пожарите в пътни тунели са доминиращ потенциален риск, който може да бъде редуциран до приемливо ниво. Това предполага конструктивно намаляване на последиците (загубите) от пожар, чрез намаляване на пожарното натоварване на пътните тунели.

IV.2. Технологии за въздействие върху пожара

Днес стационарните противопожарни системи са утвърдена технология за подобряване на безопасността в тунелите. Стационарните противопожарни системи са активен начин за борба с пожарите в тунели. Те са нов метод за подобряване на пожарната безопасност в сравнение с конвенционалните технологии като пасивна защита и вентилация.

Общите изисквания за стационарните пожарогасителни системи са представени в таблица 3.

Таблица 3. Изисквания към стационарни пожарогасителни системи

ИЗИСКВАНЕ	МЕТОД	ЕФЕКТ
Подобряване на условията за самоспасяване	Незабавно охлаждане на пространството около огъня; Намаляване на образуването на дим и по-добра видимост; По-малко токсични газове;	Пътниците в тунелите имат по-безопасни условия за евакуация и по-добри условия за оцеляване в случай на заклещване;
Подобряване на достъпа на спасителните екипи	Ограничаване скоростта на отделяне на топлина (HRR) Незабавно охлаждане на пространството около огъня; Намаляване образуването на дим и по-добра видимост; Блокиране на лъчистата топлина;	Пожарните и спасителните служби имат по-лесен достъп до огъня за борба с пожара. Достъпът може да се направи и от двете страни на пожара с нормално защитно оборудване. Системите увеличават безопасността на пожарникарите;
Предотвратяване на разпространението на огъня	Ограничаване скоростта на отделяне на топлина; Незабавно охлаждане на пространството около огъня;	Пожарът може да бъде ограничен до първото превозно средство. Голяма опасност при наличие на товарни автомобили (камиони);

	Блокиране на лъчистата топлина;	
Ограничаване на щетите на тунелната структура	Незабавно охлаждане на пространството около огъня; Блокиране на лъчистата топлина.	Тунелната структура и оборудването няма да бъдат подложени при същата експозиция време и температура, ако не се използва системата. Позволява по-кратко време за възстановяване след пожара.

В зависимост от прилаганата технология посочените изисквания могат да бъдат изпълнени на различни нива. NFPA 502 предоставя основна информация и инженерни изисквания за системи, които да бъдат инсталирани в тунели.

IV.3. Пожарогасителна ефективност на диспергирана водна струя

Водата е най-често срещаният пожарогасителен агент. Той има висок специфичен топлинен капацитет и латентна топлина на изпаряване, химическа инертност към повечето вещества и материали, ниска цена и наличност.

Предимствата на диспергираната водна струя стават очевидни, когато диаметърът на капчиците е по-малък от 300 микрона. Отстраняването на топлината от пламъка и повърхността на горящия материал и малките капчици се изпаряват и се освобождава голямо количество пара, което намалява обемната концентрация на кислород O_2 и по този начин допълнително потиска горенето. Малките капчици силно намаляват топлинното излъчване на огъня и не позволяват развитието на нови огнища. Това позволява да се локализира центъра, което не се постига с друг метод за потушаване на пожар.

ИЗВОДИ към ГЛАВА 4:

1. При направения анализ на някои от участващите компоненти в пожарното натоварване в пътните тунели, като автомобилни гуми и асфалтово покритие се установи, че при запалване променят динамиката на пожара. Горенето на гуми и асфалт е съпроводено с отделянето на голямо количество токсични газове и много плътен дим, които затрудняват евакуацията.

2. Промяната на динамиката на пожара за сметка на нарасналото пожарно натоварване, затруднява пожарогасенето и създава опасности за конструкцията, съоръженията в тунела, пътуващите и спасителните екипи;

3. Диспергираната водна струя значително увеличава ефективността на гасенето. Предимствата на диспергираната водна струя стават очевидни, когато диаметърът на капчиците е по-малък от 300 микрона.

4. Водните капки намаляват лъчистата топлина, получена от заобикалящата тунелна среда, като този "екраниращ" ефект помага да се предотврати разпространението на огъня и да се защитят пътниците, бягащи от пожара.

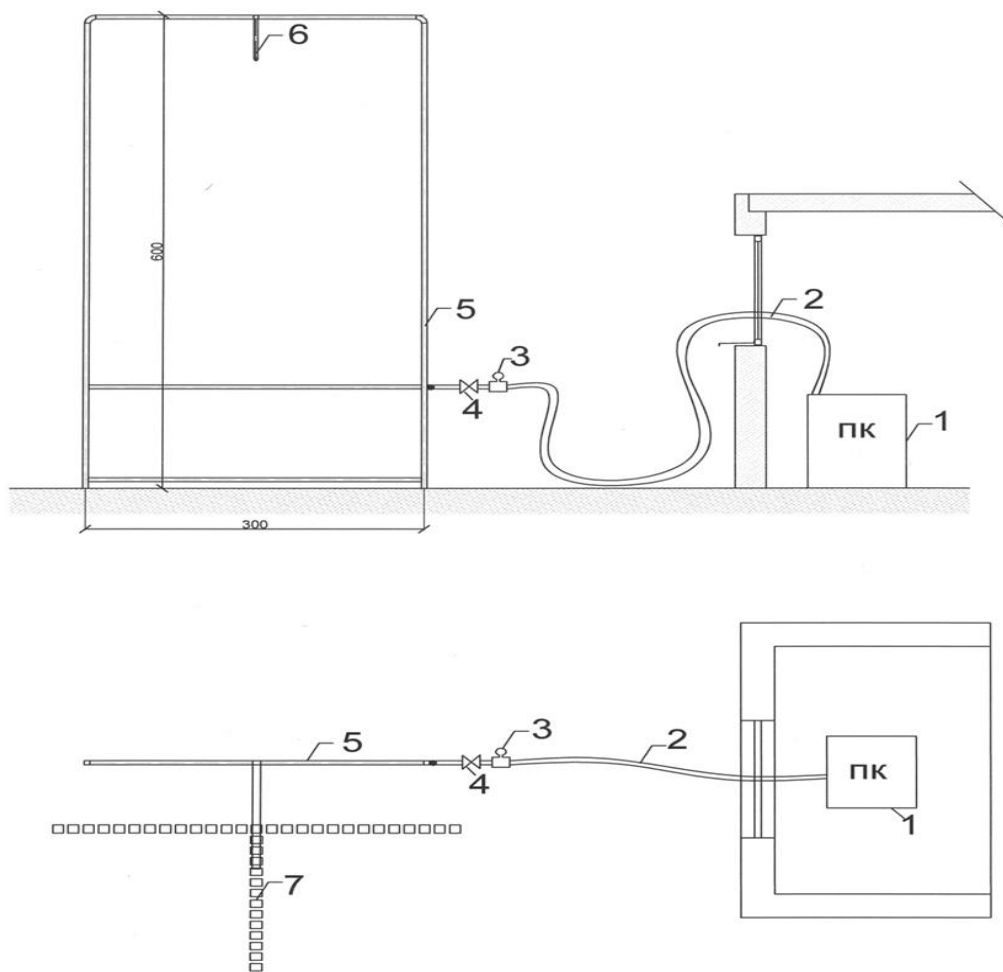
ГЛАВА 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИЛОЖИМИ КОНСТРУКЦИИ ВОДНИ РАЗПРЪСКВАЩИ ДЮЗИ

Една от задачите, поставени във втора глава на разработката, е да се изследват дисперсните характеристики на разпръскващи дюзи за да се оптимизира избора на подходящи дюзи за съответната система. Това изследване премина през експериментално измерване характеристиките на няколко

дюза със специално конструиран стенд, след което измерванията бяха обработени съобразно представената методика.

V.1. Методика на експерименталното изследване

Експерименталният стенд (тръбна конструкция), с който бяха извършени експерименти за поведението на разпръскващи дюзи, беше изграден в двора на Лабораторния блок на Минно-геоложкия университет. На фигура 15 е показана принципна схема на стенда. На специална добре укрепена конструкция (фиг. 16 а) е поставена тръба на височина 6 м, в края на която е поставена разпръскваща дюза (позиция 6 на фиг. 15 и фиг.16 б). Изградена е система за контролирано подаване и спиране на вода, измерване на дебита (фиг.16 в) и проследяване на работното налягане (позиция 3 на фиг. 15 и фиг.17 а) в системата. Работното налягане се осигурява от пожарен кран или противопожарен автомобил.



Фигура 15. Стенд за изследване разпределението на интензивността на покритие на водната струя от разпръскваща дюза

1 - пожарен кран; 2 – шланг; 3 - манометър с обхват 10bar; 4 – спирателен кран; 5 – захранващ тръбопровод; 6- разпръскваща дюза ; 7 – мерителни съдове;



а) стабилизиране на рамката



б) разпръскваща дюза



в) издигане на конструкцията



г) общ вид на стенда

Фигура 16. Етапи при конструиране и изграждане на експерименталната установка

Изследвани са разпръскващи дюзи с различни характеристики. Целта на експеримента е да се определи ъгъла на действие на дюзата (фиг.17б), зоната и интензивността на оросяване, както и размера на капките в изследвания оросителен участък. За да се определят тези характеристики на терена в оросителната зона бяха разположени еднакви мерителни съдове (позиция 7 на фиг. 15 и фиг. 17 г) във формата на буква Т с широчина 3 m и дължина 1,5 m. На фиг. 17 в е показан разходомера, с който беше контролиран подавания дебит, а на фиг. 17а е показан манометъра по който се отчиташе налягането.



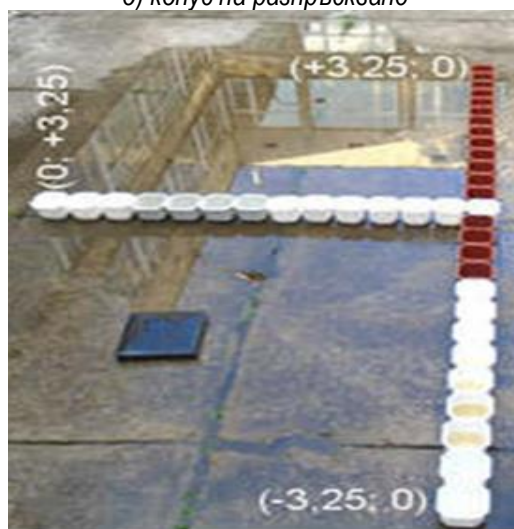
а) Манометър



б) конус на разпръскване



в) Разходомер Badger Meter

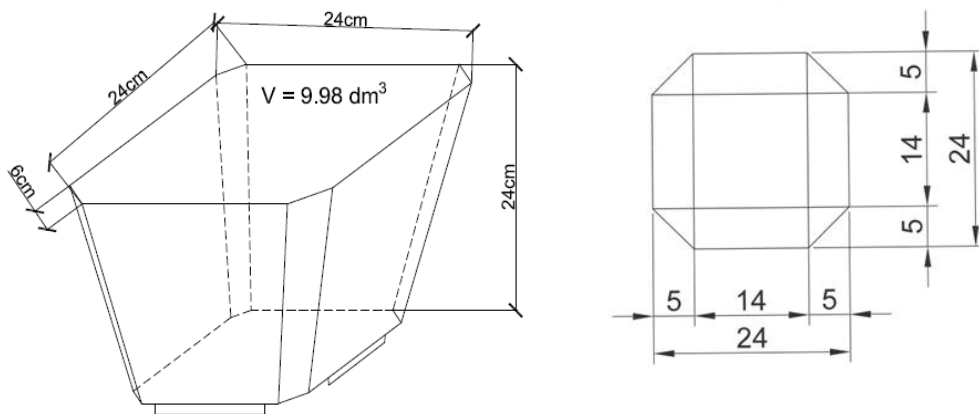


г) мерителни съдове - разположение

Фигура 17. Контролни уреди

В центъра на стенда с размери широчина 3 m и височина 6 m е монтиран изследвания разпръсквач. Седлото на разпръсквача е поставено перпендикулярно на захранващия тръбопровод с главата на разпръсквача надолу, като разстоянието от главата до горния ръб на мерителните съдове е 5,60 m. Количеството вода, разпределена върху площта под разпръсквача се събира с помощта на осмоъгълни мерителни съдове с размери: 0.25 x 0.25 x 0.30 m и площ на 1 мерителен съд 0.0526 m² (фиг.18). Водното съдържание се измерва посредством лабораторни мензури с вместимост 100 ml, 250 ml, 500 ml и 1000 ml с отчитане, съответно ± 1 ml, ± 2 ml и ± 50 ml, което отнесено към осредненото съдържание в мерителните съдове обезпечава точност $\pm 1\%$. В измерванията бяха използвани 39 мерителни съда с обща площ 2,0514 m².

Продължителността на експериментите е от 4 min. до 20 min. Времето се измерва с електронен хронометър марка „Samsung“. Проведени са един или два опита с различните дюзи при различни налягания. Работното налягане се създава от пожарен кран или противопожарен автомобил Magirus Deutz 170. За отчитане на налягането е използван манометър с обхват на работната зона 0 bar÷10 bar.



Фигура 18. Размери на колекторен съд

След приключване на опита се измерва обема на водата във всеки мерителен съд. Обема, времето за получаването му и площта на съда са основните стойности за определяне интензивността на оросяване, а именно:

$$I = \frac{V}{S \tau} \left[\frac{dm^3}{dm^2 \min} * 100 = \frac{mm}{\min} \right] \quad (1)$$

където: V – обем на водата в съда, dm^3 ; S – приемна площ на съда, dm^2 ;
 T - продължителност на експеримента, \min .

За да се оцени радиалната симетрия на разпределението на водата, бяха проведени допълнителни тестове със завъртане на приемните съдове на 45 градуса.

За да се определи разпределението на капките по размери е необходимо да бъде запазена тяхната първоначална форма при попадането им върху повърхността. За тази цел бяха използвани блюда на Петри (фиг.19а), чиито дъна са запълнени с вискозна течност-рициново масло, върху която капките да съхранят формата си достатъчно дълго, в реални размери.

След оросяването петриевите блюда се наблюдават с микроскоп Reflecta със скала и допълнителна линия (фиг.19б), като изображенията се заснемат.

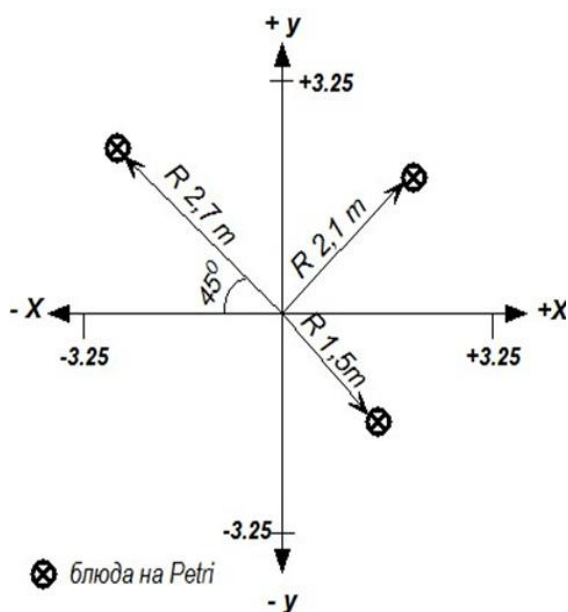


а) блюда на Петри

б) заснемане с микроскоп

Фигура 19. Заснемане с микроскоп на петриevi блюда

Местата, на които се поставят блюдата на Петри са показани на фиг. 20.



Фигура 20. Положение на блюдата на Petri



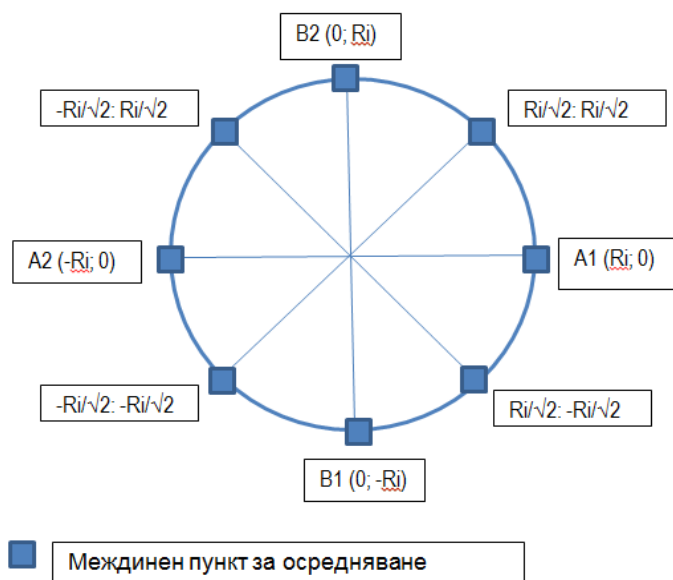
Фигура 20 а. Водни капките в блюдо на Petri

Две от изображенията, заснети с микроскопа са показани на фиг. 21.



Фигура 21. Изображение на събраните капки на котва терен, заснети с микроскопа

Попадналото количество вода в мерителните съдове е определено съгласно схемата (фиг. 17 г) в едната полуравнина по X. Стойностите по Y в другата полуравнина са симетрични спрямо оста X. Получените стойности в съдовете, които са подредени перпендикулярно на оста X се транслират спрямо центъра на зоната. Така се получават стойности в двете полуравнини. За получаване на площи характеристики е направено осредняване между две съседни измервания, както е показано на фиг. 22. Точките в които има измерване са A1 (-R_i;0); A2 (R_i;0); B1 (0;-R_i); B2 (0;R_i). От тях чрез осредняване са получени стойности в междинните точки - между A1 и B2; между A2 и B2, между A2 и B1 и между A1 и B1. Координатите им са определени съгласно схемата на фиг. 22.



Фигура 22. Концентрични кръгове през съд с координати (x,y)

На фиг. 22 е показано осредняване на измерени стойности в междинни пунктове, в които няма измерени стойности и е показана изчислителна схема за концентричен кръг с радиус R_i [m]. По този алгоритъм с промяна радиуса спрямо следваща координата на измерена интензивност се описват концентрични окръжности с радиуси 0.5; 0.75; 1 и т.н.

С програмен продукт SURFER са очертани изохиетите към експериментите за всички изследвани разпръскващи дюзи.

V.2. Изследвани разпръсквачи

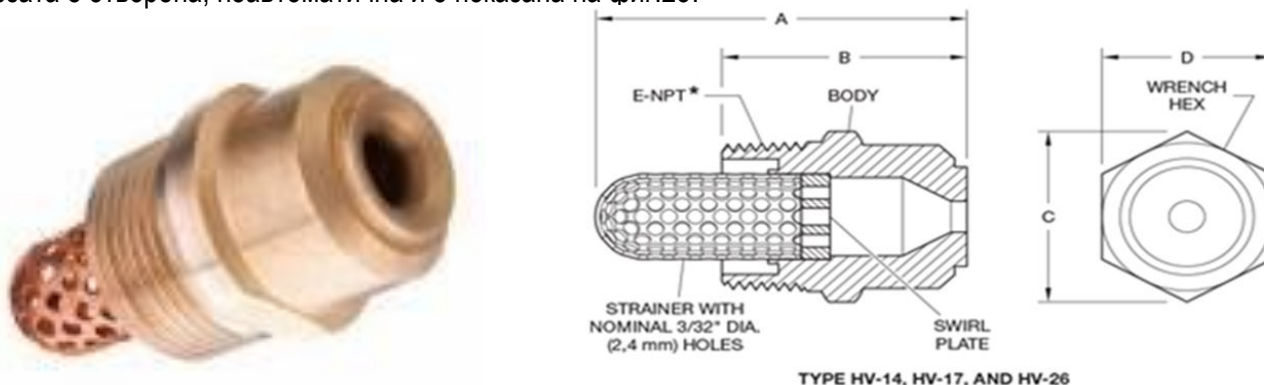
По предствената методика са изследвани винтови разпръсквачи и спирални дюзи в търсене на подходящо разпределение на капките по площ и размер за гасене на пожари в пътни тунели.

За изследването бяха подбрани следните дюзи:

- Високоскоростна разпръскваща дюза тип HV;
- Винтов разпръсквач ВР2м;
- Разпръскваща дюза BETE N5;
- Разпръскваща дюза BETE N6;
- Разпръскваща дюза BETE N7;
- Разпръскваща дюза 1-316L – спираловиден тип;

V.2.1 Високо скоростна разпръскваща дюза Тип HV

Дюзата е отворена, неавтоматична и е показана на фиг.23.



Фигура 23. Високо скоростна разпръскваща дюза – тип HV

Таблица 4. Номинални размери на дюза HV-14

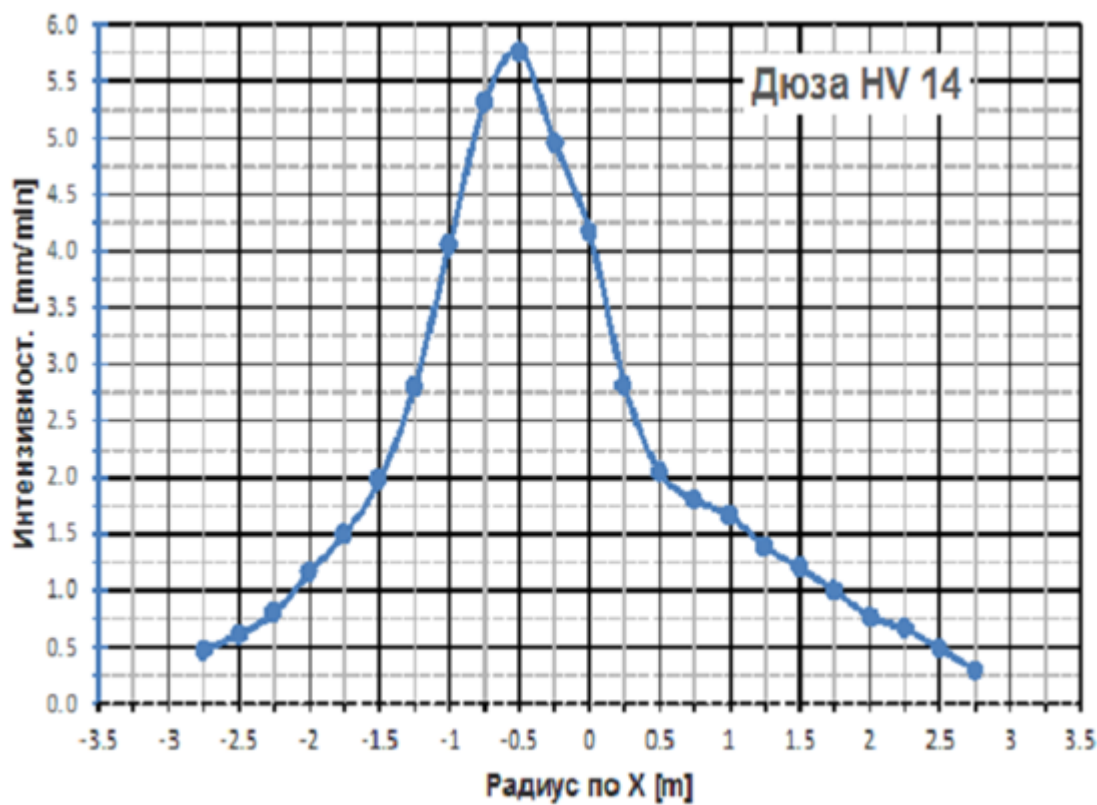
A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]
71.9	47.1	38.1	33

Експериментът е извършен при следните параметри: Налягане: 5.8 bar, Дебит $Q=55.39$ l/min, продължителност $t=14.75$ min.

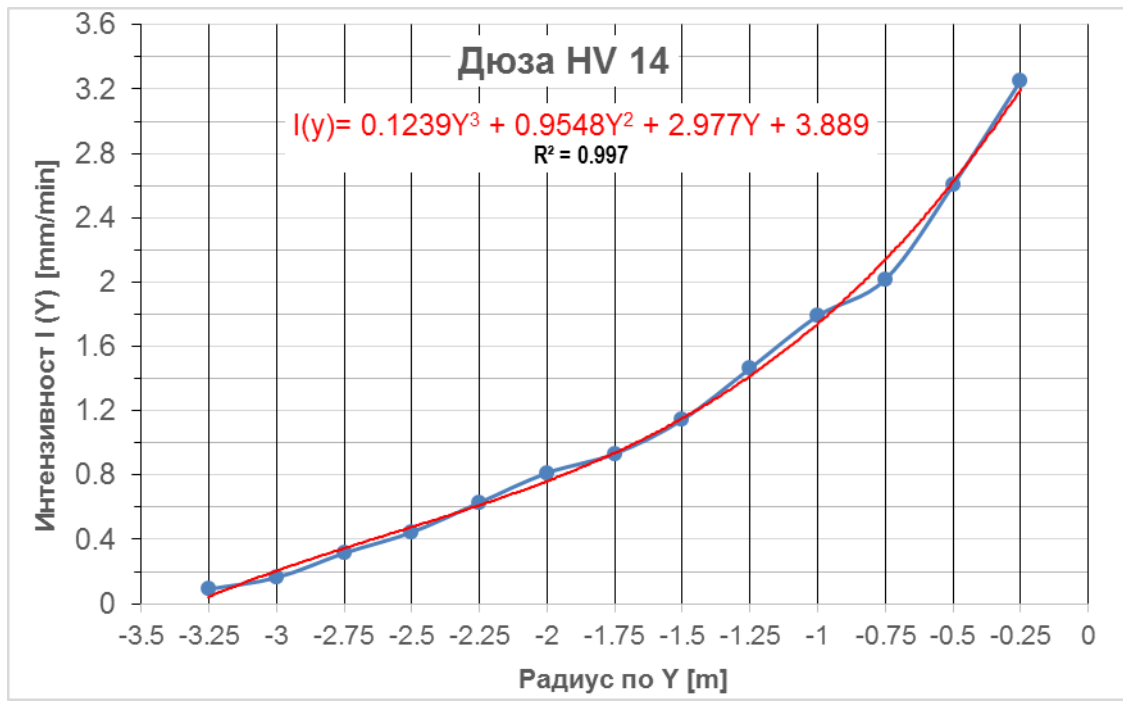


Фигура 24. Схема на разположение на съдовете за събиране на вода

На фиг. 25 е показано разпределение на интензивността по оста X при $Y=0$, а на фиг. 26 – по оста Y при $X=0$.

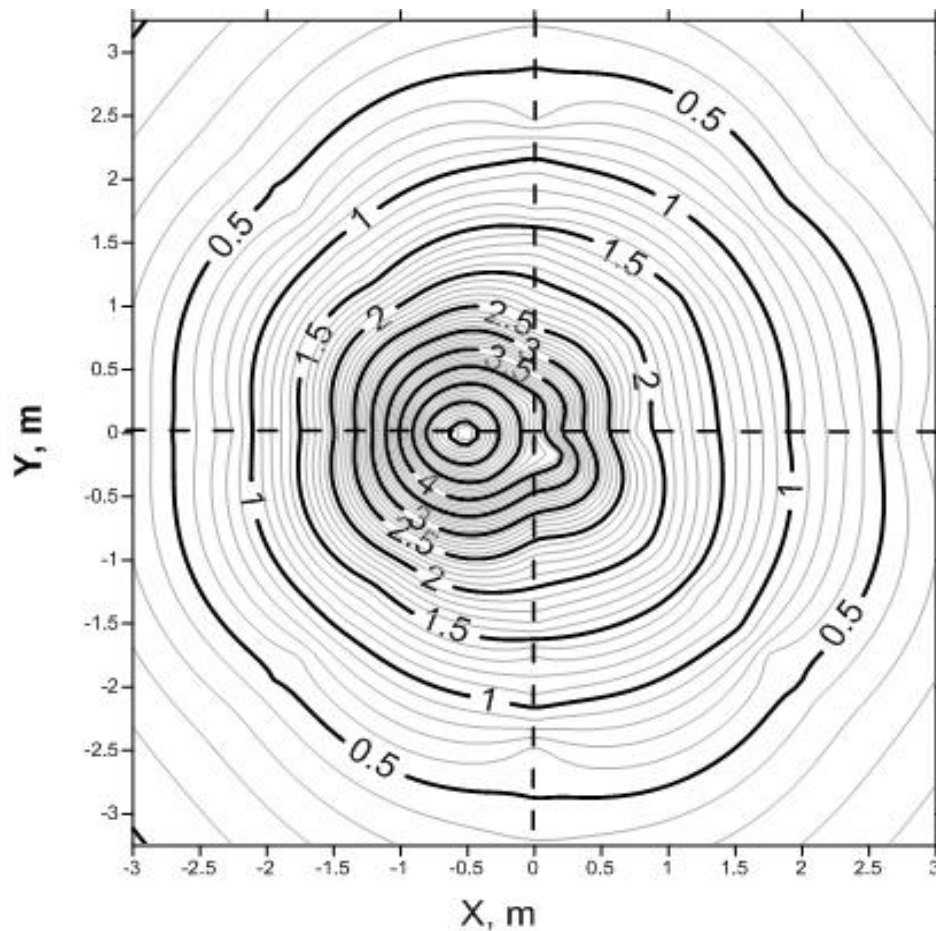


Фигура 25. Разпределение на интензивността на оросяване по оста X при $Y = 0$

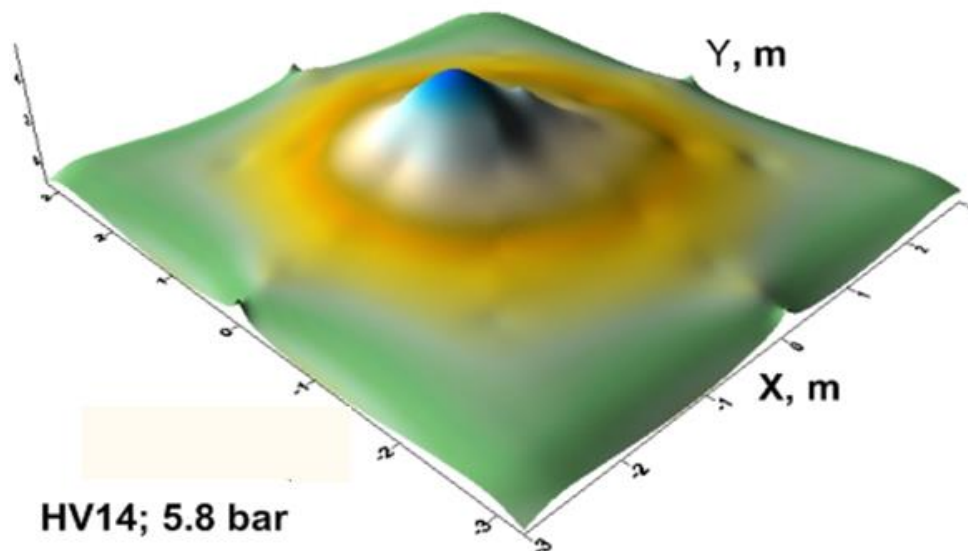


Фигура 26. Разпределение на интензивността на оросяване по оста Y при X = 0

Площните диаграми на интензивността на оросяване са начертани с програма Surfer и са илюстрирани като контури на фиг. 27, а като обемни диаграми на фиг. 28. Фигурите показват, че най-голяма интензивност се получава около центъра на проекцията на дюзата върху площта на оросяване.



Фигура 27. Изолинии на интензивността на оросяване [mm/min], P=5.8 bar

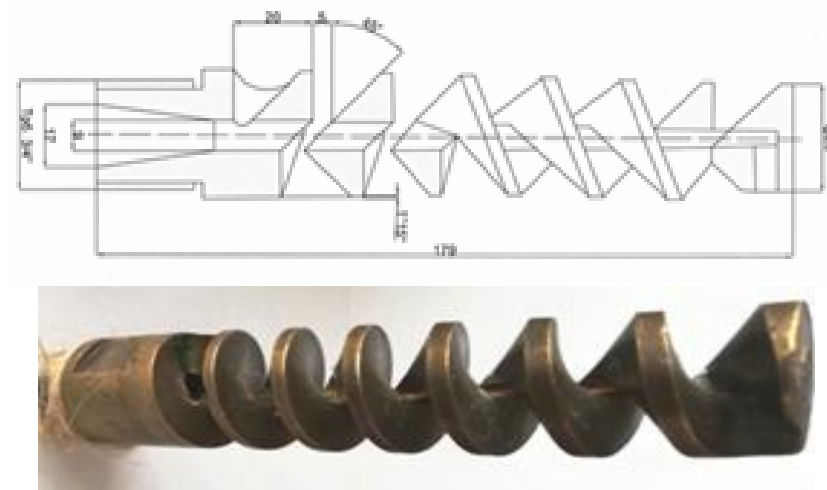


Фигура 28. Разпределение на интензивността на оросяване от разпръскваща дюза HV 14

V.2.2 Винтов разпръсквач BP2м

Винтовият разпръсквач представлява кух конусен винт с постоянен или променлив наклон на външните отсичащи дефлекторни повърхности.

На фиг.29 са показани конструктивните параметри и общият вид на винтовия разпръсквач.



Фигура 29. Винтов разпръсквач BP 2м

Проведен е опит с винтов разпръсквач BP2м за изследване на разпределението на интензивността на гасене.



Фигура 30. Изглед от проведения експеримент

Експериментът е извършен при следните параметри: Налягане: 3.8 bar, Дебит $Q=82.85$ l/min, продължителност $t=15,30$ min. Резултатите от опита са изчертани графично на фиг. от 5.18 до фиг.5.21 и са илюстрирани с помощта на програмата Surfer на диаграмите на фиг. 5.22 и фиг. 5.23 в дисертационния труд.

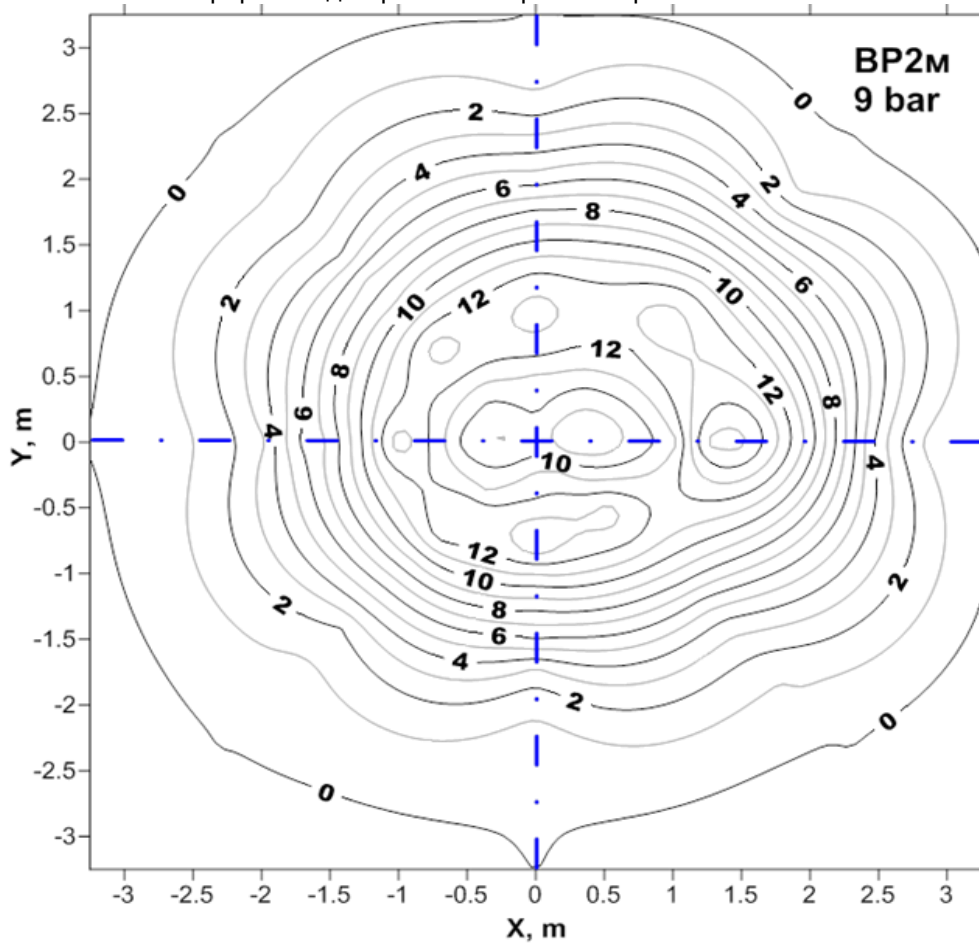
Експеримент № 2

Проведен е втори опит с винтов разпръсквач ВР2м за изследване на разпределението на интензивността на оросяване при следните параметри: работно налягане 9 bar отчетено с манометър, измерен дебит по разходомер – $Q= 171$ L/min и продължителност на експеримента е 4,00 min

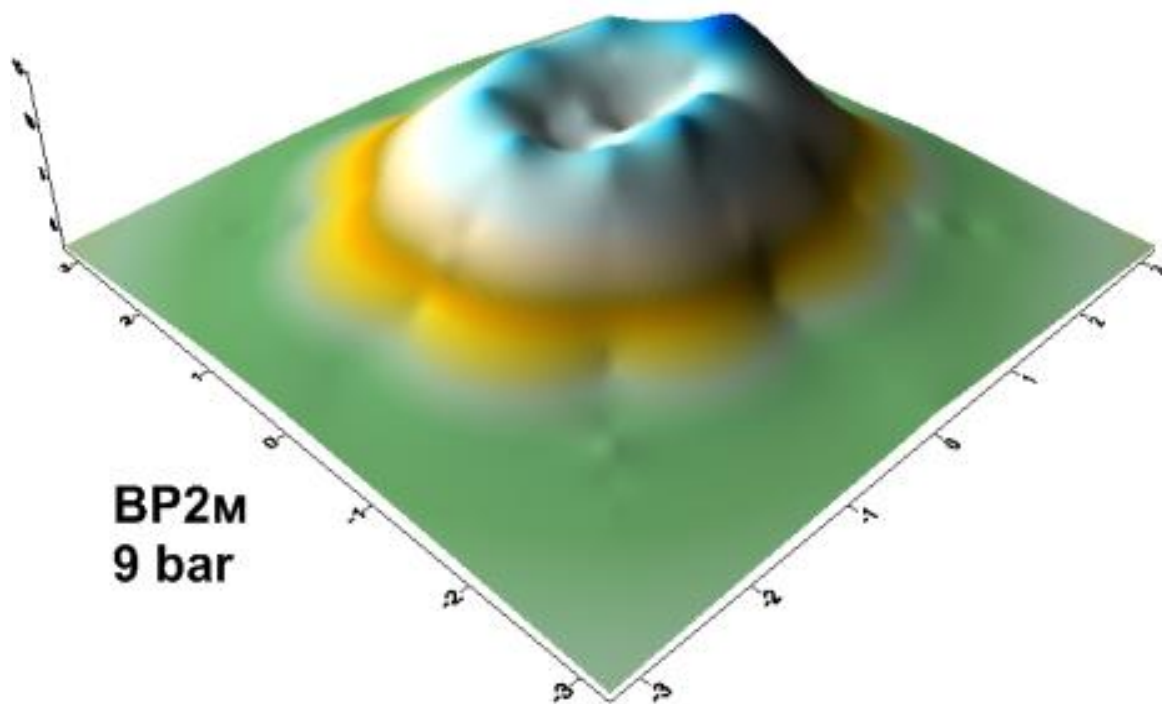


Фигура 31. Схема на разполагане на мерителните съдове и изгледи от експеримента

Резултатът от опита е илюстриран на диаграмите на фиг.32 и фиг.33.



Фигура 32. Изолинии на интензивността на оросяване [mm/min] при $H=5.80\text{ m}$, $P=9\text{ bar}$



Фигура 33. Разпределение на интензивността разпръскваща дюза BP2M

V.2.3 Разпръскваща дюза ВЕТЕ N5

Разпръскваща дюза ВЕТЕ N5 с два пръстена за пръскане: външен, широкоъгълен конус и по-тесен вътрешен конус, които се комбинират, за да дадат пълен конусен ефект.



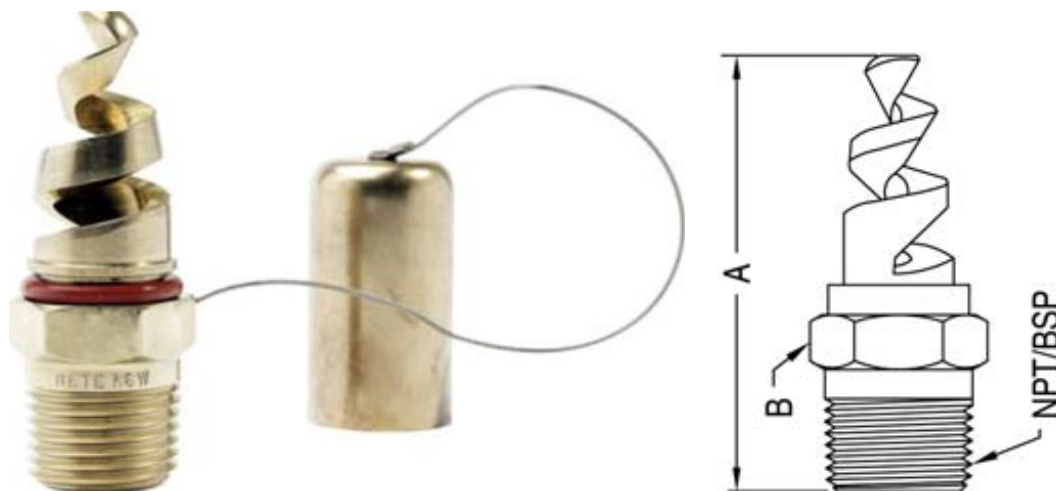
Фигура 34. Пълен конус

Технически характеристики

Ъгъл на разпръскване: 90°

Модел на дюзата: пълен конус

Дебити на потока: от 25.3 до 1236 L / min



Фигура 35. Дюза с допълнителен защитен капак

Таблица 5 Характеристики на дюза Bete N5

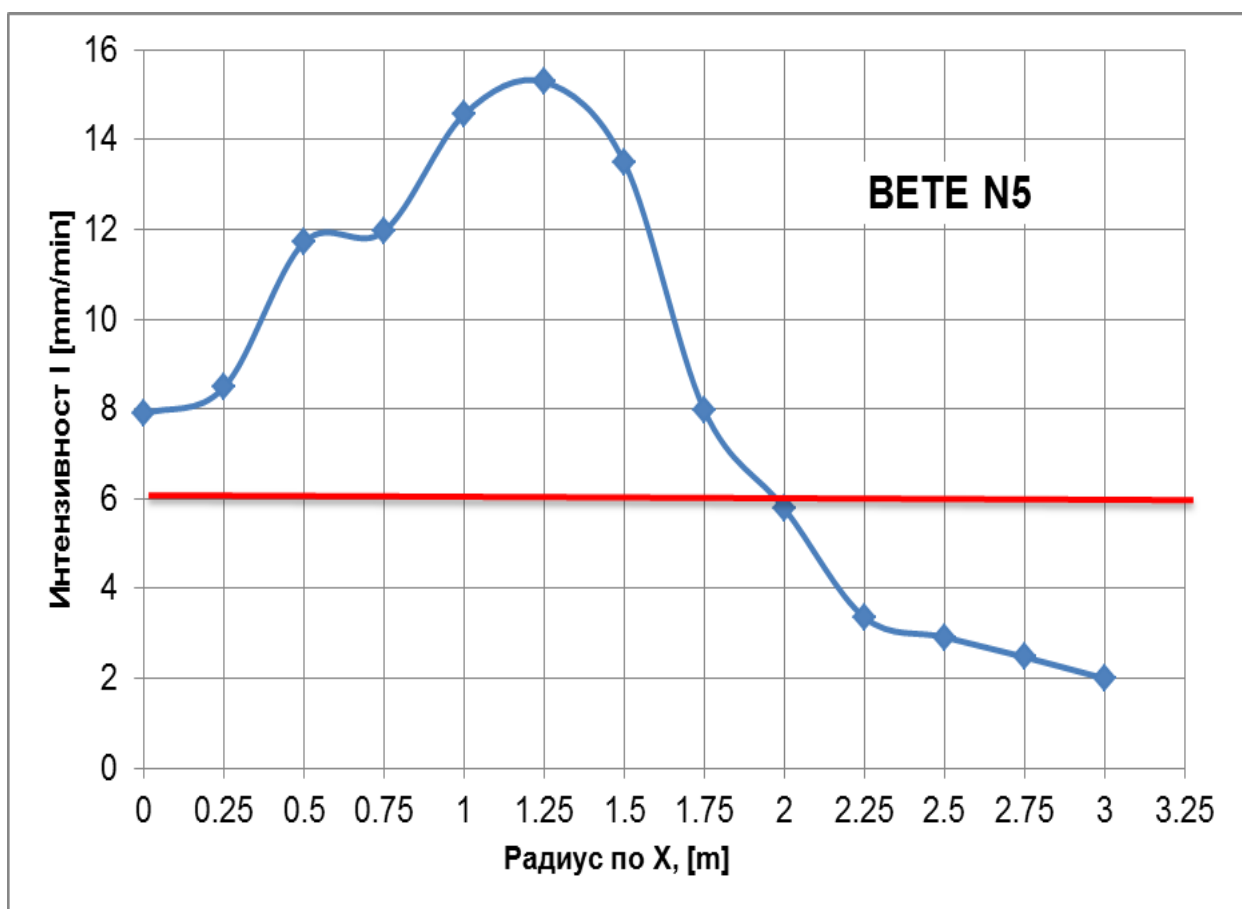
СВЪРЗ-ВАНЕ	ДЮЗА №	К ФАКТОР	Р- НАЛЯГАНЕ [bar]	Q –ДЕБИТ [l/min]	ОТВОР [mm]	РАЗМЕРИ [mm]		ТЕГЛО [g]
1/2"	N5	75.2	3.45	139	13.5	A	B	85
			10.3	241		63.5	22.4	

Експеримент № 1

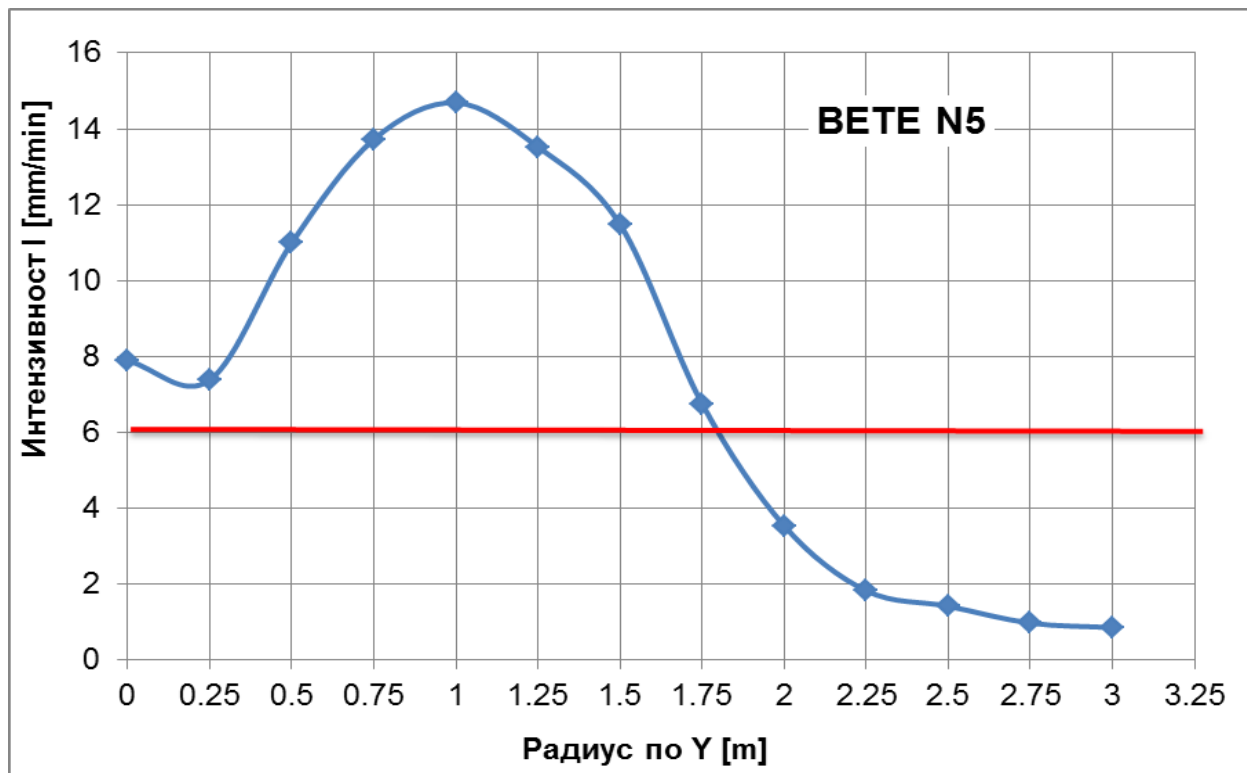
Проведен е опит с разпръскваща дюза ВЕТЕ N5 за изследване на разпределението на интензивността на гасене при следните параметри: работно налягане 5,8 bar отчетено с манометър, измерен дебит по разходомер $Q = 217$ l/min и продължителността на експеримента 5,00 min.



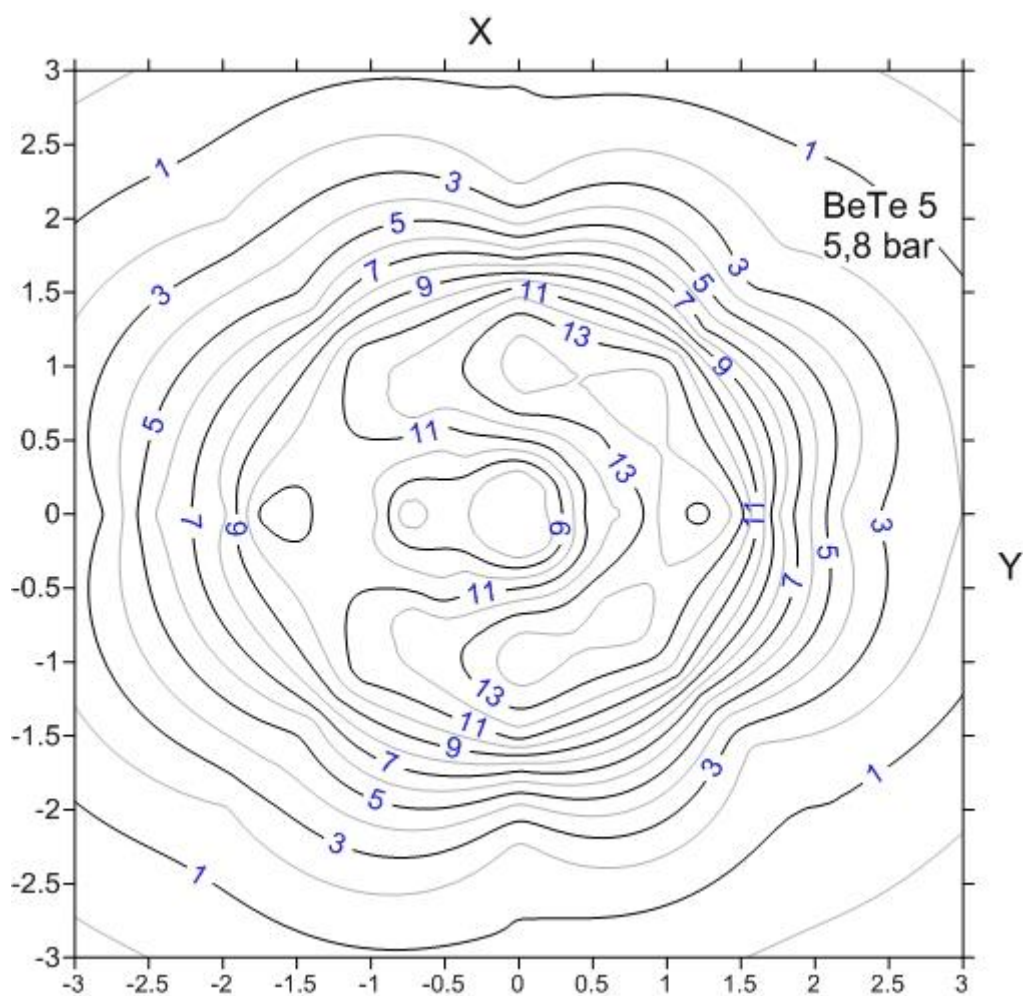
Фигура 36. Изглед от проведения експеримент



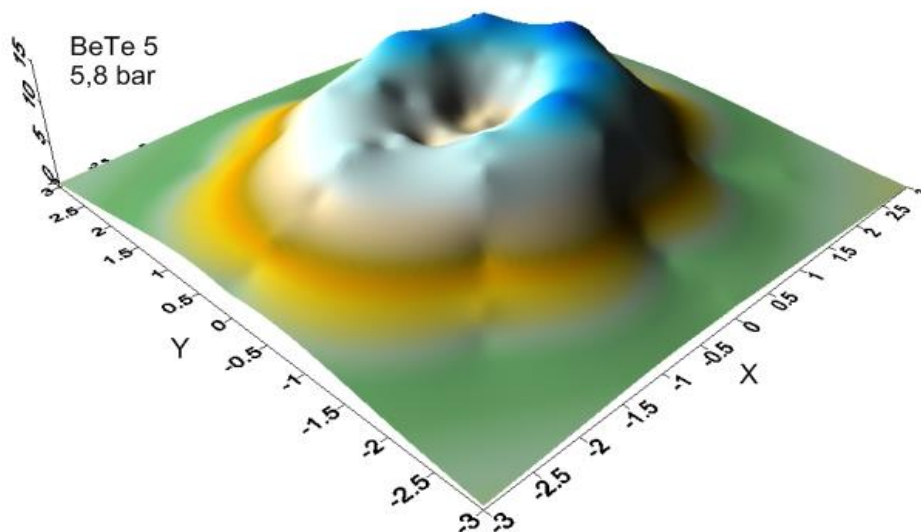
Фигура 37. Разпределение на интензивността на оросяване по оста X при Y = 0



Фигура 38. Разпределение на интензивността на орсяване по оста Y при $x = 0$



Фигура 39. Изолинии на интензивността на орсяване [mm/min] при $H=5,80$ m, $P=5,8$ bar



Фигура 40. Разпределение на интензивността на покритие на водата от разпръскваща дюза BETE N5 при налягане 5.8 bar

V.2.4 Разпръскваща дюза BETE N6

Разпръскваща дюза BETE N6 с два пръстена за пръскане: аналогична по конструкция на дюза BETE N5, но с различни характеристики, представени в табл.6.

Таблица 6. Характеристики на дюза Bete N6

СВЪРЗ-ВАНЕ	ДЮЗА №	К ФАКТОР	Р-НАЛЯГАНЕ [bar]	Q –ДЕБИТ [l/min]	ОТВОР [mm]	РАЗМЕРИ [mm]		ТЕГЛО [g]
1/2"	N6	95.7	3.45	176	14.3	A	B	85
			10.3	307		63.5	22.4	

Експеримент № 1

Проведен е опит с разпръскваща дюза BETE N6 за изследване на разпределението на интензивността на гасене при следните параметри: работно налягане 2.4 bar, измерен дебит по разходомер – Q= 148,25 l/min и продължителност на експеримента 15,00 min.



Фигура 41. Схема на разполагане на мерителните съдове

Резултатите от опита са изчертани графично на фиг. 5.43 и фиг.5.44 и са илюстрирани с помощта на програмата Surfer на диаграмите на фиг. 5.45 и фиг. 5.46 в дисертацията.

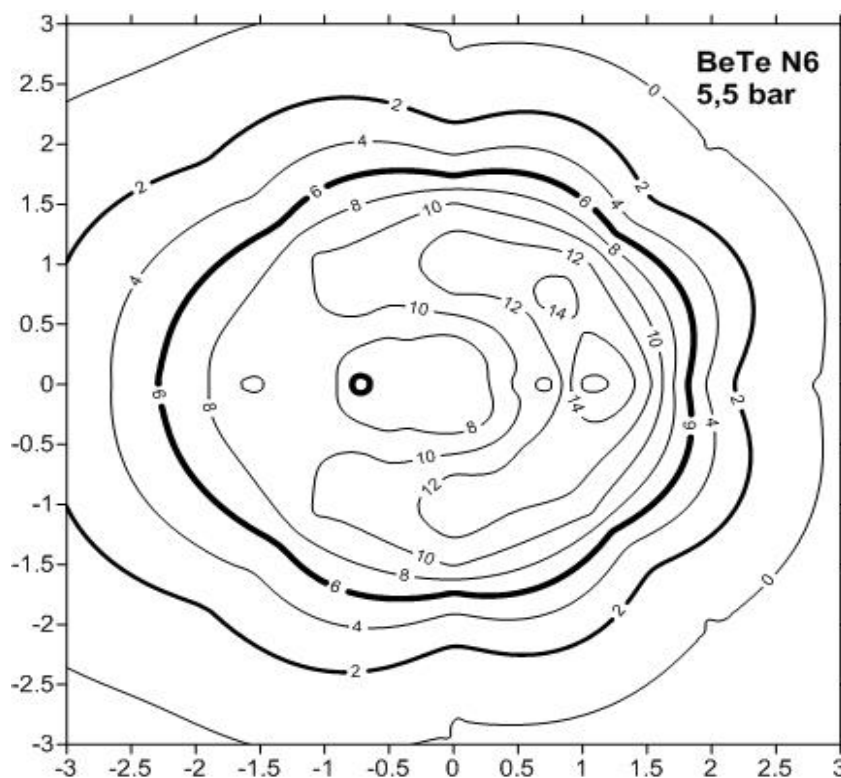
Експеримент ВЕТЕ N6-2

Проведен е втори опит с разпръскваща дюза ВЕТЕ N6 за изследване на разпределението на интензивността на гасене при следните параметри - работно налягане 5.5 bar отчетено с манометър, измерен дебит по разходомер – $Q=206 \text{ l/min}$, продължителност на експеримента 6,00 min.

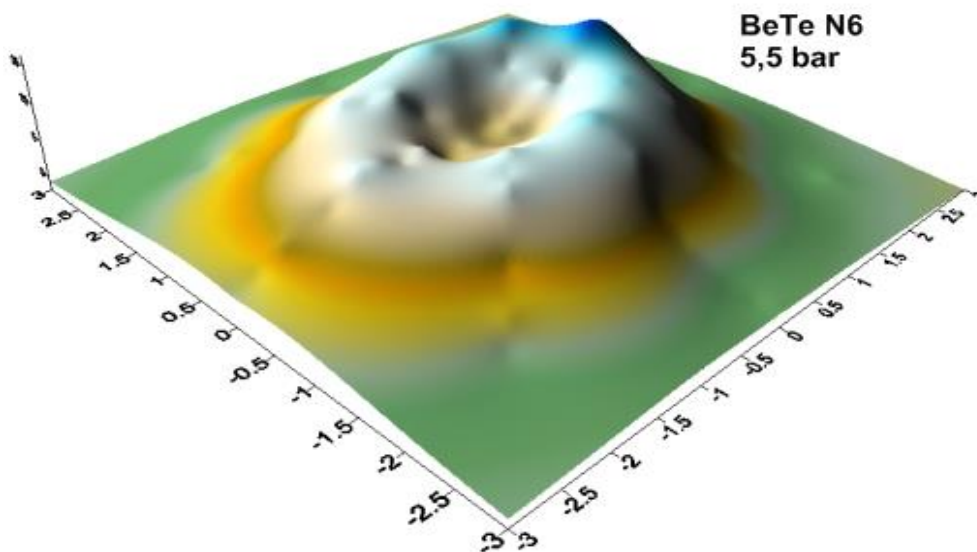


Фигура 42. Изглед от проведения експеримент

Резултатите от опитите са илюстрирани с помощта на програмата Surfer на диаграмите на фиг.43 и фиг. 44.



Фигура 43. Изолинии на интензивността на оросяване при $H=5,80 \text{ m}$, $P=5,5 \text{ bar}$



Фигура 44. Разпределение на интензивността на разпръскване на дюза BETE N6 при налягане 5,5 bar

V.2.5 Разпръскваща дюза BETE N7

Разпръскваща дюза BETE N7 с два пръстена за пръскане: аналогична по конструкция на дюза BETE N5, но с различни характеристики, представени в табл.7.

Таблица 7. Характеристики на дюза Bete N7

СВЪРЗ-ВАНЕ	ДЮЗА №	К ФАКТОР	P- [bar]	Q [l/min]	ØD [mm]	РАЗМЕРИ [mm]		G [g]
			3.45	282		A	B	
1"	N7	153	10.3	491	19.6	92.2	35.1	241

Експеримент № 1

Проведен е опит с разпръскваща дюза BETE N7 за изследване на разпределението на интензивността на гасене при следните параметри: Налягане: 1,5 bar, дебит – Q= 187,4 L/min, отчетен чрез разходомер и продължителност на експеримента 17,00 min

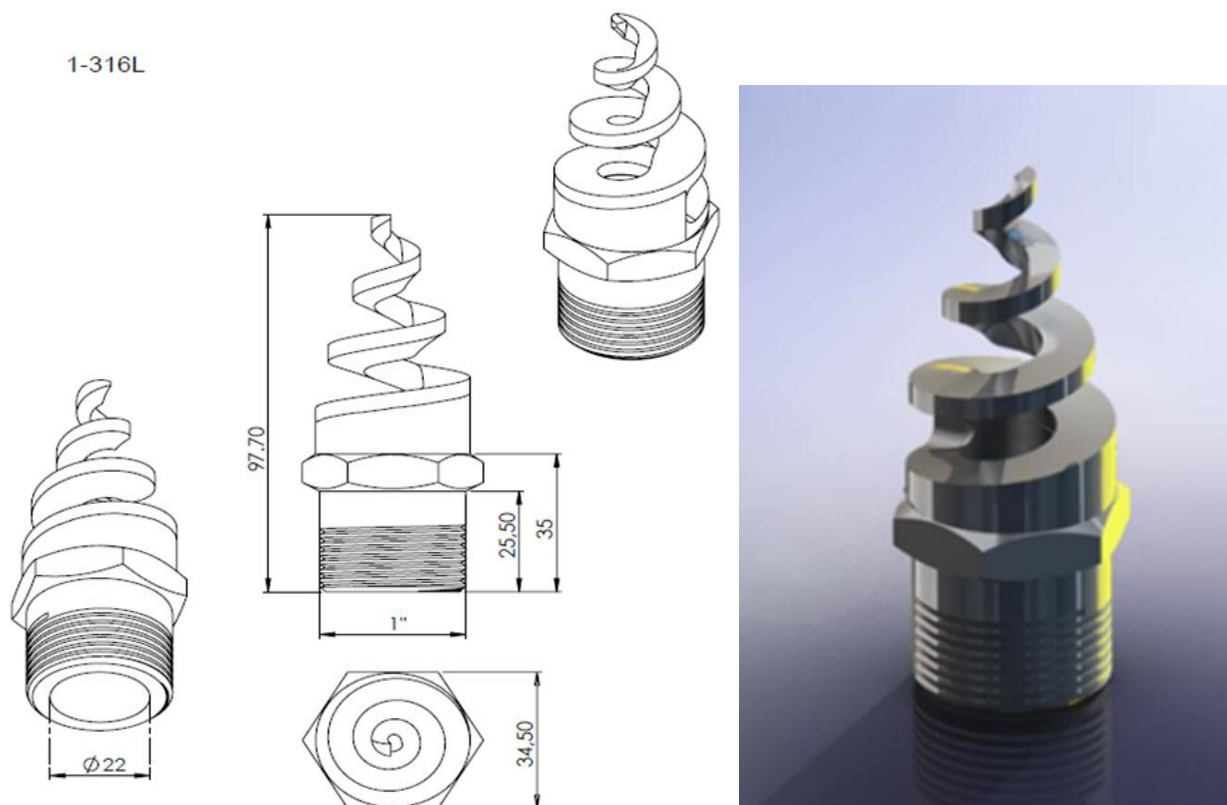


Фигура 45. Схема на разположение на съдовете за събиране на вода

Резултатът от експеримента е представен графично на фиг. 5.59 и фиг. 5.60, и е илюстриран с помощта на програмата Surfer на диаграмата на фиг.5.61 и фиг.5.62 в разработката.

V.2.6 Разпръскваща дюза 1-316L

Разпръскваща дюза 1-316L – спираловиден тип с аксиална куха конусна дюза.



Фигура 46. Чертеж и визуализация на разпръскваща дюза 1-316L

Таблица 8. Характеристики на дюза 1-316L

РЕЗБА	ЪГЪЛ НА РАЗПРЪСКВАНЕ	К ФАКТОР	ØD [mm]	ØD [mm]	ДЕБИТ [l/min] ПРИ P [bar]				
					0.7	1.5	3	7	25
1"	90°	137	15.9	6.4	130	190	270	410	775

Експеримент № 1

Проведен е опит с разпръскваща дюза 1-316 L за изследване на разпределението на интензивността на оросяване при следните параметри: налягане: 5,5 bar, дебит Q = 178 L/min, отчетен чрез разходомер и продължителност на експеримента 4,00 min.



Фигура 47. Изглед от експеримента с разпръскваща дюза 1-316L

Резултатът от експеримента е илюстриран с помощта на програмата Surfer на диаграмите на фиг.5.71 и фиг.5.72. в дисертацията.

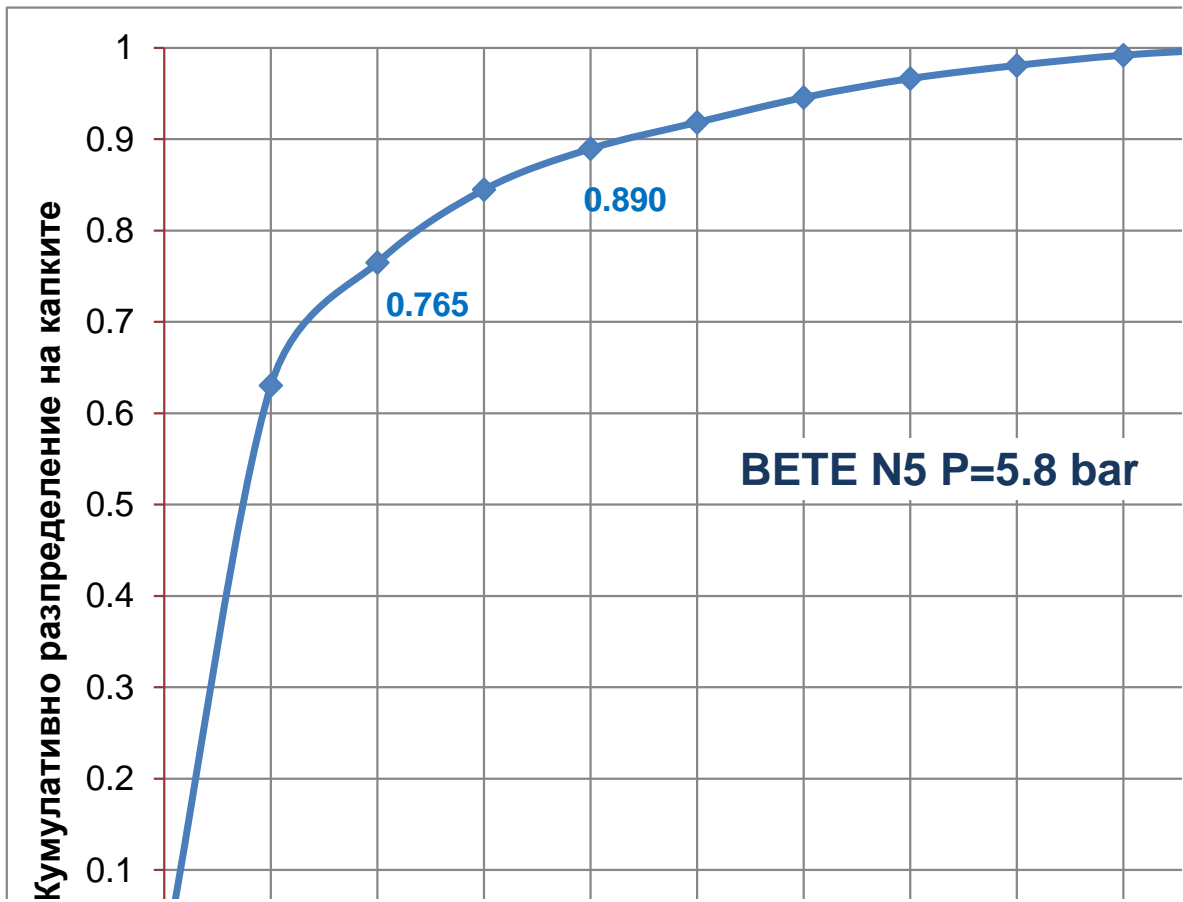
V.4. Дисперсен състав на водните капки

Зависимостите за осредняването на размера на капките по еквивалентен линеен размер, площ, обем и еднородност са показани в табл. 9.

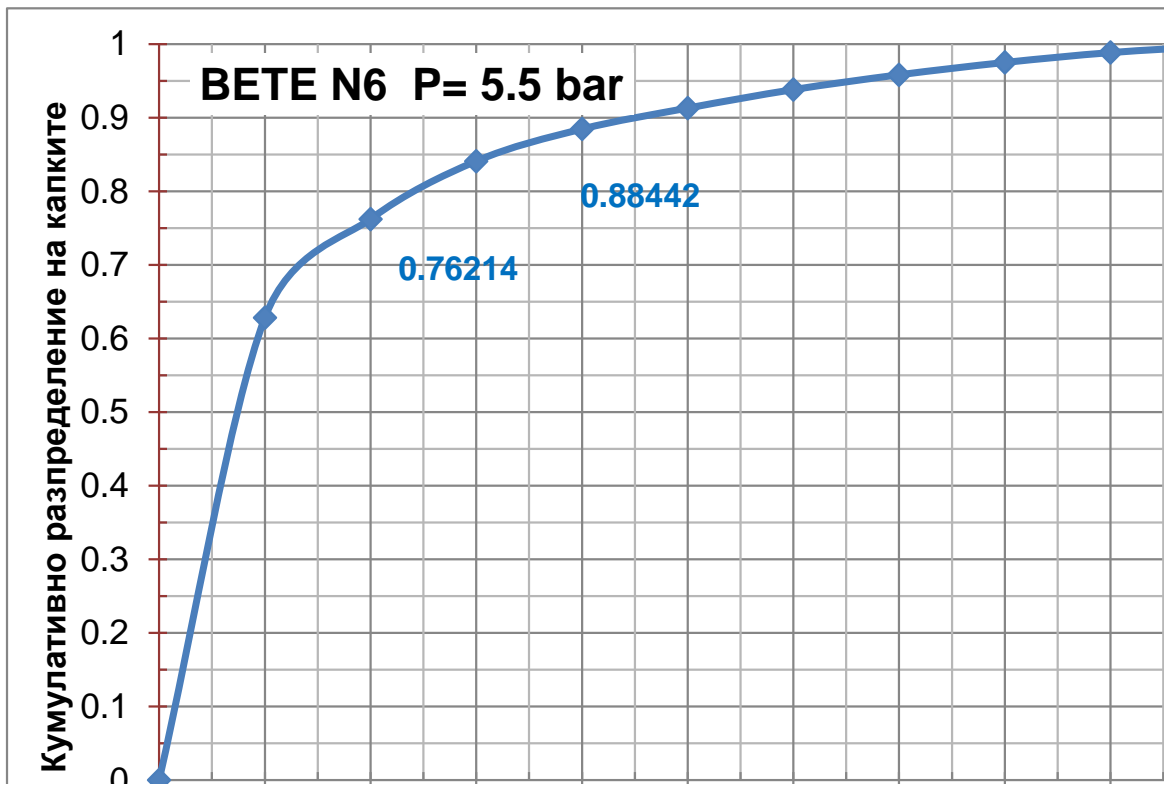
Таблица 9. Зависимости за осредняване размера на капките

$D_{10} = \frac{\sum_i n_i d_i}{\sum_i n_i}$	Линеен среден диаметър	Привеждане на капките към един и същи еквивалентен диаметър D10 , при запазване на броя на капките. Използва се често при оценка на средната скорост на изпарение на капките.
$D_{20} = \sqrt{\frac{\sum_i n_i d_i^2}{\sum_i n_i}}$	Площен среден диаметър	Привеждане всички капки към еквивалентен диаметър D20 , общата площ на които е равна на повърхността на $\sum n_i$ капки в реалното разпределение.
$D_{30} = \sqrt[3]{\frac{\sum_i n_i d_i^3}{\sum_i n_i}}$	Обемен среден диаметър	Привеждане на всички $\sum n_i$ капки във факела на разпръснатата струя към същия брой капки с еднакъв обем и диаметър D30 .
$D_{32} = \frac{\sum_i n_i d_i^3}{\sum_i d_i^2}$	Диаметър на Sauter	D32 е средния диаметър на капка, която има същото отношение на обема към повърхността, както на общия обем и повърхност на всички $\sum n_i$ капки във факела.

На фиг. 48 и фиг. 49 е показано кумулативното разпределение на капките от изследваните разпръскващи дюзи ВЕТЕ N5 и ВЕТЕ N6.



Фигура 48. Кумулативно разпределение на капките на дюза BETE N 5



Фигура 49. Кумулативно разпределение на капките на дюза BETE N 6

В табл. 10 са представени получените резултати от осредняването на диаметрите по зависимостите от табл. 9.

Таблица 10. Резултати на осреднени диаметри на капките

ДЮЗА	P [bar]	Q [l/min]	D10 [µm]	D20 [µm]	D30 [µm]	D32 [µm]
HV-14	5.8	55	839	919	985	1133
BP2m	3.8	160	489	547	608	812
	9.0	244	308	450	548	750
BeTe N5	5.8	181	207	283	362	594
BeTe N6	5.5	225	214	296	381	630
	10.0	300	160	200	300	352
BeTe N7	1.5	187	420	558	680	1 011
	2.7	250	188	462	548	580
1-316L	5.5	320	205	358	473	826

Резултатите от фракционното разпределение на капките във факела на разпръснатата водна струя дават възможност освен за отнасянето на разпределението им по обем в трите стандартизирани в класа, и за преценка на еднородността (RSF) на разпределението. В табл. 11 – са дадени формулировките на четирите характеристики на разпределението.

Таблица 11. Обемни характеристики на разпределението на капките

DV0.1	Стойност, която показва че до 10% от обема на разпръснатата вода се състои от капки с диаметър $d_i \leq DV0.1$
DV0.5	Медианен диаметър на разпределението, който показва че половината от обема на разпръснатата вода е с $d_i \leq DV0.5$
DV0.9	Диаметърът при който 90% от обема на капките е с по-малък диаметър.
RSF	Относителен безразмерен фактор на еднородността на разпределението на капките, който се определя от зависимостта: $RSF = \frac{Dv09 - Dv01}{Dv05}$

В табл. 12 са представени обемните характеристики на разпределенията на изследваните дюзи. От последната колона на таблицата се вижда как за три от дюзите с увеличаване на налягането расте еднородността (RSF) на разпределенията и намаляват трите характерни диаметъра.

Таблица 12. Обемни характеристики на разпределенията на изследваните дюзи

ДЮЗА	P [bar]	Q [l/min]	DV01 [µm]	DV05 [µm]	DV09 [µm]	RSF
BP2m	3.8	160	410	760	1080	0.88
	9.0	244	125	620	980	1.38
BeTe N5	5.8	181	300	700	980	0.97
BeTe N6	5.5	225	340	780	1000	0.85
	10.0	300	190	380	800	1.61
BeTe N7	1.5	187	450	1150	1430	0.85
	2.7	250	300	690	1180	1.28
1-316L	5.5	320	500	930	1150	0.70

Основната идея на това изследване е, че при проектирането на пожарогасителни инсталации с разпръсната водна струя в пътни тунели не трябва да има стремеж за еднородност на капките по размер, поради разнородните материали, които могат да горят в тунела. Втория аргумент за това е, че

за да не се допуска сериозен пожар, системата трябва да не позволи пожара да обхване съседни превозни средства, което изисква обилното им охлаждане, чрез оросяване. Практиката показва, че всички сериозни пожари са резултат от запалване на съседни превозни средства.

Спиралните дюзи, обект на това изследване, са напълно подходящи за изграждане на стационарни дренчерни инсталации в пътни тунели, като конструкцията и хидравлични и енергийни характеристики. Те имат максимален коефициент на разхода и възможност за постигане на различна едрина на капките при почти постоянен конус на оросяване. При подходящ избор на спиралната дюза и на работно налягане може да се получи желаното фракционно разпределение по размер на водните капки, както е показано в табл. 13.

Таблица 13. Фракционно разпределение по размер на водните капки

ДЮЗА	P [bar]	Q [l/min]	ОБЕМЕН ДЕБИТ [l/min] НА КАПКИ С ДИАМЕТЪР ØD [µm]				
			D ≤200µm	200µm - 400µm	400µm - 1000µm	D≤1000 µm	D>1000 µm
BeTe N5	5.8	181	3.80	11.53	80.02	95.355	4.645
BeTe N6	5.5	225	168.75	29.25	26.98	224.978	0.023
	10.0	300	237.00	48.00	14.97	299.970	0.030
BeTe N7	1.5	187	2.24	11.56	49.70	63.206	123.794
	2.7	250	8.75	41.25	145.5	195.500	54.500
1-316L	5.5	320	2.93	14.94	182.45	200.324	119.676
BP2m	3.8	160	2.56	13.44	132.8	148.800	11.200
	9	244	36.6	42.7	108.58	187.88	56.120

Данните в таблица 13 показват, как с избора на една и съща конструкция дюзи с различни габарити, може да се получи желания дебит на капки от различен клас на разпръскване, при вариране на налягането.

ИЗВОДИ към ГЛАВА 5:

1. Разработен е стенд за изследване разпределението на интензивността на покритие на водната струя от различни разпръскващи дюзи.
2. Предложена е методика за определяне интензивността на покритие на водата върху защитаваната площ, която може да се прилага и за други видове пожарогасителни дюзи при различни налягания.
3. Изследвани са винтови разпръсквачи и спирални дюзи с цел подходящо разпределение на капките по площ и размер за гасене на пожари в пътни тунели.
4. За определяне на интензивността по цялата площ на покритие на дюзата е направен модел на симетричност спрямо центъра на оросяваната площ и радиуса, на който са разположени мерителните съдове.
5. В резултат на проведените експерименти е установена общата картина на разпределение на водата. Получената и изследвана едрина на капките е в състояние да отложи по-голяма част от димните частици и да се подобри видимостта.
6. На базата на проведените изследвания е установено, че интензивността на покритие на водата не се разпределя равномерно по цялата защитавана от разпръсквача площ, в резултат на което се образуват зони с различна интензивност.
7. Сравняването на получените резултати от изчисленията и проведените експерименти при изследваните винтови и спирални дюзи позволява да се заключи, че дюза ВЕТЕ N5 се оказва най-подходяща за използване в пожарогасителна система в пътни тунели с данните ѝ за интензивността на оросяване и размера на капките.

ГЛАВА 6. МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ПОЖАРОГАСИТЕЛНИ ИНСТАЛАЦИИ С РАЗПРЪСНАТА ВОДА В ТУНЕЛИ

Борбата с пожара в неговите начални фази е най-ефективния начин за защита на човешки живот, имущество и околна среда. Пожарогасителните системи правят това автоматично – те откриват и реагират на пожара самостоятелно и независимо, като осигуряват постоянна надеждна защита.

VI.1 Общи положения

Стационарните пожарогасителни инсталации с разпръсната вода могат да бъдат подходящи в някои случаи за борба с пожар, в други случаи за предотвратяване на разпространение на пожар и могат да бъдат използвани самостоятелно или като допълнение към други концепции за пожарна защита.

В случай на активиране в защитената зона дюзите разпръскват вода. Целия тунел или защитена зона в него е покрита с дюзи, които са групирани в секции, наречени тук „инсталации“. Всяка система трябва да покрива (защитава) дължина от 30 метра в тунела.

Пожарното водоснабдяване трябва да осигурява воден дебит при минимално налягане най-малко за две секции едновременно. Водоснабдяването трябва да е достатъчно за нормална работа на системата:

- за 30 минути за тунели с дължина на подземната част до 600 метра;
- за 40 минути - за тунели с дължина над 600 метра.

Водоснабдяването трябва да бъде достатъчно, така че да осигурява на системата необходимия дебит на водата за минимум 30 минути за тунели с дължина до 600 m и 40-60 минути за тунели с дължина над 600 m или за период от време, който е двоен на времето, необходимо на аварийните служби да стигнат до пожара (като се вземат предвид най-лошите условия – например задръстванията). Минималното експлоатационно време може да се увеличи, ако компетентните органи изискат това.

VI.2 Взаимодействие с други системи

Когато са включени, системите за гасене са неразделна част от цялостната концепция за защита на конкретния тунел. За да се осигури безопасна и ефективна работа на системата и други аварийни средства, трябва да се обърне специално внимание на взаимодействието на системата с всички други работещи системи. По-специално се вземат предвид следните аспекти: система за пожароизвестяване, система за видеонаблюдение, вентилационна система, структурна противопожарна защита, дренажна система.

VI.4 Проектиране на системата

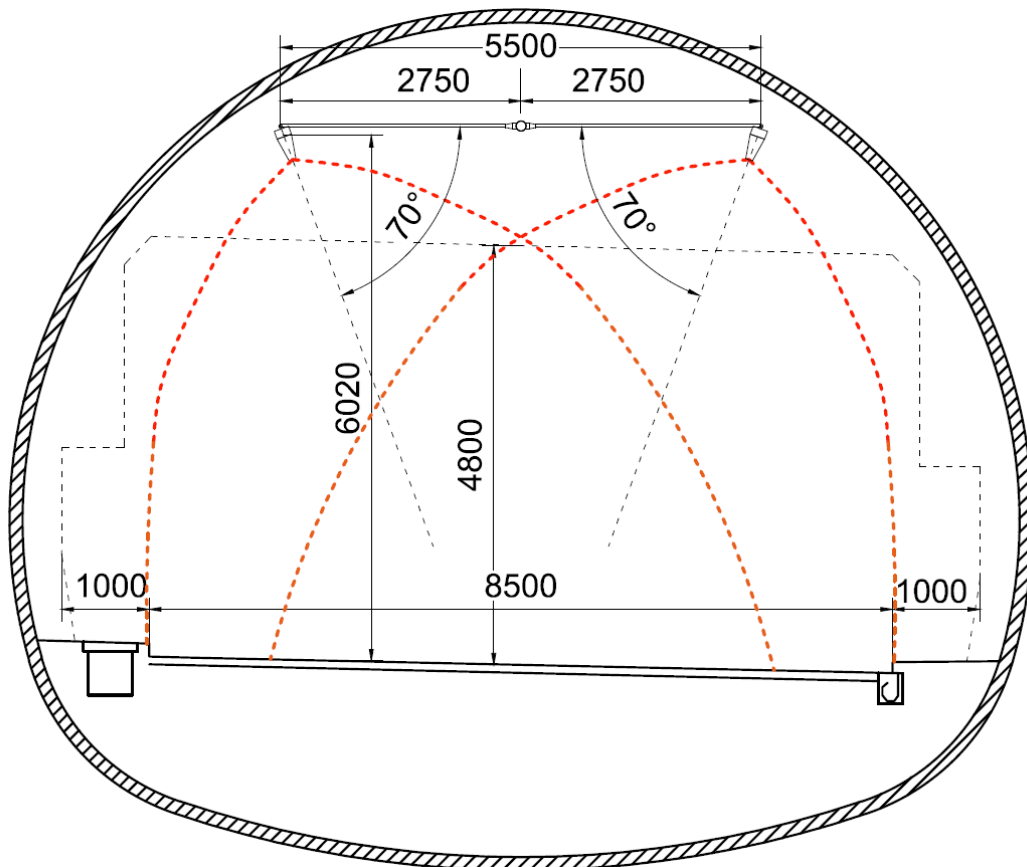
Системният дизайн на дренчерна система определя общата подредба на дренчерите в тунела и подробния проект, уточняващ действителната конструкция с всички негови детайли.

Оформлението на системата задължително се основава на:

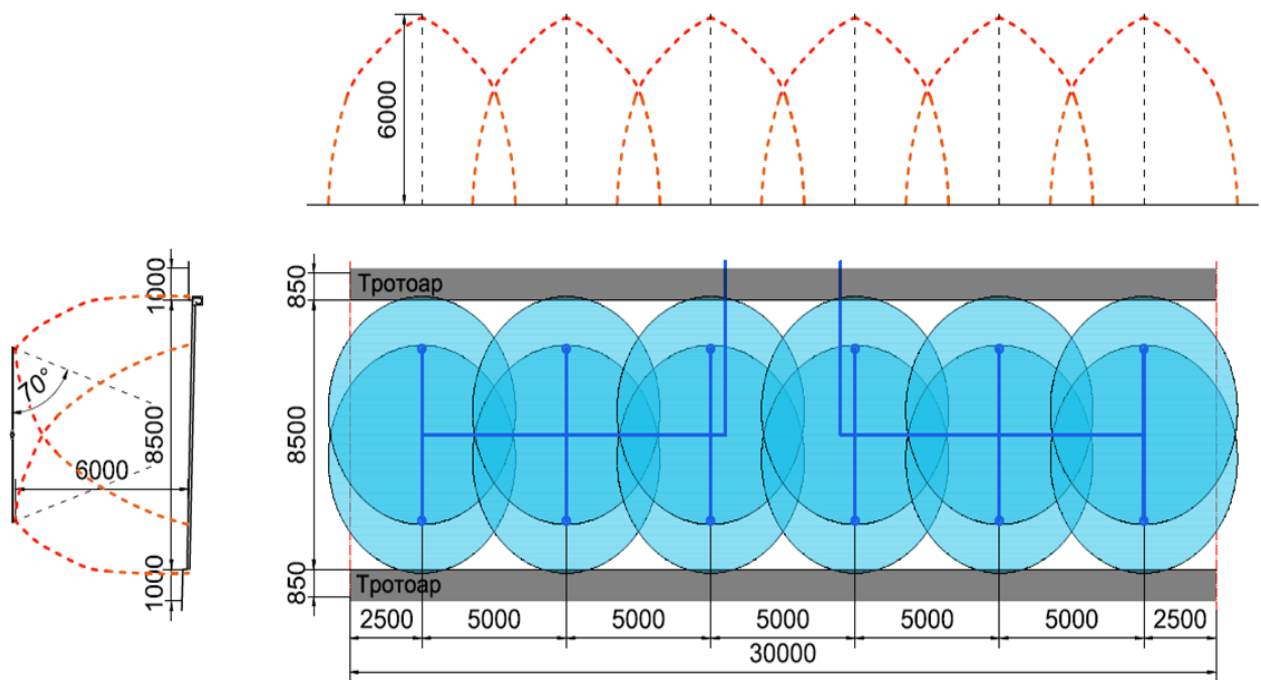
- съвременни инженерни методи;
- огневи тестове в пълен размер;
- разглеждане на условията, намерени в тунела;

За обект на проектиране избираме тунел с дължина 1000 m.

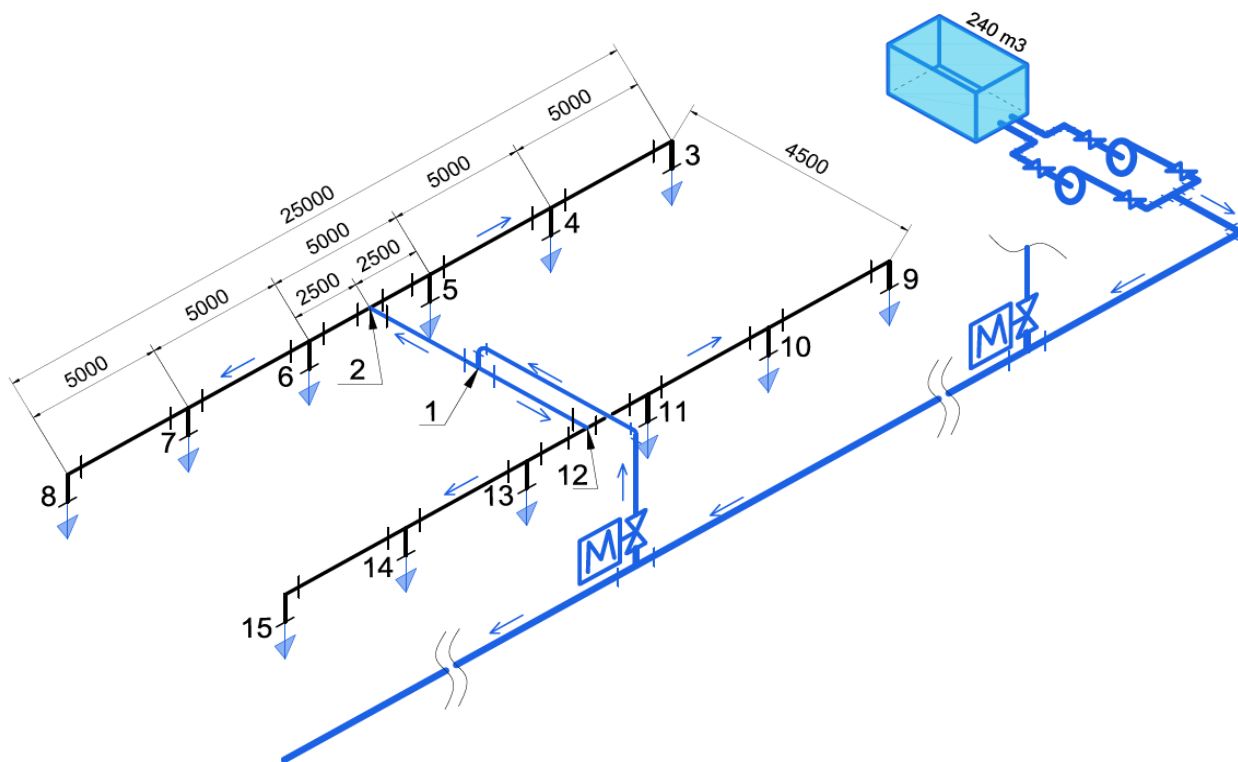
На фиг. 50 е представена схема на напречен профил на тунел, на фиг. 51 е показано покритието на водата от дюзите, а на фиг.52 и фиг.53 са начертани схеми на разположение на елементите на пожарогасителна система в тунел.



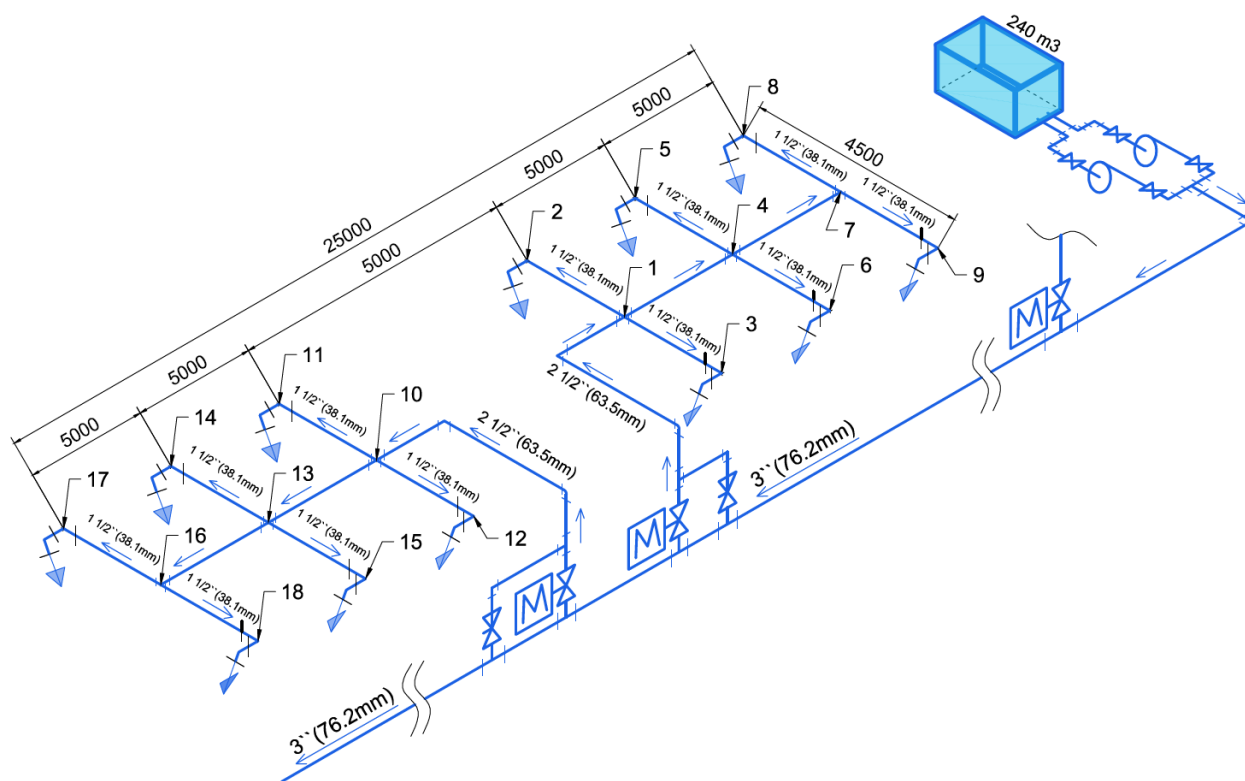
Фигура 50. Напречен профил на тунела и сечение на формата на разпръскваната вода



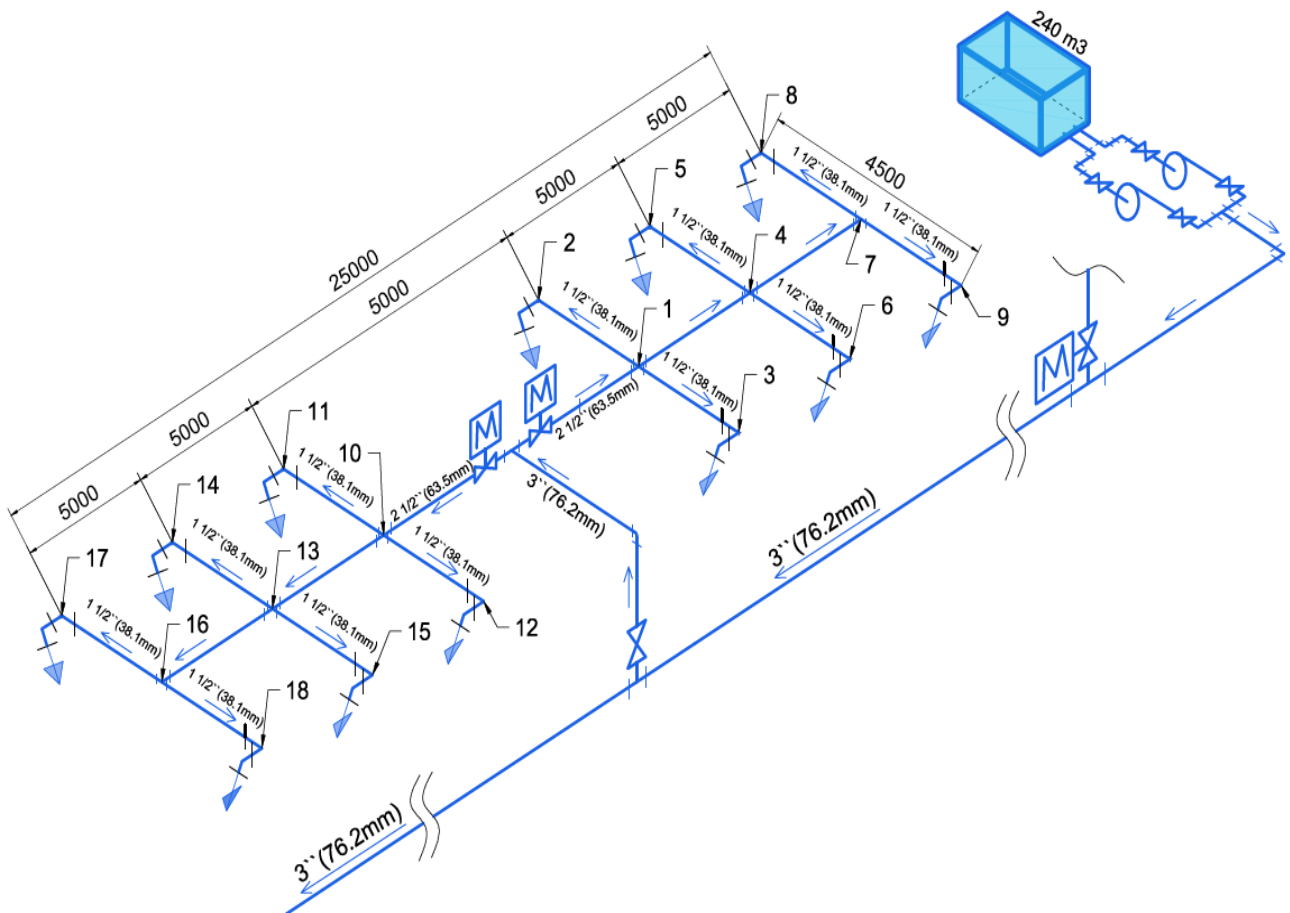
Фигура 51. Покритие на водата от дюзите на нивото на пътното платно



Фигура 52. Схема на разположение на елементите на една система в тунел



Фигура 53. Вариант 1- Схема на групата с независимо захранване на двете подгрупи и наличие на байпас за ръчно управление



Фигура 53а Вариант 2- Схема на групата с единично захранване на двете подгрупи с една тръба

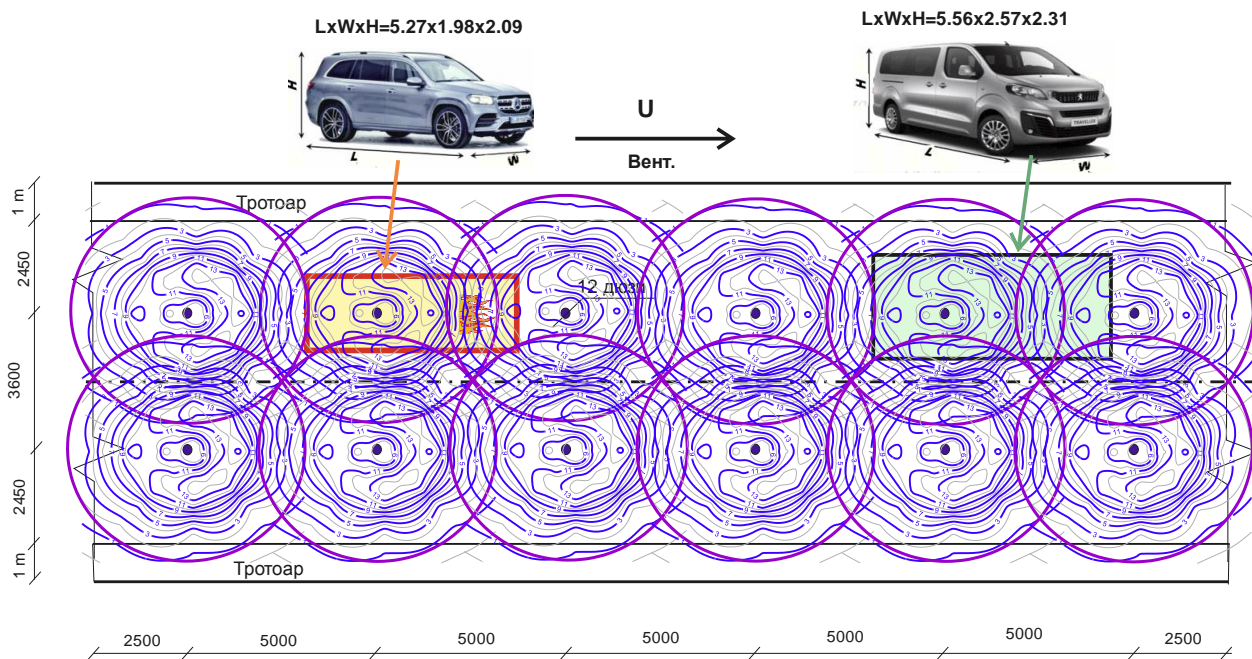
Предлагаме разделяне на една инсталация (секция) на две подгрупи, така че в зависимост от мястото на горящото превозно средство, да бъдат задействани съответно една секция плюс една подгрупа на секцията или две секции от пожарогасителната система в тунела.

VI.5 Основни елементи на системата

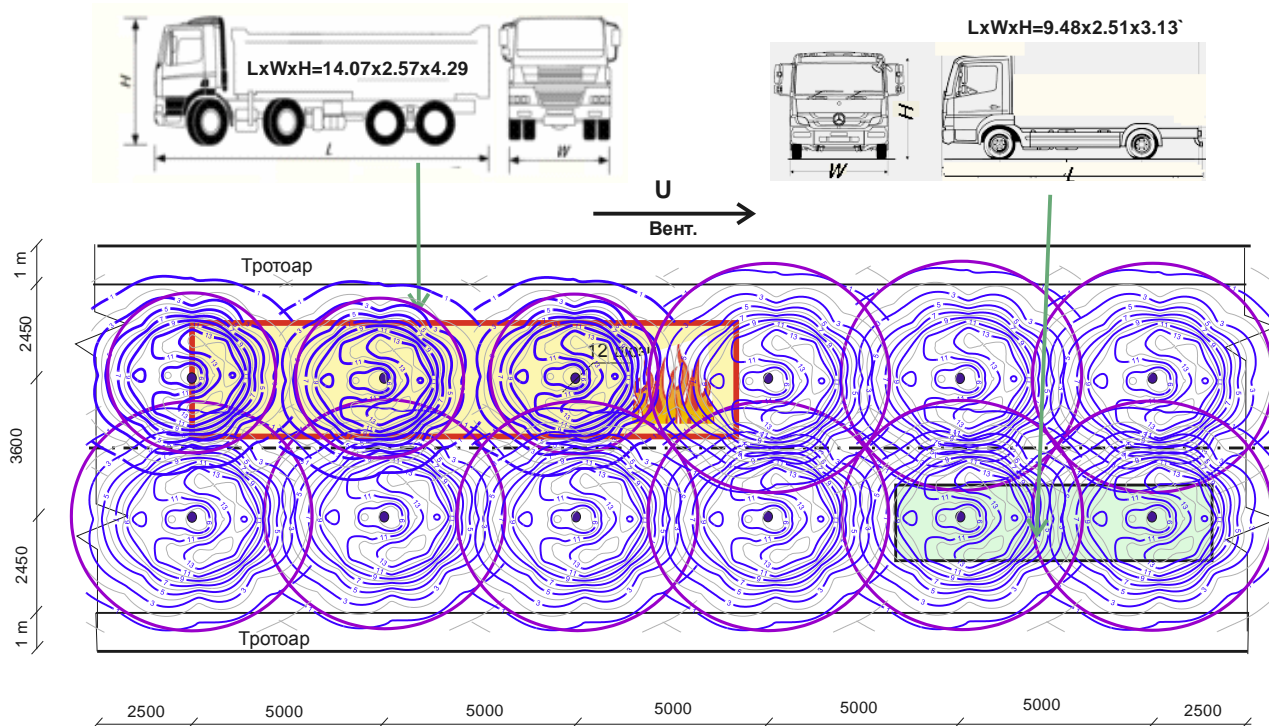
Всички основни елементи на системата – тръбопроводи, фитинги, дюзи, клапани, помпена станция и др. трябва да са съобразени със следните стандарти - NFPA 502:2020, СД CEN/TS 14816:2009, БДС EN 12845:2015+A1:2020

VI.6 Видове и размери на превозни средства, преминаващи през тунели

Размерите на превозните средства, които преминават през тунелите и могат да предизвикат или да бъдат засегнати от пожар имат значение за характеристиките на пожарната система.



Фигура 54. Пожар на лек автомобил, на 23 метра пред него блокиран ВАН



Фигура 55. Пожар на тежкотоварен камион (HGV), в съседна лента лекотоварен камион(LDV) до 3.5 t

VI.7. Поведение на водните капки в зоната на пожара

Когато водните капки падат свободно под действие на гравитацията, максималното разстояние X , което те изминават зависи от техния диаметър Dd , температурата на средата в която падат, преди да се изпарят и височината на нагнетите от пожара повърхности, които ще срещнат. Времето за което (tlife) капката ще се изпари при свободно падане – без отчитане на вентилацията и подемната сила над пламъка, може да се определи по следната формула за капки с диаметър от 100 μm до 1000 μm :

$$t_{\text{life}} = \frac{Dd \cdot L \cdot \rho g}{2 K g \cdot \Delta T \cdot C2}$$

(2)

където: Dd - диаметър на капката [m]

L - латентната топлина на изпарение на водата [kJ/kg]

ρg - плътността на газа в който пада капката [kg/m³]

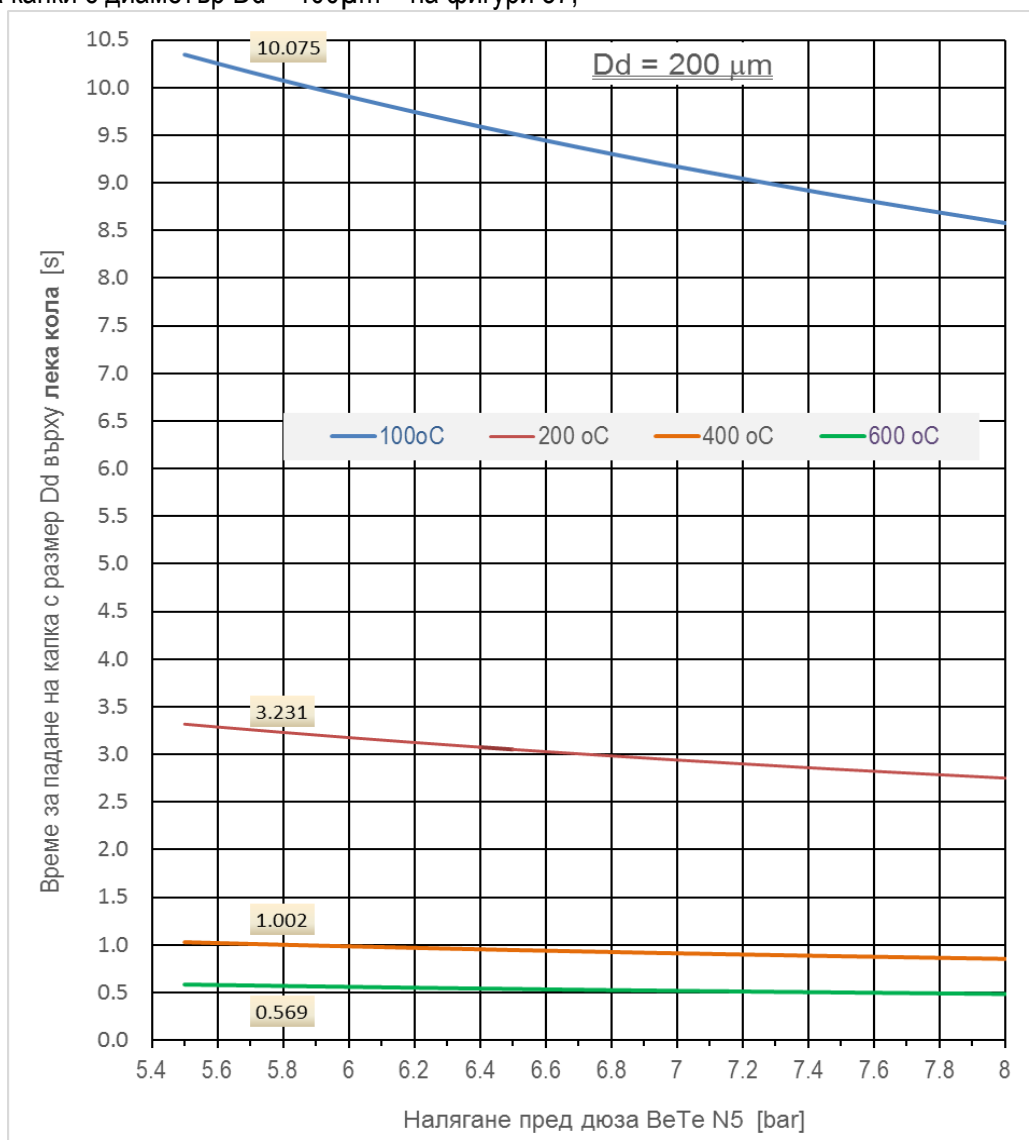
Kg - топлинна проводимост на газа [W/m.°C]

ΔT - разлика между температурата на газовата среда и на капката [°C]

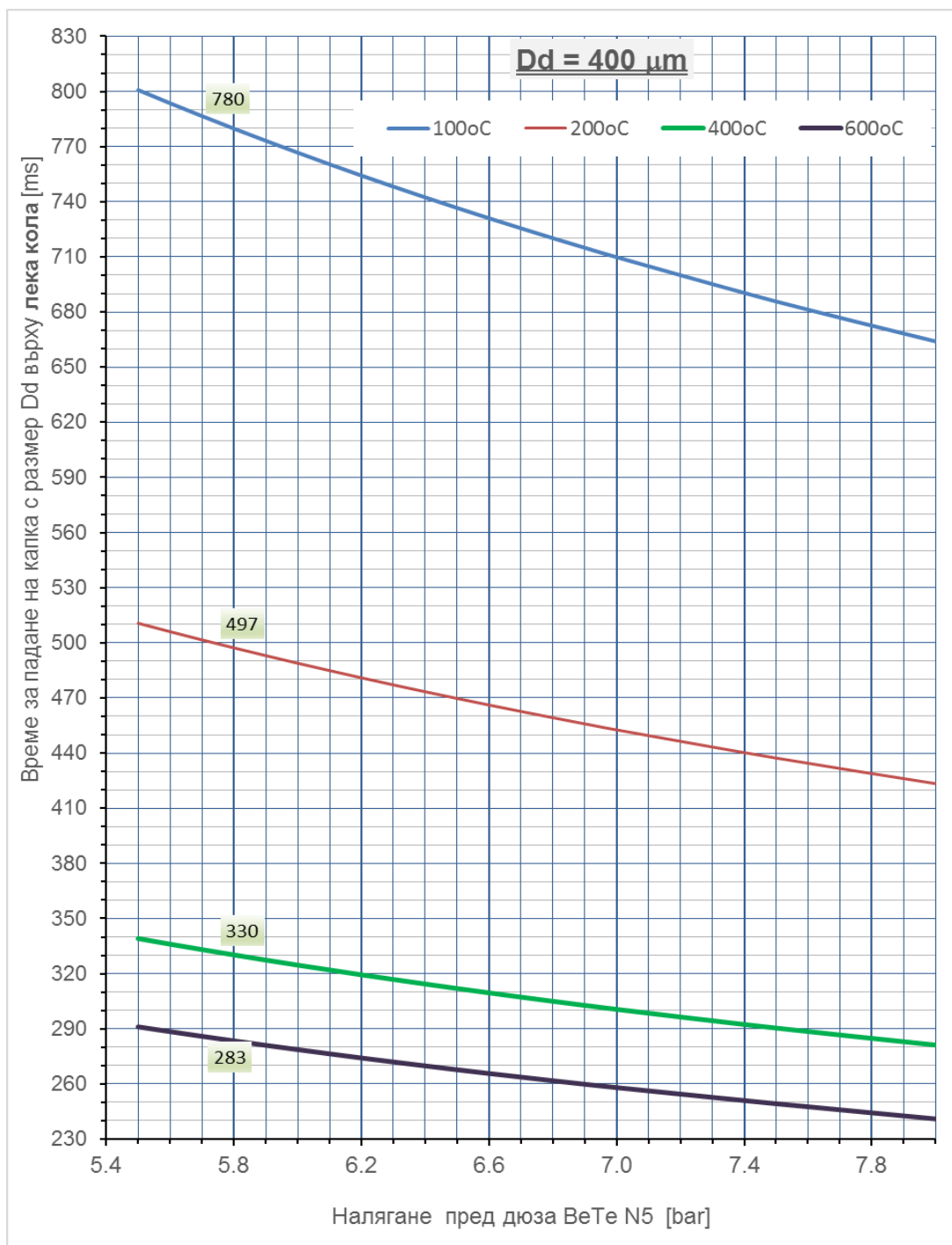
$C2$ - коефициент [m⁻¹]

На фигури 56 и 57 е представено влиянието на дебита на вода през дюзата върху времето за достигане на горящ обект при температури 100°C, 200°C, 400°C и 600°C, както следва:

- за капки с диаметър $Dd = 200\mu\text{m}$ – на фигура 56;
- за капки с диаметър $Dd = 400\mu\text{m}$ – на фигури 57;



Фигура 56. Влияние на дебита на вода през дюзата върху времето за достигане на горящ обект за капки с диаметър $Dd = 200\mu\text{m}$



Фигура 57. Влияние на дебита на вода през дюзата върху времето за достигане на горящ обект за капки с диаметър $Dd = 400 \mu m$

На фигурите ясно се вижда, че при температури на димния слой до 200°C по-едрият капки ще проникнат до горящата повърхност на превозните средства, допринасяйки за понижаване на температурата на горящата повърхност.

Разпръснатата вода има тенденция да ограничава размера на пожара, значително намалява производството на дим, и намалява неговата температура при адекватна дължина на системата.

Водните капки се свързват с твърдите частици на дима в някаква степен, като намаляват отрицателното му въздействие върху условията за видимост и намаляват неговата токсичност.

VI.8 Хидравлично оразмеряване

Хидравличното оразмеряване на водната пожарогасителна система има за цел да определи броя, вида и разположението на дюзите, необходимия напор и необходимия дебит за работа на самата система.

След като се изясни схемата на разположение се определя най-отдалечената разположена дюза и водното количество, което преминава през нея при избраното налягане:

$$Q = K \times \sqrt{P} \quad (3)$$

където: Q е дебита, [l/min].

K е коефициент на разхода. даден от производителя на дюзата.

P е налягането пред дюзата. [bar].

Изчисляват се загубите на налягане до следващата дюза в схемата. Загубите на налягане по тръбите се изчисляват в зависимост от работното налягане на системата.

За инсталации с ниско налягане (до 12 bar) се прилага методът на Hazen-Williams:

$$\Delta p = \frac{6,05 * 10^5}{C^{1,85} * d^{4,87}} * L * Q^{1,85} \quad (4)$$

където: Δp - са загубите на налягане в тръбата. [bar];

Q - дебитът през тръбата, [l/min];

D - средният вътрешен диаметър на тръбата, [mm];

C - константа за вида и състоянието на тръбата;

L - еквивалентната дължина на тръбата и фитингите, [m].

С помощта на специализиран софтуер Pipe Flow Expert v7.40 [VI-16] са извършени изчисления на една инсталация на предложения модел на фиг.52. Резултатите са отразени в таблица 14.

Таблица 14. Резултатите са изчислени с програма Pipe Flow Expert v7.40

№	ОПИСАНИЕ НА КЛОН/ВЪЗЕЛ	К ФАКТОР	НАЛЯГАНЕ [KPa]	ВИСОЧИНА НА ОКАЧВАНЕ [m]	ИНТЕНЗИВНОС Т [L/min/m ²]	ДЕБИТ [L/min]
1	Без изтичане	-	560.00	6.00	-	-
2	Без изтичане	-	521.48	6.00	-	-
3	Разпръскваща дюза	75	422.97	6.00	5.930	154.18
4	Разпръскваща дюза	75	432.91	6.00	5.999	155.98
5	Разпръскваща дюза	75	469.04	6.00	6.245	162.36
6	Разпръскваща дюза	75	469.04	6.00	6.245	162.36
7	Разпръскваща дюза	75	432.91	6.00	5.999	155.98
8	Разпръскваща дюза	75	422.97	6.00	5.930	154.18
9	Разпръскваща дюза	75	399.64	6.00	5.764	149.87
10	Разпръскваща дюза	75	409.12	6.00	5.832	151.63
11	Разпръскваща дюза	75	443.59	6.00	6.073	157.89
12	Без изтичане	-	493.27	6.00	-	-
13	Разпръскваща дюза	75	443.59	6.00	6.073	157.89
14	Разпръскваща дюза	75	409.12	6.00	5.832	151.63
15	Разпръскваща дюза	75	399.64	6.00	5.764	149.87
СРЕДНО:				6 m	6.213	156.32

Най-отдалечените дюзи са с поредни номера 9 и 15 (табл.14), където налягането е най-ниско 399,64 kPA. Дебитът и интензивността на оросяване в тези точки аналогично са най – ниски. Дебитът е 149,87 [L/min], а интензивността – 5,764 [L/min/m²].

Следващите по-неблагоприятно разположени дюзи са в точки 3 и 8 с налягане 422, 97 kPA, дебит - 154.18 [L/min], и интензивност на оросяване – 5,930 [L/min/m²].

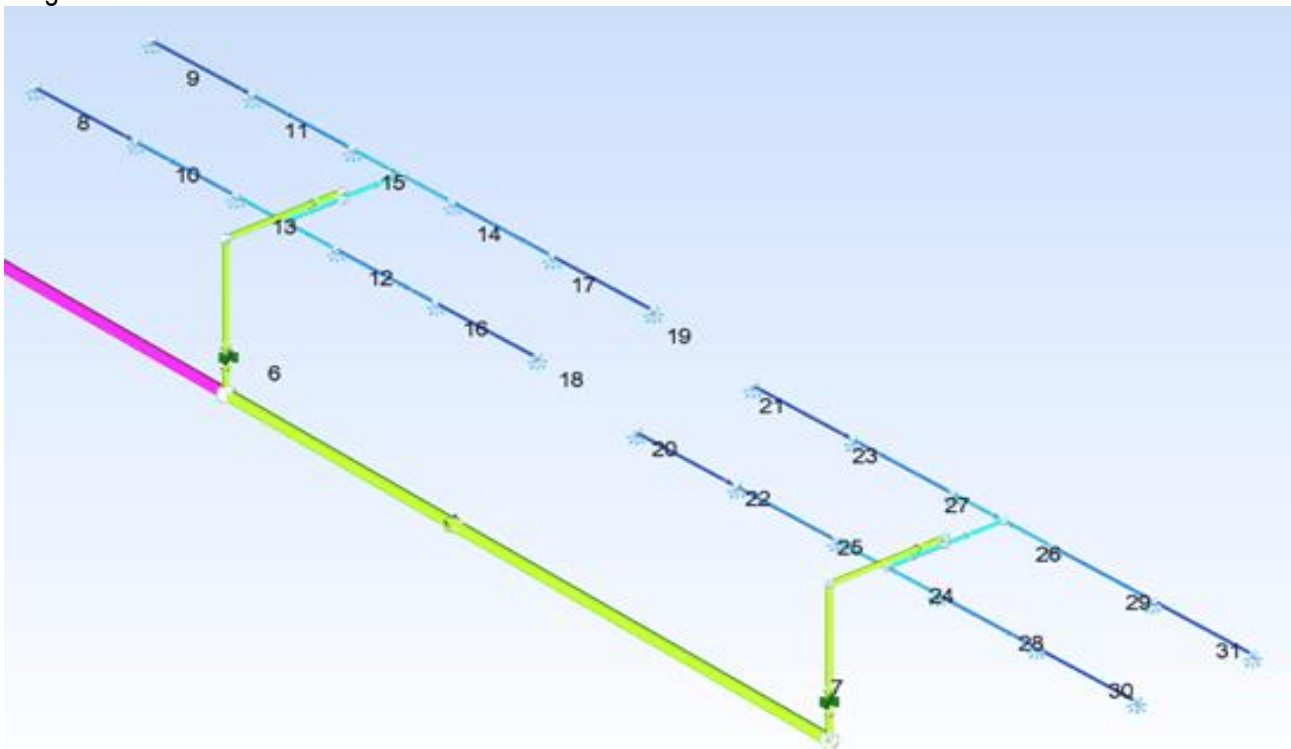
Средните стойности на интензивност на оросяване и дебит са 6,213 [L/min/m²] и 156,32 [L/min].

Диаметърът на тръбите се избира с изчисляването на подаването на необходимото количество вода към разпръскващите дюзи за борба с пламъка. В този случай е необходимо да се вземат предвид формата на струята, площта, която ще бъде покрита от нея и много други фактори. Подбраните тръби в настоящия проект са метални горещо поцинковани с диаметър 1.5”(38.1mm) за разпределителни тръбопроводи и магистрални тръбопроводи с диаметър 3”(76.2mm), които подават водата транзитно към разпределителните тръбопроводи;

В табл.6.13 от дисертацията, е описан вида на тръбите, диаметрите им, фитингите и дължините им.

В табл.6.14 е отразено налягането и загубите на дебит в началния възел.

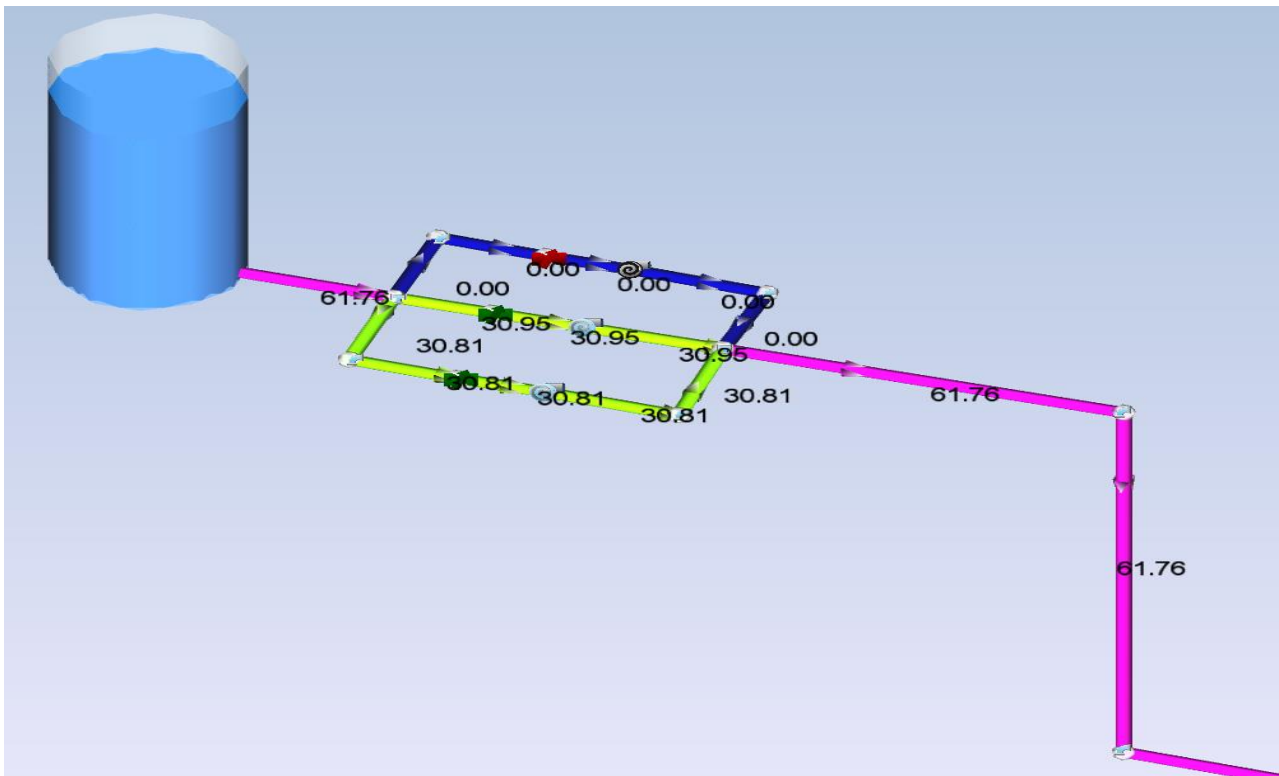
Когато горенето е между две секции, са изчислени два броя инсталации с по 12 дюзи, представени на фиг.58. с помощта на втори специализиран софтуер „Fire Sprinkler Hydraulics Calculation Program“.



Фигура 58. Схема на разположение и означение на разпръскващи дюзи в две съседни секции

Видно от схемата е, че дюзи с номера 8,9,18,19 и 20, 21, 30, 31 са най отдалечени от захранващия тръбопровод, където средните количества и налягания са най-ниски. Най-благоприятно разположени са дюзите с номера 12,13 и 24, 25, където преминаващото количество вода и наляганията на входа на дюзите са най-високи. Резултатите са отразени в табл.6.16. от дисертационния труд.

На фигури 6.24 и 6.25 от разработката са нанесени номерацията на тръбите и техните дължини. Дължините на тръбите варират от 0.1 m до 5 m, а диаметрите им от 43 mm до 154 mm.



Фигура 59. Схема на средното количество в [l/s] в тръбите, свързващи резервоара с помпите

VI.9. Монтаж и въвеждане в експлоатация на стационарна пожарогасителна система

Монтажът се извършва в съответствие с изискванията на производителя и одобрените чертежи по проекта.

Въвеждането в експлоатация на пожарогасителната система включва тестване на интерфейси с всички останали части за работата на системата.

Механичното пускане в експлоатация включва тестване на помпената станция, секционните клапани, дюзите и свързаните с тях тръбопроводи.

Първата част на въвеждането в експлоатация е свързано с промиване и тестване на налягане.

Втората част от пускането в експлоатация е свързана с работата на системата. Трябва да се активира най-неблагоприятната система за доказване на хидравличното оразмеряване, чрез измерване на работното налягане и дебит на най-отдалечената дюза. Налягането трябва да бъде не по-малко от показаното в хидравличните изчисления. Тестът се извършва с противопожарния агент, включително и когато са предвидени добавки за симулиране на реална експлоатация на системата.

Помпената станция, секционният клапан или други контролни устройства могат да се активират автоматично в такъв тест.

Обучението при спешни случаи е препоръчително упражнение при всички системи за безопасност на тунела, включително пожарогасителната система, която да се тества във връзка с аварийната ситуация при симулиран пожарен инцидент. Обучението на аварийните служби да работят със стационарната система за гасене е важна част от тестването.

VI.10. Активиране и работа на системата

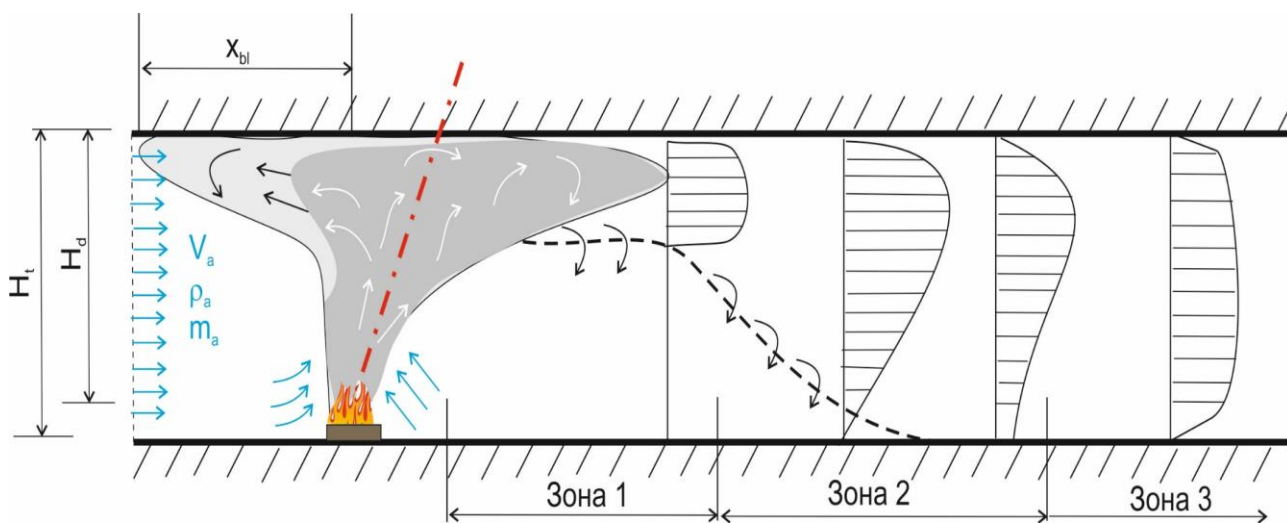
Стационарната пожарогасителна система може да се активира и работи ръчно или автоматично в зависимост от наличието на обучен персонал, очаквани рискове, вида на системата, използваните и приложими системи за контрол и законодателството.

Предварително условие за ръчна работа е 24 часово дежурство в контролна зала за управление на тунели. Ръчно управляеми стационарни пожарогасителни системи се активират и контролират от оператор или от пожарни служби.

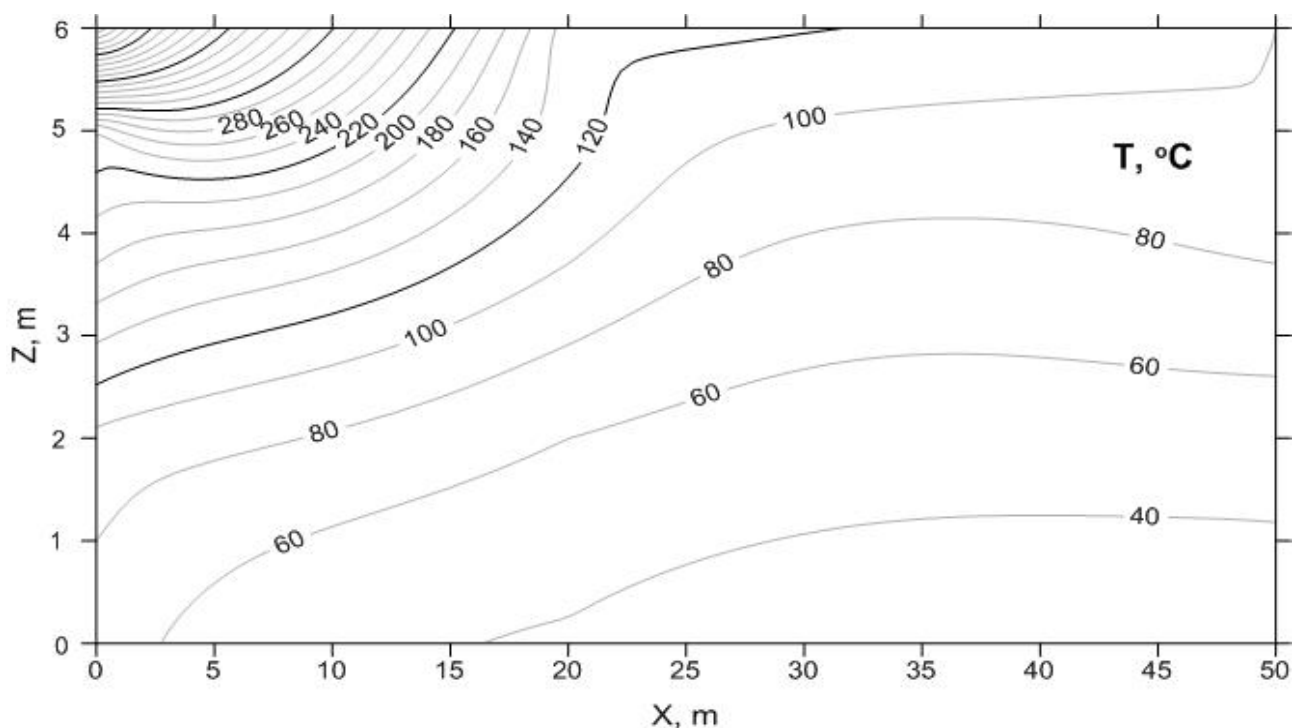
VI.11. Намаляване на интензивността на изгаряне при работа

Скоростта на отделяне на топлина от пожара, наричана тук „мощност на пожара“ зависи от дебита на кислород, който вентилацията доставя в зоната на горене.

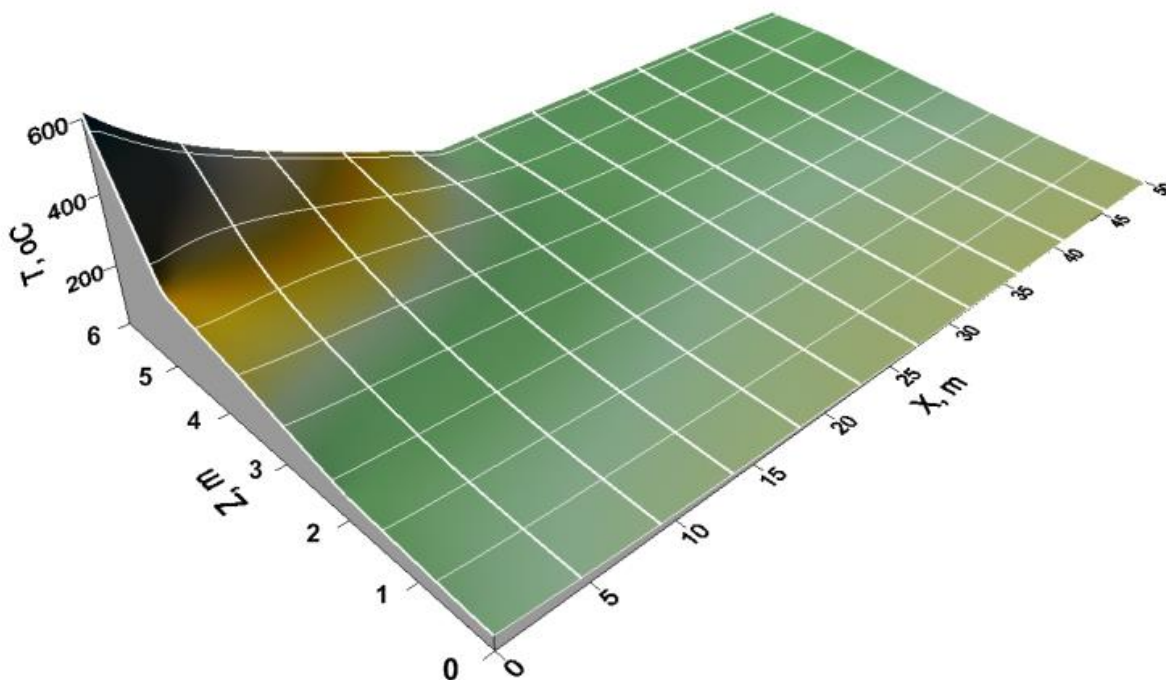
Минималния въздушен дебит, в общия случай, се определя на основата на надкритичната скорост за предотвратяване обратното разпространение на дима срещу въздушното течение (фиг.60).



Фигура 60. Обратен димен слой и димен слой след пожара



Фигура 61. Изолинии на разпространението на дима в зависимост от температурата



Фигура 62. Разпространение на дима в зависимост от температурата, чрез използване на програмен продукт „Surfer“

VI.12. Противопожарен воден резерв

Проблемът с големия разход на вода при включване на две дренажни системи може да бъде рационално решен със събиране, филтриране и повторно използване на неизполваната при гасенето и кондензирана в тунела вода. За това рециклиране на водата е необходимо да се положат приемни канали с отвори (фиг.63) в ниската част на пътното платно. Капацитета на дренажната система в нашите норми – EABT и ZTV-ING е 100 L/s и напълно достатъчен за предлаганата перспективна схема. Допълнително в дренажната система, преди резервоара трябва да се включат филтриращ клапан и възвратен вентил. Тази задача е обект на бъдещи изследвания.



Фигура 63. Приемни канали с отвори

Работата на пожарогасителните системи в тунела трябва да бъде количествено и качествено ясна, за да се минимизират рисковете за пътниците и за тунелната структура при анализирания сценарии на проектни пожари.

ИЗВОДИ към ГЛАВА 6:

1. Предложена е методика за проектиране на стационарни пожарогасителни инсталации с разпръсната вода в пътни тунели.
2. Избрана е разпръскваща дюза ВЕТЕ N5 с два пръстена за пръскане: външен, широкоъгълен конус и по-тесен вътрешен конус, за пълен конусен ефект след проведените експериментални изпитвания с различни разпръскващи дюзи.
3. Извършено е хидравлично оразмеряване на елементите на пожарогасителната система на водна основа с помощта на софтуерни продукти, с които са определени броя на дюзите, необходимия напор и изискващите се водни количества за работа на самата система.
4. На база направените изчисления е подбрана вертикална многостъпална центробежна помпа модел CR 125-4-2 A-F-A-V-HQQV.
5. Проектирането на такъв тип система освен в транспортни тунели може да намери приложение и в градски тунели като водна завеса, която ще понижи димообразуването и саждите и по този начин да защити хората.
6. Необходимо е да се дефинират и предложат допълнителни нормативни изисквания за изграждането на такива инсталации в тунели с дължина по-голяма от 500 m, голям трафик и двупосочно движение, както и в други тунели в зависимост от оценката на риска.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Отчитайки динамиката на пожарите в пътни тунели и времето за реакция на службите за ПБЗН до тунелите в Република България, може да се препоръча изграждането на стационарни пожарогасителни системи в тунелите, които ще подобрят условията за самоспасяване.
2. Включването на пожарогасителните инсталации ще задържи топлоотделянето от пожара на ниско енергийно ниво и ще облекчи достъпът на пожарните служби;
3. Задържането на пожара на ниско енергийно ниво може да защити строителната конструкция.
4. Стационарните пожарогасителни инсталации ще предотвратят разпространението на горенето към съседни превозни средства при включване на една или две инсталации в зоната на горене;
5. Предложена е методика за определяне интензивността на покритие на водата върху защитаваната площ, която може да се прилага и за други видове пожарогасителни дюзи при различни налягания;
6. Изследвани са винтови разпръсвачи, дефлекторни и спирални дюзи при ниско и средно налягане с цел подходящо разпределение на капките по площ и размер за гасене на пожари в пътни тунели. Резултатите могат да се използват в проектирането на инсталациите.
7. Предложена е методика за проектиране и схеми на стационарни пожарогасителни инсталации с разпръсната вода в пътни тунели.
8. Проектирането на такъв тип пожарогасителна система, освен в транспортни тунели може да намери приложение и в градски тунели, най-напред като водна завеса, която ще понижи димообразуването и саждите и по този начин да защити хората, чакащи на спирките и евакуиращите се от автобусите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основен проблем за пътните тунели в страната е невъзможността в 2/3 от тях пожарната служба да започне пожарогасителни действия преди пожара да е достигнал максимално топлоотделяне (HRR_{max}), когато ефективното гасене е много трудно. Има пожар в Европейски тунел при който на третото пожарогасително формирование се налага да спаси първите две, едва достигнали укрития. От друга страна достигането на HRR_{max} за пожари на превозни средства с голям топлинен потенциал създава рискове за пътниците и за нарушения на тунелната конструкция. Пожарите в тунелите Мон Блан между Италия и Франция, тунела Тауерн в Австрия и тунела Готард в Швейцария, при които загинаха 62 пътници за 3 години, нанесоха и конструктивни нарушения, възстановяването на които в един от тези тунели е струвало почти един милиард евро.

Независимо от нормите, които ще се въведат в нашето законодателство в бъдеще, решението за инсталиране на стационарни пожарогасителни инсталации трябва да бъде в резултат на оценката на риска на тунела, съгласувано със службата по ПБЗН, която ще отговаря за гасенето в него.

Техническите предпоставки, които позволиха да се фокусираме върху обекта на този труд са: въвеждането на непрекъснат температурен мониторинг с достатъчна селективност по цялата дължина на тунела; наличието на непрекъснато видеонаблюдение, което позволява изпреварващ и контролен мониторинг на запалване и изграждането на система за водно пожарогасене в тунелите. Оперативния контрол на тунелите съществува, но е необходимо обучение на операторите за действия при аварии и пожари, включително за управление на пожарната вентилация и времето за включване на пожарогасителната инсталация.

Спорът за това какви инсталации да бъдат предпочетени в бъдеще – дренчерни или с водна мъгла намираме за недостатъчно обоснован, поради факта че с увеличаване на скоростта на изтичане през всяка дюза съотношението между фините и по едрите капки се променя, която промяна количествено е описана в Глава 5-та. Следователно усилията в бъдеще най-напред трябва да се насочат към помпени агрегати със стъпково управление на дебита и налягането в границите до допустимото максимално налягане за използваната в тунела арматура. Нашата представа е, че по този начин плътността на оросяване може да се изменя достатъчно – от 6 mm/min до 10 mm/min.

Взаимното влияние на пожарогасителните инсталации и вентилацията при пожар се нуждаят от бъдещо изследване. Например задържането на пожара на 1/3 от HRR_{max} с включване на пожарогасенето намалява критичната скорост с по-малко от 20%, което се оборва от аварийната практика. Полунапречната схема с изсмукване на дима при свода на тунела може да реши някои проблеми - по-дълго разстояние на запазване на стратификацията (подтаванния слой), при запазване на надлъжното му движение, при съвместна работа с пожарогасителна инсталация. Първата част на задачата е обичайна за минната вентилация, но модела трябва да се разшири с влиянието на пожарогасителната инсталация и резултатите да се сравнят с надлъжната схема на проветряване.

Разходите за изграждане на пожарогасителните системи в тунелите финансово се отнасят към очаквания им експлоатационен срок. Той трябва да бъде допълнително проучен, но не трябва да бъде по-малък от 30 години. Експлоатационната поддръжка може да бъде поверена на свободни от смяна оператори на тунела, а периодичните изпитвания да се извършват с участие на пожарната служба, а защо не и на проектанта на инсталациите.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Македонска Д.Д., Ел.Д. Власева. Пожарни инциденти в транспортни тунели – статистика, анализ, моделиране. 59-та Международна научна конференция МГУ „Св. Иван Рилски“, 28.10.2016, стр.56 – 63, Изд. къща „Св.Иван Рилски“, ISSN 1312-1820
2. Михайлов М., Д. Македонска. Намаляване на пожарния риск в пътни тунели. VIII Научна конференция с международно участие „Гражданска безопасност 2017“ в Академия на МВР.
3. Михайлов. М., Д. Македонска, Изследване на дюзи за пожарогасене с фино разпръсната вода в пътни тунели. ISSN 1314 – 2550 Топлотехника. Година X. Книга 1. стр.54 – 66
4. Михайлов, М., Д. Македонска, Необходимост от стационарни пожарогасителни системи в пътни тунели. 62-ра Международна научна конференция МГУ „Св. Иван Рилски“, 23.10.2019 г., стр.60-65, Изд. къща „Св.Иван Рилски“, ISSN 1312-1820.

SUMMARY

Topic: RESEARCH ON FIXED FIRE FIGHTING STSTEMS EFFICIENCY IN ROAD TUNNELS

Author: Diana Dimitrova Makedonska

Accidents in tunnels are serious problem that requires improvement of safety, which involves complex solutions. The aim of the PhD thesis is to minimize the consequences of fire for passengers and material environment in road tunnels. Traffic accidents in road tunnels worldwide are analyzed and reasons for their occurrence are systematized. These analysis lead to conclusion that Fixed fire fighting systems (FFFS) are one perspective option which can improve safety in tunnels, bearing in mind different combustible load and fire behavior. One important part of FFFS are spray nozzles and intensity of distribution of the water. In order to study nozzle characteristics special experimental installation was build and several nozzles were tested. Water drops distribution and surface coverage achieved by nozzles were examined and results summarized. A methodology for design of Fixed fire fighting systems with water dispersed in road tunnels is proposed. Fixed fire fighting systems can control fires, in the initial period of ignition, preserve the tunnel structure and prevent the linear spread of the fire in the tunnel. Normative requirements for application of fire extinguishing installations in transport tunnels can be proposed, based on conducted research, analysis of obtained results and goals achieved in the thesis.