

Българска академия на науките
Институт по информационни и комуникационни технологии
Секция: „Вградени интелигентни технологии“

ДИСЕРТАЦИЯ

за получаване на образователна и научна степен „ДОКТОР“

автор: **маг. инж. Никола Николаев Съботинков**

Тема:

Изследване и управление на защитни системи в подземния транспорт

научна област: 5. Технически науки

професионално направление: 5.2. Електроника, електротехника и
автоматика

научна специалност: 02.21.07 “Автоматизирани системи за
обработка на информация и управление“

научен ръководител: **проф. д-р Димитър Неделчев Карастоянов**

Българска Академия на Науките – София, 2019

Благодарности

Благодаря на своя научен ръководител проф. д-р Димитър Карастоянов, за ползотворната съвместна работа, за всички съвети и градивните критики, които отпрати, както също и за експертно ръководство по време на моята докторантура. Благодаря за предоставеният ми от него шанс и оказаното доверие!

Дължа благодарност на колегата PhD Николай Стоименов за съветите и оказаната помощ в реализацията на симулациите, определяне на параметрите и разбира се за приятелската подкрепа.

Благодаря на колегите от секция „Вградени интелигентни технологии“ за помощта при постановката на експерименти, без чието изключително съдействие настоящата дисертация не би се случила.

И накрая големи благодарности на моята Баба, на моята сестра и баща, които ме подкрепяха и мотивираха! Тяхната любов и подкрепа през последните години бяха безценна опора за мен.

От автора

СЪДЪРЖАНИЕ:

№	Наименование	Страница
	Резюме	5
	Увод	6
	Глава 1. Обзор, анализ и систематизация на видове фактори, влияещи върху сигурността и безопасността в подземния железопътен транспорт	7
1.1.	<i>Метро - общи изисквания</i>	7
1.2.	<i>Концентрация на фини прахови частици в метрото</i>	8
1.3.	<i>Други вредни елементи от околната среда</i>	17
1.4.	<i>Безопасност в подземния железопътен транспорт</i>	33
	<i>Цели и задачи на дисертационния труд</i>	35
	Глава 2. Съществуващи решения за намаляване на концентрацията на фини частици и подобряване на сигурността в подземния железопътен транспорт	36
2. 1.	<i>Съвременни измервателни системи</i>	36
2.2.	<i>Други технологични разработки към този момент</i>	37
2.3.	<i>Вентилация в метрото и тунелите общи положения</i>	41
2.4.	<i>Теоретично изследване</i>	44
2.5.	<i>Реални измервания и входни данни</i>	51
2.6.	<i>Изчисление на средната скорост на влаковия въздушен поток</i>	53
	Глава 3. Иновативни подходи с използването на осъвременени защитни системи подземния железопътен транспорт	58

3.1. Конфигурация/Схема на изследването	58
3.2. Филтриране на въздух	60
3.3. Ролкови врати	66
Глава 4. Експериментални резултати и симулационно моделиране с нови защитни системи	69
4.0.1 Начални експерименти	69
4.1 Симулация без и с предпазна врата общи положения и модели на разработка	74
4.1.1 Физически възможности на програмния продукт Solidworks Flow	74
4.1.2 Уравнения	75
4.1.3 Потоци в порести тела	80
4.1.4 Двufазни потоци (флуид + частици)	82
4.1.5 Условия за симулация на вътрешен поток	84
4.1.6 Параметри на стената	84
4.1.7 Числено изчисление	85
4.1.8 Траектория на частиците в еднородни потоци	85
4.1.9 Параметри за симулационно моделиране	86
4.2 Симулация с общи условия /без врата и филтърни тела/- модел 1	87
4.2.1 Резултати модел 1	88
4.3 Симулация с монтирана врата и филтри MERV15 – модел 2	90
4.3.1 Резултати модел 2	91
4.4 Симулация извършена без монтирана врата и филтри – с включена вентилация - модел 3	94
4.4.1 Резултати модел 3	95

<i>4.5 Симулация извършена с монтирана врата и филтри</i>	
<i>и с включена вентилация – модел 4</i>	97
<i>4.5.1 Резултати модел 4</i>	98
Глава 5. Сравнителен анализ на 4-те модела	101
<i>5.1 Извод</i>	102
Потенциална комерсиализация на резултатите	103
Научно-приложни приноси	104
Литература	105
Списък на публикациите	110
Декларация за оригиналност	111

Резюме

В това изследване е разработен нов метод за тунелна вентилация с използване на високоскоростни ролкови врати, монтирани на входовете и изходите на тунелите във всяка от метростанциите. Методът ще подобри ефективността на вентилирането и ще намали високите концентрации на вредни фини прахови частици (ФПЧ) в два диапазона - с размер на частиците по-малък от 10 μm и по-малък от 2.5 μm , замърсяващи въздуха в тунелите и станциите на метрото вследствие на движението на влакове и хора. Допълнително ще се допринесе за повишаване сигурността и намаляване на енергийните разходи, чрез поддържане на комфортна и защитена среда за пътниците и персонала в станциите и тунелите. Методът, който ще бъде използван, е симулационно моделиране с използване на изчислителна техника и софтуер за определяне въздушните потоци в тунелите и метростанциите.

Увод

В съвременните условия на научно-техническа революция, когато човекът все по-активно търси по ефективни и бързи методи на придвижване, опазването на околната среда се превръща в един от най-острите и актуални проблеми. Този проблем има сериозни последици за човечеството и бъдещите поколения, които освен регионален имат и глобален характер. Осигуряването на проспериращо бъдеще на хората не може да се постигне без комплексното и съгласувано решаване на проблемите на околната среда и икономическото развитие на обществото. Това може да бъде постигнато само по пътя на уелото, научно обосновано въздействие върху причините, свързани със замърсяването на околната среда - т.е. едно адекватно на условията управление на околната среда.

Също така, в последните години се увеличи опасността от терористични атаки. Едни от най-уязвимите места са в градската транспортна инфраструктура, особено станциите и тунелите на метрото. Тук има съвпадение от струпване на големи маси хора (пътници), сравнително малко място за реакция и изход, както и големи и скъпи инженерни съоръжения.

Темата на настоящата разработка е продиктувана от актуалността на проблема свързан с опазването и управлението на околната среда, които са сред най-важните приоритети на съвременното общество. Високите концентрации на ФПЧ е причина за множество болести и дихателни проблеми по света. Метрото се използва от милиони хора по света всекидневно /само в София над 450 000 пътника използват метрото на ден с тенденция броят им да се увеличи с увеличаване на линиите/. Гарантирането на здравето и безопасността на пътниците и персонала е от съществено значение.

Предмет на дисертационния труд

Изследване и оптимизация на различни иновативни подходи за управление на защитни системи в подземния градски транспорт, с цел подобряване качеството на въздуха и сигурността на пътниците.

Глава 1. Обзор, анализ и систематизация на видове фактори, влияещи върху сигурността и безопасността в подземния железопътен транспорт

1.1. Метро - общи изисквания

Метрото (съкратено от гръцки metropolis /метрополис/ – град-майка; известно още като подземна железница) е бърз обществен железопътен транспорт. Названието „метрополитен“ (метро), което е прието в много страни, произлиза от името на компанията Metropolitan Railway, която е построила и първото метро в Лондон през 1863 г.. По това време са използвани парни локомотиви теглещи дървени вагони – фиг.1.



Фиг. 1. Лондонско метро – 1863 г.

Метрото се проектира със спирки на важни транспортни възли, офис сгради, търговски центрове, забележителности, квартали и други обекти. Линиите на метрото и техните отделни участъци могат да бъдат подземни/тунели/, наземни и надземни /мостове и естакади/ - фиг. 2. Общата дължина на линиите в различните градове може да достигне от няколко километра до над 1300 км. /метрото в Ню Йорк/.

Предимствата включват:

- Бърз и ефективен транспорт /с голям капацитет/ - типичният капацитет е 1200 пътника на влак или 36 000 пътника/час. Могат да достигнат и до 80 000 пътника/час.

- Надежден транспорт /спазване на точен график/
- Комфортен транспорт
- Други



Фиг. 2. Линии и станции на метрото в София

1.2. Концентрация на фини прахови частици в метрото

Поради широкото използване на подземния транспорт /метро/, вентилационната система е от съществено значение за комфорта, здравето и безопасността на пътниците и работещия персонал. Тя трябва да бъде проектирана така, че да осигури комфортна среда за пътниците и обслужващия персонал при нормалната си работа /температура и качество на въздух/. Системата трябва да може да доставя свеж въздух по време на „час пик“, както също и да контролира движението/посоката на дим и да осигури безопасна евакуация по време на авария.

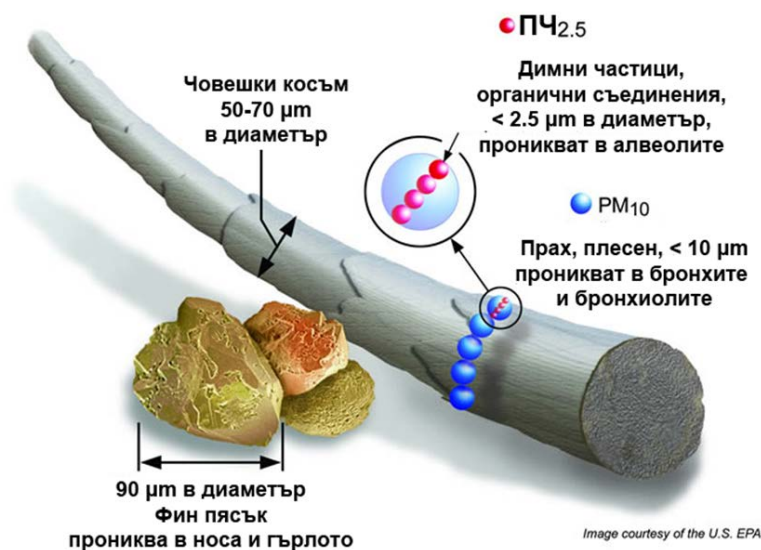
По-важни изисквания:

- ▶ Отстраняване на генерираната топлина
 - Влаковете в метрото могат да се разглеждат, като движещи се източници за топлина. Топлината се генерира основно от спирачната система, системите за поддръжка на влака /климатични системи и др./, както също и от пътниците.
 - Най-ефективният начин за отстраняване на топлина е веднага след нейното генериране, с което да се предотврати възможността тя да се разпространи в околната среда на станцията и тунелите.

► Осигуряване на добро качество на въздуха

- Направени са множество изследвания за качеството на въздуха в метрото и като резултат {3}, вследствие на движението на влаковете, концентрациите на фини прахови частици /ФПЧ2.5 и ФПЧ10/ и в частност концентрациите на желязо, магнезий и хром надвишават многократно стойностите на въздуха над земята /над 100 пъти в метрото на Ню Йорк/{1}.
- Влияние върху човешкото здраве {16}{17}{18}

Прахът постъпва в организма предимно чрез дихателната система, при което по-едрият частици се задържат в горните дихателни пътища, а по-фините частици (под 10 μm - ФПЧ10) достигат до по-ниските отдели на дихателната система, като водят до увреждане на тъканите в белия дроб /фиг. 3/. Деца, възрастни и хора с хронични белодробни заболявания, грип или астма са особено чувствителни към високи стойности на ФПЧ10.



Фиг.3. Размер на частиците отнесен към човешки косъм

В таблица 1.1 е дадено сравнение на концентрациите на фини прахови частици в метрото на различни градове по света{8}{28}{29}{30}.

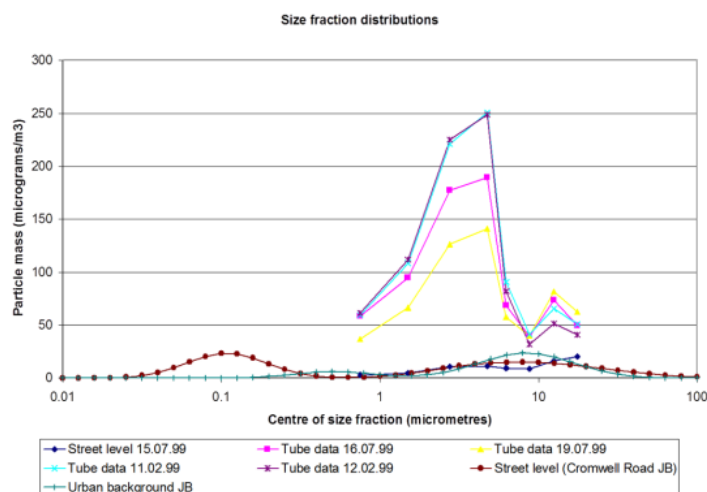
Изследване	Местоположение	Размер на ФПЧ	Място на взетата проба	Концентрация ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Pfeifer et al., 1999	London, UK	PM2.5	Подземно	246 (± 52)
Seaton et al., 2005	London, UK	PM2.5	Станция	270-480
		PM10	Станция платформа	1000-1500
Priest et al., 1998	London, UK	PM9	В метрото	795(500-1000)
Sitzmann et al., 1999	London, UK	PM5	Влакове и платформи	801
Aarnio et al., 2005	Helsinki, Finland	PM2.5	Подземно	47 (± 4) and 60 (± 18)
Kim et al., 2008	Seoul, Korea		Надземно в	19(± 6)
		PM2.5	Надземно и подземно	48.9-126.8
		PM10		115.2-135.7
Kim et al., 2012	Seoul, Korea	PM10	Платформа	116(76-164)
		PM2.5		66(39-129)
Park and Ha, 2008	Seoul, Korea	PM10	Подземни и надземни станции	123 $\pm$ 6.6-145.3 $\pm$ 12.8
		PM2.5	Подземни и надземни станции	105.4 $\pm$ 14.4-121.7 $\pm$ 16.1
Adams et al., 2001	London, UK	PM2.5	Подземно	247.2(105.3-371.2)
Fromme et al., 1998	Berlin, Germany	PM10	Надземно	
			През лятото	153 (S.D. = 22.0)
Johansson and Johansson, 2003	Stockholm, Sweden	PM2.5	През зимата	141 (S.D. = 17.0)
		PM10	Платформа	165-258 (34-388)
Karlsson et al., 2006	Prague, Czech	PM10		302-469 (59-722)
Salma et al., 2007	Budapest, Hungary	PM10	Платформа	357
		PM10	Подземно	103
		PM10	Подземно	155 (25-322)
Grass et al., 2010	New York,	PM10	Подземно	180 (85-234)
		PM2.5	Подземно	
		PM2.5	Подземно	56 $\pm$ 95

Onat and Stakeeva, 2012	Istanbul, Turkey	PM2.5	Подземно	49.3-181.7
Ripanucci et al., 2006	Rome, Rome	PM10	Подземно	407(71-877)
Awad, 2002	Cairo	PM35	Надземно и	794-1096
Cheng et al., 2008	Taipei	PM10	Платформа/Във влака	11-137/10-97
		PM2.5		7-100/8-68
		TSP	Подземно в метрото	456.2 ±176.7
		PM10		324.8± 125.5
		PM2.5		112.6±42.7 38.2±
		PM1		13.9
Li et al., 2007	Beijing, China	TSP	Надземно в метрото	166±78.7
		PM10		108±56.0 36.9±
		PM2.5		18.7 14.7±6.6
		PM1		

Таблица 1.1 – Измерени концентрации на фини прахови частици в метрото на различни държави

Вредният ефект на замърсяването с прах е по-силно изразен при едновременно присъствие на серен диоксид в атмосферния въздух. Установено е тяхното синергично действие по отношение на дихателните органи и откритите лигавици. То се проявява с дразнещо действие и зависи от продължителността на експозицията. Кратковременната експозиция на 500 mg/m³ прах и серен диоксид увеличава общата смъртност при населението, а при концентрации наполовина по-ниски се наблюдава повишаване на заболяемостта и нарушаване на белодробната функция. Продължителната експозиция на серен диоксид и прах се проявява с повишаване на неспецифичните белодробни заболявания, предимно респираторни инфекции на горните дихателни пътища и бронхити - при значително по-ниски концентрации от (30 - 150 mg/m³), което е особено силно проявено при деца. Най-уязвими на комбинираното въздействие на праха и серния диоксид са хронично болните от бронхиална астма и от сърдечно-съдови заболявания. Вредните ефекти при излагане на високи концентрации от метални прахови частици са документирани в множество токсикологични и епидемиологични изследвания. При взети проби

/изследване на проби от метрото в Стокхолм - Karlsson et al., 2005 {2}{32} се установява 8 пъти по-голяма вероятност за увреждане на ДНК и четири пъти по-голяма вероятност да се причини оксидативен стрес /предизвиква диабет, рак, болест на Алцхаймер, артрити и др./ в култивирани белодробни клетки . Проби взети от три лондонски метростанции /фиг.4/ имат по-висок възпалителен потенциал и по-голяма вероятност да причинят увреждане на ДНК в култивирани човешки епителни клетки, отколкото в надземни прахови частици.



Допустими стойности:

ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ

(ФПЧ10): 40 µg/m³

(ФПЧ2.5): 25 µg/m³

Наредба №12 на МОСВ и МЗ
към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)

Фиг.4. Сравнителен анализ на запрашеност

За сравнение са направени епидемиологични изследвания на заварчици, при които са документирани връзка при излагането на заваръчни газове и болести, като пневмония, сидероза /болест на белите дробове/ и неврологични нарушения - болест на Паркинсон. Трябва да се отбележи, че заваръчните газове имат по-fino разпределение на частиците и по-високи концентрации на желязо, манган и хром.

- Причини: влаковете използват стоманени колела, композитни керамични спирачки, прах внесен от пътниците и други

► Законодателство:

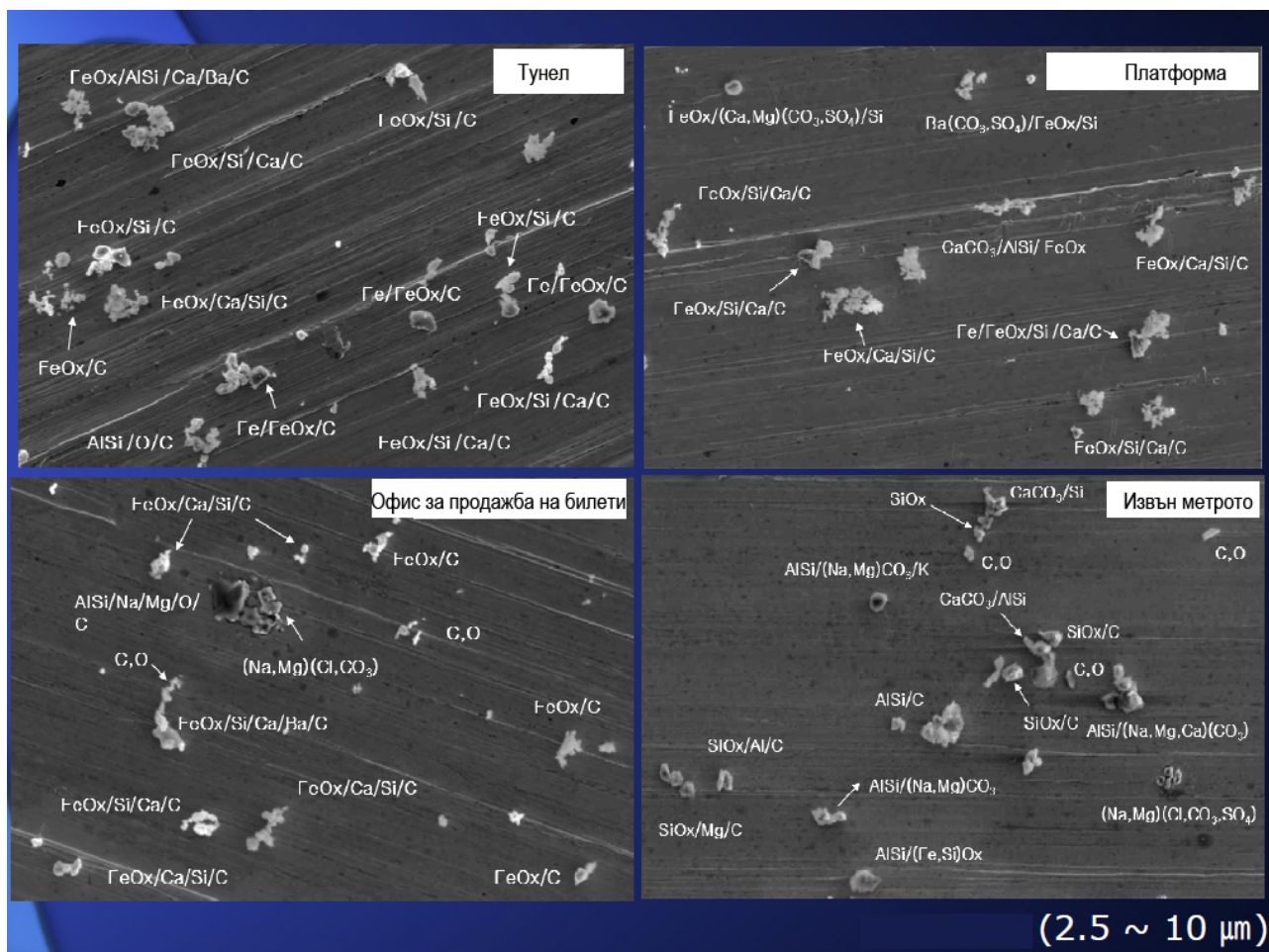
ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ (ФПЧ10)			
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)			
Средноденощна норма (СДН) за опазване на човешкото здраве			
Прагова стойност (ПС)		допустим брой превишения (през годината)	период на прилагане
СДН	50 µg/m³	35	от 01.01.2009г.
Средногодишна норма (СГН)			
СГН	40 µg/m³	Не се допуска превишение	от 01.01.2009г.
ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ (ФПЧ2.5)			
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)			
Средногодишна норма (СГН) за опазване на човешкото здраве			
Допустимо отклонение (ДО)		допустим брой превишения (през годината)	период на прилагане
СГН	30 µg/m³	не се допуска превишаване	през 2010г.
СГН	25 µg/m³		от 01.01.2015г.
СГН	20 µg/m³		от 01.01.2020г.
ОБЩ ПРАХ			
Наредба за изм. и доп. на Наредба №14/(ДВ, бр.8/2002г.)			
НОРМИ		Концентрация (mg/m3)	
ПДКс.д.		0.25	
ПДКс.г.		0.15	

ПДКс.д. – Пределно допустима средноденонощна концентрация

ПДКс.г. – Пределно допустима средногодишна концентрация

Таблица 1.2 – Допустимите стойности на фини прахови частици според Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр. 58/2010 г.){33}:

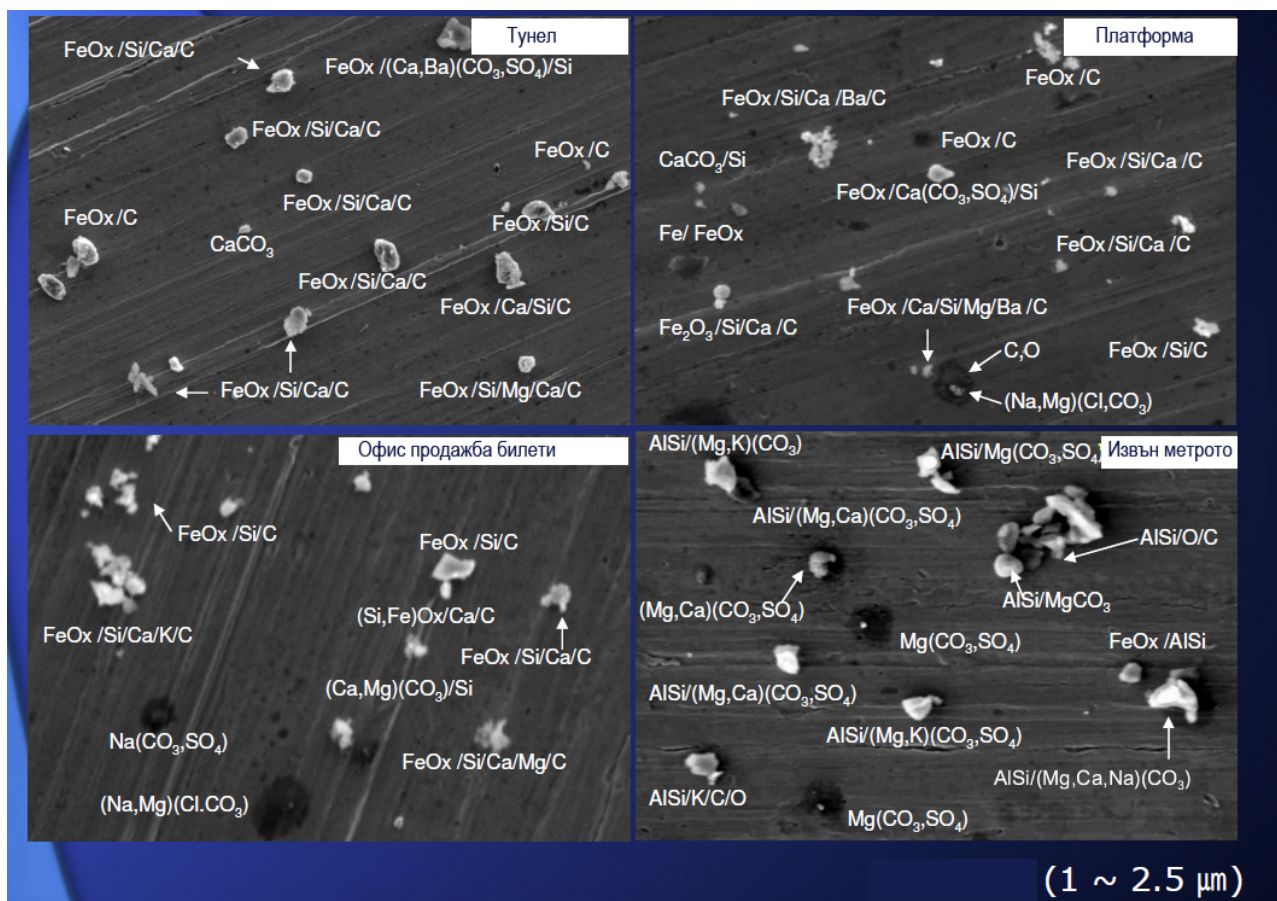
Характеризиране на частиците в метрото – Разпределението и вида на частиците е направено в изследване {9}, проведено в Южна Корея при взети проби от прахови частици от различни места в няколко станции /фиг. 5, фиг. 6/. Апаратурата за тяхното изследване е SEM-EDX (Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray Spectrometer)



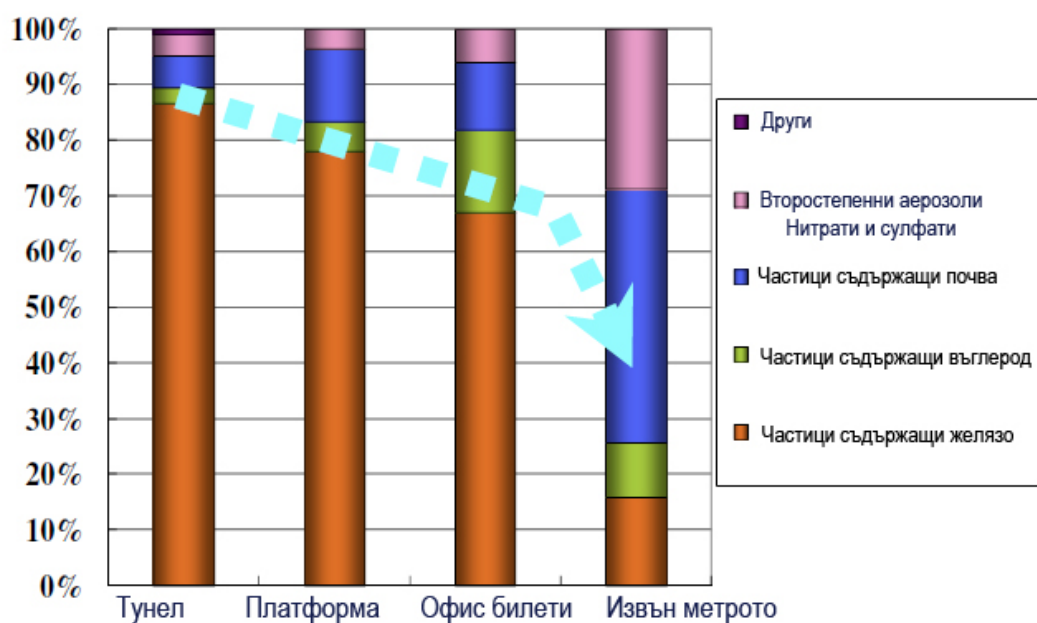
Фиг 5. Характеристика на частиците с размер 2.5 -10 μm

Характеризирането на частиците по класове изследвани в метрото фиг. 7:

- Частици съдържащи желязо
 - генерирани при висока температура и налягане вследствие на триене между спирални накладки, колело и релси
 - Агломерати съдържащи железни частици
 - Смесени с Si, Mg, Ca, C
 - Съдържащи още Ti, Mn, Cu, Zn и Ba
- Въглеродни частици: органични, богати на въглерод частици
- Частици от почвата: алуминосиликат, SiO_2 , CaCO_3
- Нитратни и / или сулфатни частици: NaN_3 , $(\text{Na}, \text{Mg})(\text{NO}_3, \text{SO}_4)$, $\text{Ca}(\text{NO}_3, \text{SO}_4)$

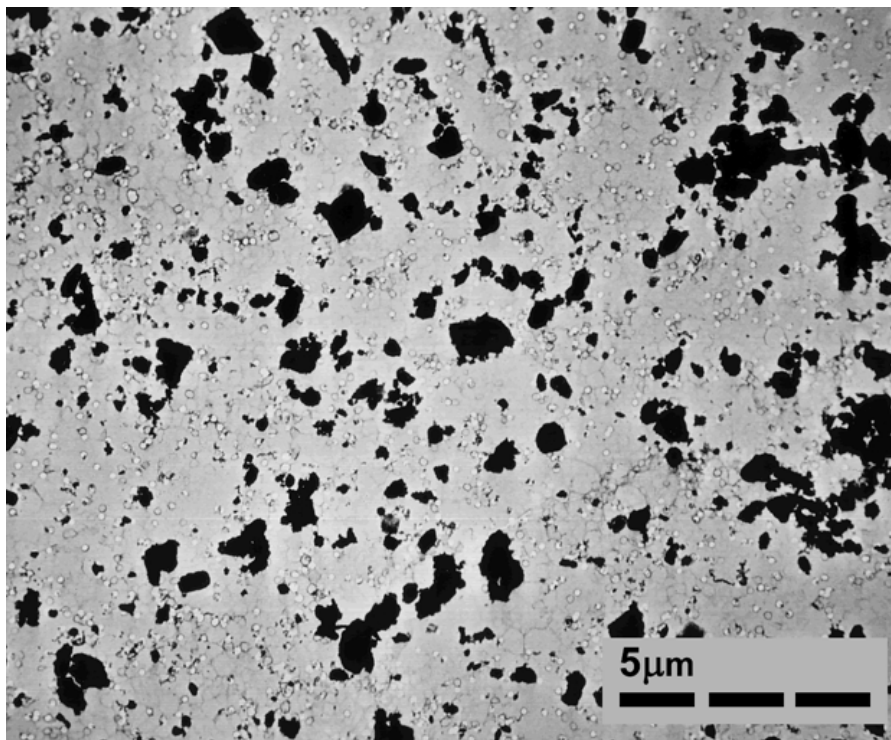


Фиг 6. Характеристика на частиците с размер 1 – 2.5 μm



Фиг.7 Разпределение на частиците по класове

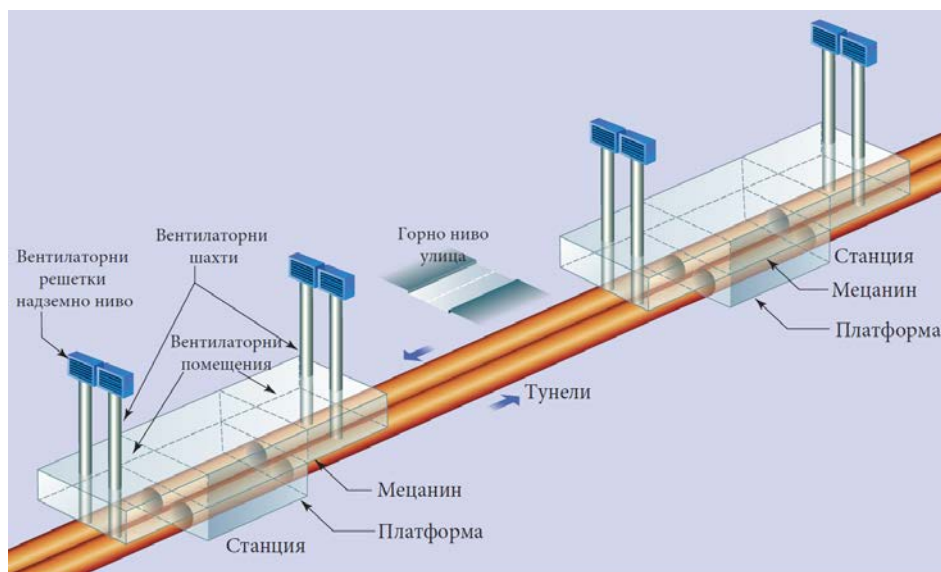
Фотомикрографско изследване с електронен микроскоп на праха в тунелите на Лондонското метро показва, че натрупаните аерозоли по платформите на различни станции са приблизително еднакви. На фиг. 8 са дадени данните за станция Holland Park.



Фиг. 8. Фотомикрография на праха в тунела на станция Holland Park

Скалата в долния десен край е $15\text{ }\mu\text{m}$ и става ясно, че повечето от частиците са под $1\text{ }\mu\text{m}$. Повечето от частиците всъщност представляват група от няколко по-малки частици, компресирани заедно. При направения опит да се отделят и измерят индивидуалните частици и разпределението им по големина (с използване на софтуер за разпознаване на образи) става ясно, че в голям брой от случаите на измерени „големи“ частици всъщност тава въпрос за агрегирани такива.

На фиг. 9 е дадена една стандартна конфигурация на станция на метро, със съответните елементи:



Фиг. 9. Схема на метростанция

1.3. Други вредни елементи от околната среда

В околната среда са налични и други атмосферни замърсители освен фините прахови частици, които чрез вход/изходите на метрото, както и през вентилационната система могат да навлязат в тунелите и на станциите. Влиянието на тези атмосферни замърсители върху човешкото здраве е следното:

АЗОТЕН ДИОКСИД

Източници

Азотният диоксид се образува при горивни процеси. Основни източници са моторните превозни средства (МПС), топлоелектрическите централи (ТЕЦ), някои промишлени предприятия, тютюнопушенето. Под въздействието на интензивна слънчева светлина и в присъствие на летливи органични съединения в атмосферния въздух азотният диоксид взаимодейства химически, в резултат на което се образува вторичният замърсител - озон.

Влияние върху човешкото здраве

Азотният диоксид навлиза в човешкия организъм чрез дишането. По-голяма част от азотния диоксид се абсорбира в организма, а значителна част от него може да се задържи дълго време в белия дроб. Продължително въздействие на концентрации над ПДК може да причини структурни промени в белия дроб. Вредното въздействие на този замърсител се отразява предимно върху

дихателните функции. Неблагоприятно се повлияват хронично болните с респираторни инфекции, а особено чувствителни към повишаване нивото на азотния диоксид са болните от белодробна астма. Установено е, че при кратковременна експозиция, най-ниската концентрация, при която се наблюдава ефект върху астматици (в течение на 1 час) е $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$, която служи като основа за определяне на допустимите граници за замърсяване на въздуха. табл.1.3

Законодателство

АЗОТЕН ДИОКСИД			
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)			
Средночасова норма (СЧН) за опазване на човешкото здраве			
Прагова стойност (ПС)	стойност	допустим брой превишения (през годината)	период на прилагане
СЧН	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	18	от 01.01.2010г.
Средногодишна норма (СГН)			
СГН	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Не се допуска превишаване	от 01.01.2010г.

Таблица 1.3. Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)

ОЗОН

Източници

Озонът е газ, който се среща в горната част на атмосферата – $30 \div 50$ км над земната повърхност и в приземния въздушен слой. Високо разположеният озонов слой има защитни функции, изразяващи се в защита срещу ултравиолетовите лъчи, докато в приземния слой, той може да има неблагоприятно въздействие. Озонът е мощен оксидант. Той не се емитира директно в атмосферата. Формира се от взаимодействието на азотните оксиди и летливите органични съединения под влияние на високи температури и слънчева светлина. Липсват антропогенни емисии във

въздуха. Естествените фонові стойности на озона във въздуха са около 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, но могат да стигнат много по-високи стойности (напр. 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Влияние върху човешкото здраве

Озонът прониква и оказва токсичното си въздействие чрез дихателната система. Здравните ефекти се състоят във възпаление на респираторните органи, намаление на функционалността на белия дроб, съпроводени с ускорено дишане. Засяга имунната система и намалява устойчивостта към респираторни заболявания.

Най-често на рисковото влияние на озона са изложени тези, които работят на открито и имат астматични заболявания.

Препоръчва се при съдържание на озон над ПДК хората с повишена чувствителност да избягват продължително пребиваване на открито.

Токсичното въздействие на озона се изразява в окисление на сулфхидрилните и аминокислотните групи на ензимите, ко-ензимите, белтъците и пептидите. Окислява също ненаситените мастни киселини до мастни перекиси.

Токсичността на озона е зависима от нивото на експозицията. Краткосрочните остри ефекти започват с дразнене на очите при около 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ озон, а при по-високи концентрации засягат белия дроб. Епидемиологични проучвания установяват белодробни увреждания при експозиция на деца при концентрация 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Промени в белодробната функция се наблюдават също и при астматици при експозиция на 160 ÷ 340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Въз основа на наблюденията за здравните ефекти на озона, СЗО препоръчва допустима едночасова концентрация 150 ÷ 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а за осемчасова експозиция – 100 ÷ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. табл.1.4.

ОЗОН		
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)		
	Концентрация	Период на прилагане
Праг за информиране на населението (ПИН) - 1 час	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	от 01.01.2005г.
Праг за предупреждаване на населението (ППН) – 1 час	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	от 01.01.2005г.
Краткосрочна целева норма (КЦН) - Максимална 8-часова средна стойност в рамките на денонощието	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Да не се превишава в повече от 25 дни на календарна година, осреднено за тригодишен период	от 01.01.2010г.
Дългосрочна целева норма (ДЦН) - Максимална 8-часова средна стойност в рамките на денонощието	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Не е определена

Таблица 1.4. Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)

СЕРЕН ДИОКСИД

Източници

Серният диоксид спада към групата на серните оксиди (SO_x), които се формират при изгаряне на горива с високо сярно съдържание. Основен антропогенен източник на серен диоксид е изгарянето на природни горива (ТЕЦ, битови източници). Металургията и химическата промишленост също са източник на замърсяване със серен диоксид. SO_2 и NO_x са основни компоненти на “киселите дъждове”.

Влияние върху човешкото здраве

Серният диоксид постъпва в организма чрез респираторната система. При високи концентрации абсорбцията му достига до 90 % в горните дихателни пътища и по-малко в по-ниските отдели на дихателната система.

При кратковременна експозиция на серен диоксид се засяга преди всичко дихателната система. Отбелязва се голямо разнообразие на индивидуална чувствителност на населението към серен диоксид, но особено чувствителни са лица болни от бронхиална астма. Действието на серния диоксид върху дихателната система като правило се съчетава с влиянието на праха.

Чувствителни групи от населението към експозиция на серен диоксид са децата, възрастните, хората с астма, със сърдечно-съдови заболявания или хронични белодробни заболявания. Здравните ефекти на серния диоксид се проявяват с нарушение на дишането, белодробни заболявания, нарушение на имунната защита на белия дроб, агравация на съществуващи белодробни и сърдечно-съдови заболявания. Трудно е да се отдели действието на серния диоксид от това на праха, с което се свързва също повишената честота на хоспитализации и смърт. Хора с астма са 10 пъти по-чувствителни към серния диоксид, отколкото здравите. Децата с астма са особено чувствителни, а експозицията на серен диоксид може да доведе до възпалителни белодробни заболявания. табл.1.5.

Законодателство

СЕРЕН ДИОКСИД			
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)			
Средночасова норма (СЧН) за опазване на човешкото здраве			
Прагова стойност (ПС)		допустим брой превишения (през годината)	период на прилагане
СЧН	350 µg/m ³	24	от 01.01.2006г.
Средноденонощна норма (СДН) за опазване на човешкото здраве			
СДН	125 µg/m ³	3	от 01.01.2006г.

Таблица 1.5. Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)

ВЪГЛЕРОДЕН ОКСИД

Източници

Въглеродният оксид е газ без цвят, без мирис, малко по-лек от въздуха, горящ газ. Представлява един от най-широко разпространените атмосферни замърсители, който се образува при непълното горене на въглеродсъдържащи материали.

Най-голям източник на СО е автомобилния транспорт – над 65 % от общото емитирано количество за страната.

Влияние върху човешкото здраве

Въглеродният оксид прониква в организма при вдишване. В кръвта се свързва с хемоглобина и образува карбоксиемoglobin, чиято връзка е 250 пъти по-стабилна отколкото на оксиемoglobin. Вредното му въздействие произтича от нарушаване преноса на кислород до тъканите. Пренаталната експозиция води до увреждане на плода. Образуването на карбоксиемoglobin определя здравните ефекти на въглеродния оксид.

Образуваният карбоксиемoglobin води до хипоксия в тъканите и смущения в чувствителните на кислородния дефицит органи: сърце, мозък, кръвоносни съдове и формени елементи. Рискът за здравето се оценява на базата на образувания карбоксиемoglobin в организма, което зависи от концентрацията му във въздуха и продължителността на експозицията. При ниски концентрации на карбоксиемoglobin (под 10 %) се засилват симптомите при болни от стенокардия или се извяват невроповеденчески ефекти.

Като безопасно ниво се определя 2,5 – 3,0 % карбоксиемoglobin, което е еквивалентно на 30-минутна експозиция на 60 mg/m³ или при 8-часова експозиция на 10 mg/m³. Това ниво се препоръчва за опазване здравето на населението. Болни от сърдечно-съдови заболявания са чувствителни към високи концентрации. табл.1.6.

ВЪГЛЕРОДЕН ОКСИД		
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)		
Норма за опазване на човешкото здраве (максимална 8-часова средна стойност в рамките на денонощието)		период на прилагане
Норма	10 mg/m ³	от 01.01.2005г.

Таблица 1.6. Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)

БЕНЗЕН

Източници

Бензенът е лека безцветна течност с характерна миризма, слабо разтворим във вода.

Използва се предимно като суровина в химическата промишленост. В атмосферата се изхвърля с емисиите от моторните превозни средства и изпарение при работа с петрол (бензиностанции и рафинерии).

Влияние върху човешкото здраве

Бензенът се абсорбира в организма при вдишване. Много слабо прониква през кожата. В организма по-голямата част метаболира до фенол. Около 30 % се отделят от организма непроменен чрез издишвания въздух. Причинява ускорено сърцебиене, главоболие и оказва влияние върху имунната система.

Продължителна експозиция на токсични нива бензен уврежда костния мозък и води до панцитопения. Ранните прояви на токсичност са анемия, левкопения или тромбоцитопения. При тежки отравяния се развива апластична анемия. Бензенът е известен канцероген от група 1. Описани са много случаи на миелобластна и еритробластна левкемия при професионална експозиция.

Данните за канцерогенния ефект на бензена при хора са набрани предимно при професионална експозиция. Необходимо е да се избягва дълготрайна експозиция при висока концентрация.

Риск от заболяване от левкемия при експозиция от $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ бензен през целия живот, се определя на $4 - 10^{-6}$. Не съществува безопасна концентрация. табл.1.7.

Законодателство

БЕНЗЕН		
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)		
Средногодишна норма (СГН) за опазване на човешкото здраве		период на действие на нормите
СГН	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	от 01.01.2010г.

Таблица 1.7. Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)

ОЛОВО

Източници

Най-разпространените аерозоли на тежки метали, замърсяващи атмосферният въздух са оловните. Концентрациите им в атмосферния въздух варират в зависимост от броя и мощността на източниците - металургичните заводи и количеството на моторните превозни средства и вида на изгаряните бензини.

Влияние върху човешкото здраве

Оловото попада в човешкия организъм главно по респираторен път (20 –60 %) и гастроинтестинален път (10 % при възрастни и около 40 - 50 % при децата).

Токсичните му ефекти се дължат на инактивирането на SH - групите или на конкурентно заместване на есенциални метални йони в молекулите на редица важни за организма ензими. По този начин много органи и системи се оказват уязвими към вредния ефект на оловото. Засягат се също и репродуктивните процеси.

При население, продължително експонирано на ниски концентрации оловни аерозоли се наблюдават нарушения преди всичко в хемоглобиновия синтез, еритропоезата, нервната система и повишаване на артериалното налягане.

Оловото е кумулативна отрова с продължителен период на излъчване (от няколко дни до 25 години). табл.1.8.

Законодателство

ОЛОВО		
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)		
Средногодишна норма (СГН) за опазване на човешкото здраве		период на прилагане
СГН	0,5 µg/m ³	от 01.01.2005г.

Таблица 1.8. Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)

КАДМИЙ

Източници

Кадмият е метал, който в природата се среща заедно с цинка. По тази причина най-честият източник на замърсяване на атмосферния въздух е производството на цинк. Другите металургични производства също могат да бъдат източник на замърсяване с кадмий. Той се отделя в атмосферата при изгаряне на отпадъци. Съдържа се още и в тютюневия дим.

Влияние върху човешкото здраве

От въздуха кадмият постъпва в организма чрез дишането. По-малко от 50 % от вдишвания кадмий се абсорбира. Отлага се в черния дроб, от там бавно преминава в бъбреците, където се установяват най-високите му концентрации. Отделянето на кадмия от организма е много бавно. Необходими са около 10 години, за да се отдели половината от количеството му в черния дроб и бъбреците.

Освен чрез вдишване, кадмият може да проникне в организма и чрез храносмилателния тракт. Той се утаява в почвата, откъдето попада в растенията и чрез храната попада в организма.

При продължителна експозиция на ниски концентрации на кадмий, критичен орган се явяват бъбреците. Те се увреждат необратимо след надвишаване нивото на кадмия в бъбречната кора над 200 mg/kg. Липсват

достатъчно данни за канцерогенната активност на кадмия и евентуалната му връзка с рака на простатата и белия дроб, поради което Международната агенция за проучване на рака го класира в група 2В, т.е. без доказан риск за човека. По тази причина допустимите концентрации на кадмия във въздуха не се определят на базата на канцерогенен ефект. табл.1.9.

Законодателство

КАДМИЙ		
Наредба №11 на МОСВ и МЗ (ДВ, бр.42/2007г.)		
Средногодишна целева норма (СГН)		период на прилагане
СГН	5 ng/m ³	от 01.01.2013г.

Таблица 1.9. Наредба №11 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.42/2007г.)

НИКЕЛ

Източници

Никелът е канцерогенен метал. Постъпва в организма главно с храна, въздух, а така също и в състава на изкуствени хранителни продукти, при чието производство се използва никелов катализатор. Основни източници на никел в атмосферния въздух са металургия, транспорт и енергетика. табл.1.9.

Влияние върху човешкото здраве

При продължителна интоксикация с никел възникват алергия, астма, атеросклероза, анемия и други заболявания.

Законодателство

НИКЕЛ		
Наредба №11 на МОСВ и МЗ (ДВ, бр.42/2007г.)		
Средногодишна целева норма (СГН)		период на прилагане
СГН	20 ng/m ³	от 01.01.2013г.

Таблица 1.9. Наредба №11 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.42/2007г.)

АРСЕН

Източници

Арсенът е повсеместно разпространен в околната среда. Антропогенното замърсяване се дължи на металургията, изгарянето на нискокалорийни кафяви въглища, използването на хербициди и пестициди със съдържание на арсенови съединения. Най-значително замърсяване на атмосферния въздух се наблюдава в райони на металургичната промишленост.

Влияние върху човешкото здраве

При вдишване на замърсен въздух, около 40 % от арсена се отлага в белия дроб, от където се абсорбират приблизително 30 %. Чрез кръвта той достига до бъбреците, черния дроб, мозъка, костите и кожата.

Замърсяването на въздуха с арсен може да доведе до оплаквания от страна на гастроинтестиналната, сърдечносъдовата, нервната и кръвоносната системи, повишаване честотата на спонтанните аборти, поднормено тегло при новородените и др. Канцерогенният потенциал е основен при определяне на риска за населението. На базата на данни от епидемиологични изследвания е доказано развитие на белодробен рак при работници и население, експонирано на арсенови аерозоли. Международната агенция за проучване на рака (IARC) класифицира арсена като канцероген от 1^{-ва} категория. Препоръчителните норми на Световната Здравна Организация (СЗО) определят като единица канцерогенен риск, концентрации от порядъка на $1.5 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3$. табл.1.10.

Законодателство

АРСЕН		
Наредба №11 на МОСВ и МЗ (ДВ, бр.42/2007г.)		
Средногодишна целева норма (СГН)		период на прилагане
СГН	6 ng/m ³	от 01.01.2013г.

Таблица 1.10. Наредба №11 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.42/2007г.)

ПОЛИАРОМАТНИ ВЪГЛЕВОДОРОДИ (ПАВ)

Източници

Полиароматните (полицикличните) въглеводороди са голяма група органични съединения с две или повече бензолни ядра. Имат малка водоразтворимост, но голяма разтворимост в мазнини. Полиароматните въглеводороди се образуват в най-голяма степен при горивните процеси, главно при непълно горене на въглища и дизелово гориво. Съществуват няколко стотин ПАВ. Тези съединения се усвояват от организма главно чрез дихателната система, но могат да попаднат и чрез водата и храната. Най-добре е проучен канцерогенният ефект на 3-4-бензпирена (БаП) при инхалирането му, чийто съществен източник е и тютюневия дим.

Влияние върху човешкото здраве

Вдишаните ПАВ се абсорбират главно върху катранени частици и се елиминират чрез бронхиален клиранс. Слабо са проучени острият, подострият и хроничният ефект на ПАВ. Повече информация съществува за мутагенния и канцерогенния им ефект. Счита се, че на 9 от 100 000 души, експонирани средно на 1 ng БаП, като индекс и на останалите ПАВ през целия си живот, ще умрат от белодробен рак.

Не може да се определи безопасно ниво на ПАВ в атмосферния въздух, поради канцерогенното им действие. Препоръчвани са различни рискови нива, като е използван за индекс БаП (3-4-бензпирен). Например в САЩ оценяват, че на 9 от 100 000 души, експонирани през целия си живот на 1 ng БаП са с риск да заболят от белодробен рак. табл.1.11.

Законодателство

ПАВ		
Наредба №11 на МОСВ и МЗ (ДВ, бр.42/2007г.)		
Средногодишна целева норма (СГН)		период на прилагане
СГН	1 ng/m ³	от 01.01.2013г.

Таблица 1.11. Наредба №11 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.42/2007г.)

ТОЛУОЛ

Източници на замърсяване.

Толуолът е летлива течност, слабо разтворима във вода. Главни източници са нефтопроизводството, коксовите пещи и производството на химични вещества (напр. стирол). Използва се широко като разтворител на бои, мастила, лепила, в козметиката и добавка към горива.

Експозицията на толуол се осъществява основно чрез въздуха. Питейната вода и храната не са съществени източници на този замърсител.

Влияние върху човешкото здраве

При вдишване се абсорбират $40 \div 60$ % толуол. Той може да се абсорбира също и чрез кожата. В организма се разпределя в мастната тъкан, надбъбречните жлези, бъбреците, черния дроб и мозъка. Метаболира до бензоена киселина, която се свързва с глицин до хипурова киселина, която се екскретира с урината. Токсичните ефекти върху човека се основават на наблюдения при професионална експозиция.

Толуолът оказва най-съществен ефект върху централната нервна система (ЦНС). При малки концентрации се наблюдава умора, сънливост, депресия, главоболие и хрема. Настъпват промени в ЕЕГ (електроенцефалограмата). Наблюдава се дразнене на очите при по-високи концентрации. Липсват данни за канцерогенен ефект на толуола върху човека. Толуолът има праг на обоняние 1 mg/m^3 . Препоръчва се да се избягва дълготрайна експозиция при високи концентрации.

Най-ниската концентрация, при която е наблюдаван ефект върху ЦНС и дразнене на лигавиците е 332 mg/m^3 . СЗО препоръчва праг на безопасност 50 mg/m^3 за 24-часова експозиция. За допустима експозиция на населението в съответствие с прага на обоняние, СЗО препоръчва норма от 1 mg/m^3 при 30-минутна експозиция.

Законодателство

Нашето законодателство приема следните ПДК за толуол в атмосферния въздух (Наредба № 14, ДВ, бр. 8/2002 г.):

- максимално еднократна ПДК (60-минутна експозиция) – $0,5 \text{ mg/m}^3$.
- средноденонощна ПДК (за 24-часова експозиция) – $0,25 \text{ mg/m}^3$.

СТИРОЛ

Източници на замърсяване

Стиролът е летлива безцветна течност, използвана за производство на полимери. Източници на замърсяване на въздуха са главно нефтохимическата промишленост и производството на пластмаси и смоли.

Влияние върху човешкото здраве

Стиролът прониква в организма при вдишване и в малка степен чрез кожата. Разпространява се бързо в организма и се натрупва основно в мастната тъкан. Предизвиква възпаление на очите, смущения в храносмилателната система и депресия. Метаболитите на стирола се елиминират с урината.

При професионална експозиция на стирол е наблюдавано дразнене на дихателните пътища и конюктивата. Въздействието върху централната нервна система се изразява в отпадналост, умора, главоболие, замаяност, което се наблюдава при концентрации на стирола над 200 mg/m^3 . Продължителна експозиция на стирол може да доведе до нарушение в ЕЕГ (електроенцефалограмата). Установено е, че обонятелния праг на стирола е $70 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Данните за евентуален мутагенен и канцерогенен ефект при експозиция на стирол са ограничени и не са убедителни. Международната агенция по проучване на рака го класифицира като канцероген от група 3.

Прагът на токсично действие върху населението е приет на база на наблюдения върху хора експонирани на токсичното действие на стирола, при осигуряване на 10-кратен интервал на безопасност, като се приеме концентрацията $800 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (0.8 mg/m^3) за 24-часова експозиция.

Законодателство

Нашето законодателство приема ПДК за стирол в атмосферния въздух следните концентрации (Наредба № 14, ДВ, бр. 8/2002 г.):

- максимално еднократна ПДК (60-минутна експозиция) - $0,005 \text{ mg/m}^3$;
- средноденонощна ПДК (за 24-часова експозиция) - $0,003 \text{ mg/m}^3$.

АМОНЯК

Източници замърсяване

Амонякът е специфичен замърсител на атмосферния въздух. Той е безцветен газ с остра миризма. Основен източник на амоняк са химическата промишленост, хладилни инсталации и селско стопанство.

Влияние върху човешкото здраве

Амонякът причинява възпаление на кожата, очите, носа, гърлото и белия дроб. Течният амоняк, попаднал в очите в големи концентрации, предизвиква ослепяване. За предпазване от отрицателното влияние на амоняка, се препоръчва да се избягва дълготрайна експозиция при висока концентрация.

Законодателство

Приети са следните концентрации за ПДК на амоняк в атмосферния въздух (Наредба № 14, ДВ, бр. 8/2002 г.):

- максимално еднократна ПДК (1-час експозиция) - 0,25 mg/m³;
- средноденонощна ПДК (за 24-часова експозиция) - 0,1 mg/m³.

ФЕНОЛ

Източници на замърсяване

Фенолът е специфичен замърсител на атмосферния въздух. Той е със специфична карболова миризма. Основен източник на фенол са химическата промишленост и металургията. Фенолът е изходно вещество за редица производства – лекарства, пластмаси, синтетични влакна, взривни вещества и др.

Влияние върху човешкото здраве

При вдишване в малки количества причинява главоболие.

За предпазване от отрицателното влияние на фенола, се препоръчва да се избягва дълготрайна експозиция при висока концентрация.

Законодателство

Приети са следните концентрации за ПДК на фенол в атмосферния въздух (Наредба № 14, ДВ, бр. 8/2002 г.):

- максимално еднократна ПДК (1 час експозиция) - 0,02 mg/m³;
- средноденонощна ПДК (за 24-часова експозиция) - 0,01 mg/m³.

СЕРОВЪГЛЕРОД

Източници на замърсяване

Серовъглеродът е токсичен газ с неприятна миризма. Употребява се в практиката като разтворител при производството на тетрачлорметан и препарати за борба с вредители по растенията. Употребява се също при вулканизацията на каучука и производството на вискоза.

Влияние върху човешкото здраве

Серовъглеродът се разпределя неравномерно при попадане в човешкия организъм. Една част се разтваря в течностите в организма, а друга част се свързва с аминокиселините, образувайки тиокарбамати.

За предпазване от отрицателното влияние на серовъглерода, се препоръчва да се избягва дълготрайна експозиция при високи концентрации.

Законодателство

Приети са следните концентрации за ПДК на серовъглерод в атмосферния въздух (Наредба № 14, ДВ, бр. 8/2002 г.):

- максимално еднократна ПДК (60-минутна експозиция) - 0,015 mg/m³;
- средноденонощна ПДК (за 24-часова експозиция) - 0,008 mg/m³.

1.4. Безопасност в подземния железопътен транспорт

Друг аспект от по-важните проблеми свързани с метрото е осигуряване на безопасността на пътниците при пожар или терористична атака – фиг. 10, {15}.



а)



б)

Фиг. 10. Инциденти в метростанции, а) Пожар /Баку, Азербайджан 1993 г., жертвите са 286 пътника, включително 26 деца/, б) Терористична атака с газ/Токио, Япония 1995 г., 13 жертви и 6500 обгазени с газ зарин/.

- Пожар /Баку, Азербайджан 1993 г., жертвите са 286 пътника, включително 26 деца/
- Терористична атака с газ/Токио, Япония 1995 г., 13 жертви и 6500 обгазени с газ зарин/.

Метростанциите и влаковите композиции в тунелите са силно изложени на риск от терористична атака. В подземния транспорт има множество пътници с обемист и тежък багаж. Също така към момента и у нас тунелите на метрото са открити откъм метростанциите и дават лесен достъп в двете посоки. В някои страни перонът на метростанциите е отделен от коловозите с високи прегради с автоматични врати, оразмерени съобразно местата на вратите на вагоните. Те се отварят и дават достъп само при наличие на спрял влак с отворени врати на станцията. Това е особено разпространено там, където влаковите композиции се управляват автоматично – метрото на Торино, Италия. Проблемът за защита на входовете на тунелите от

станциите е решен само частично, чрез различни видове автоматични щори и въздушни завеси.

При пожар в тунел или на метростанция най-голямата опасност не са пламъците, а вдишването на отровните газове генерирани от горящите токсични продукти /Над 70% от жертвите при пожар са от отравяния/. Най-токсични и най-често отделяни при пожар са окисите на въглеродорода CO / свързва се с хемоглобина на кръвта 200-300 пъти по-бързо от кислорода - настъпва кислороден глад на организма/ и CO₂ – причина за 50-80% от загиналите /CO₂ замества кислорода в кръвта, ускорява дишането, поради което се поглъщат по-големи количества от другите газове в по-опасни концентрации. При 10% - човек загубва съзнание/. При пожар или терористична атака вредните газове трябва да бъдат изведени максимално бързо от зоната на метрото, като в същото време се доставя свеж въздух за пасажерите, персонала и пожарникарите.

Терористична атака {21}{34}{35}{36} – основните начини за атакуване /зарин, антракс/ са чрез пускането им на станцията, във влака или в тунела – възможно е и през вентилационната шахта. Разпространението става при движението на влаковете през станциите и в тунелите. Инсталирането на детектори и видеонаблюдение и аналитичен софтуер би могло да намали времето за реакция и предприемането на бързи ответни действия.

Какви действия е нужно да бъдат предприети:

- Спиране на влаковете – спирането на влаковете в общия случай не спира разпространението на вредните реагенти поради инерцията на въздуха, генерирана от движението на влака, като това продължава докато се тази инерция се разсее чрез триене.
- Вентилиране – включването на вентилацията и намаляване на концентрацията на вредния реагент не е добра идея базирано на днешните симулации. Някои служители от ръководния отдел препоръчват аварийно вентилиране /използвано при пожари и дим/, което позволява незабавно обеззаразяване, което фактически помага при по-малко смъртоносни реагенти – живот може да се спаси при входиране на свеж въздух и кислород, въпреки това не се препоръчва да се прави при атаки с нервнопаралитични вещества, поради това, че дори и много малки концентрации могат да навредят или убият повече хора на улицата отколкото в метрото. Вентилирането на биологични

реагенти може да причини дори катастрофални последици. Биологичните реагенти могат да изминат разстояние от 7-10 километра и повече, което може да причини смъртоносно въздействие. Същите могат да бъдат засмукани от вентилациите на околните сгради и да навреди на хората вътре в тях. Изборът да се вентилира или не, зависи от използването специфични компютърни модели.

- Времето за реакция е критично – намаляването на това време спасява човешки живот.

Своевременната реакция и доброто проектиране на вентилацията на метрото са от първостепенно значение за безопасността на хората.

Цел и задачи на дисертационния труд:

Основната цел на дисертационния труд е:

Изследване и оптимизация на различни иновативни подходи за управление на защитни системи в подземния градски транспорт, с цел подобряване качеството на въздуха и сигурността на пътниците.

За изпълнение на тази цел следва да се решат следните задачи:

- *Да се направи обзор, анализ и систематизация на видове фактори, влияещи върху сигурността и безопасността в подземния железопътен транспорт,*
- *Да се изследва концентрация на фини прахови частици в метрото,*
- *Да се изследват съществуващи решения за намаляване на концентрацията на фини частици и подобряване на сигурността в подземния железопътен транспорт,*
- *Да се оптимизира вентилация в метрото и тунелите,*
- *Да се предложат иновативни подходи с използването на осъвременени защитни системи подземния железопътен транспорт,*
- *Да се представят експериментални резултати и симулационно моделиране с нови защитни системи. Резултатите да бъдат анализирани.*

Глава 2: Съществуващи решения за намаляване на концентрацията на фини частици и подобряване на сигурността в подземния железопътен транспорт

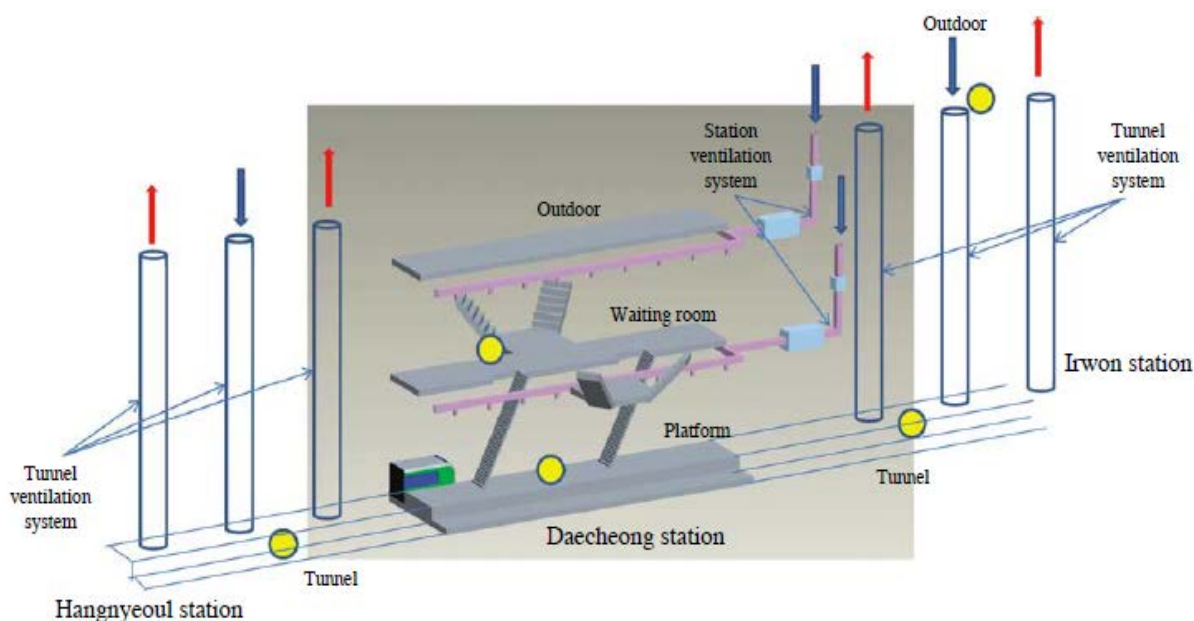
2. 1. Съвременни измервателни системи

Системата на метрото в Сеул се обслужва от линии от 1 до 9 и представлява повече от 34,1% от транспортните услуги в столичния град Сеул. Според статистическите данни, предоставени от Сеул Метро Транспортен център, приблизително шест милиона души в Сеул използват ежедневно метрото, <http://www.seoulmetro.co.kr>.

За да се предотврати смесването на въздух между платформата и тунелите, бяха инсталирани бариери на пълна височина между подовата и тавана на станцията, за да се спести енергия и да се осигури по-добро качество на въздуха в помещенията. Съществува обаче опасение, че концентрациите на ФПЧ в тунела могат да се увеличат в дългосрочен план. Концентрациите на ФПЧ10 се измерват на четири различни места в станция Deacheong (линия 3), за да се изследват въздействията на бариерите върху качеството на вътрешния въздух. Фиг. 11 показва разположенията на местата за наблюдение на ФПЧ10 в тази станция. Четирите места за вземане на проби включват чакалнята, платформата и два вътрешни тунела (между гарите Irwon и Daacheong, както и между гарите Daacheong и Hangnyeoul).

Всички измервания са проведени на 1,5 м над нивото на земята. Всеки обект е наблюдаван от инструменти за непрекъснато наблюдение. За да се направи сравнение между нивата на ФПЧ10 в подземната станция на метрото, около 600 метра от станцията на Deacheong се намира открит обект за наблюдение. Външното вземане на проби се провежда на входа за вземане на въздух, разположен на около 1,5 м над вентилационния отвор.

Обикновено механичната вентилационна система в подземните тунели се състои от един вход и два изходни отвора, както е показано на фиг. 11. Три вентилатора са монтирани във всеки отвор. Общият начин на работа на тези вентилатори позволява два вентилатора да бъдат задвижвани за вентилация, докато един вентилатор е спрял за поддръжка. За да се съблюдава намаляването на концентрацията на ФПЧ10 и да се определят ефективните работни условия, тези вентилатори се регулират според трите различни режима – пълна мощност, половин мощност и изключени.

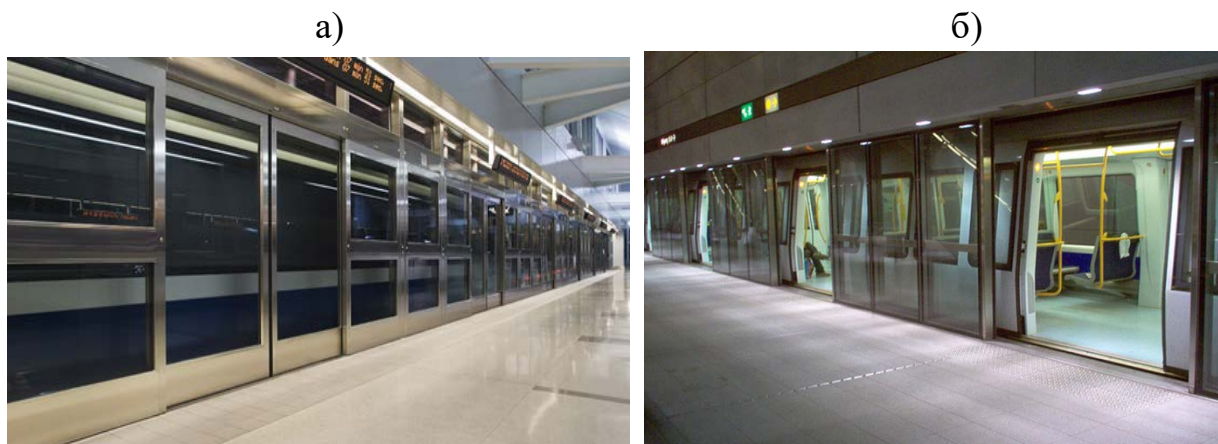


Фиг. 11. Местонахождения на местата за вземане на проби (с кръгче: мястото за вземане на проби, ↑: изпускателна тръба, ↓: вход за въздух).

2.2. Други технологични разработки към този момент

- Монтиране на автоматични плъзгащи се врати на станциите{14}:
Предимства: намалява шума, праха, вятъра, предпазва от инцидентни падания от платформата, подобрява климатичния контрол на станциите, намалява попадането на боклуци на релсите и в тунелите /могат да причинят пожар/.
Недостатъци – висока цена за монтаж, поддръжка и напасване на вратите според тези на влаковете, намаляват ефекта на естествена вентилация, което увеличава разходите за вентилиране на метростанциите. Съществуват инциденти вкл. смъртни случаи, при които пътник попада между затворена врата на влака и плъзгащата се врата на платформата.

На фиг. 12. са показани плъзгащи врати на станция в затворено положение и отворени, когато влакът е на станцията



Фиг. 12. Плзгащи се врати на станция, а) затворени врати когато няма влак, б) отворени врати, при влак на станцията

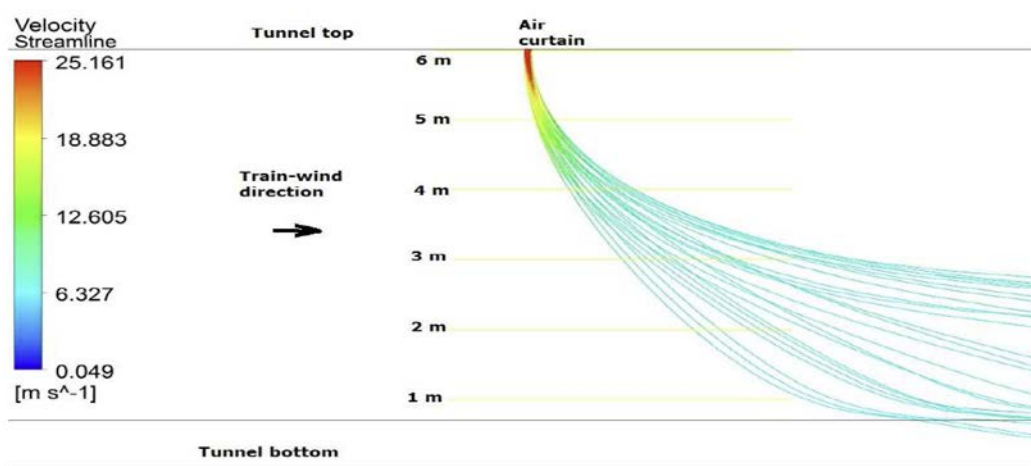
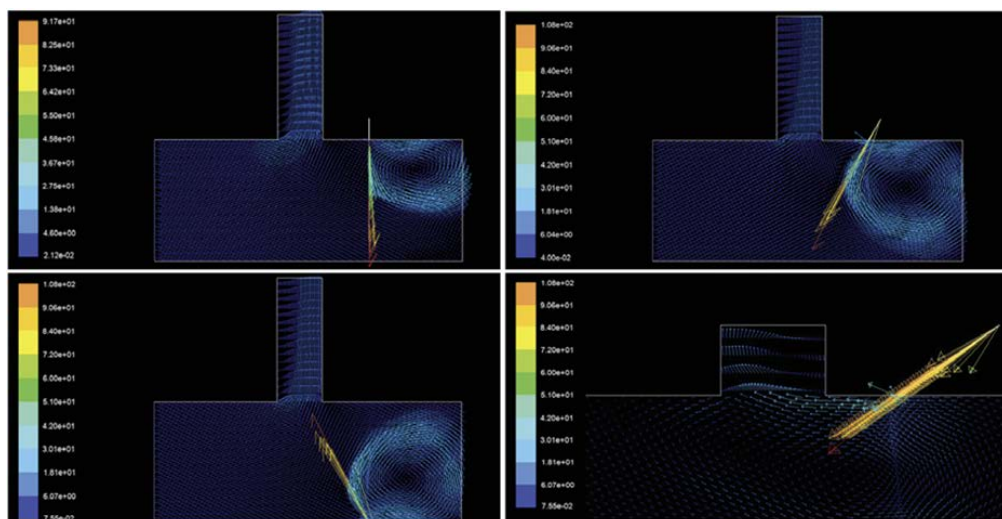
- Въздушна завеса - В последните години се правят изследвания {10}, тестове и симулации с използване на въздушни завеси.

Като резултат се намаляват замърсяванията от прахови частици и се подобрява вентилацията в тунелите.

Като недостатък може да се приеме разхода на електроенергия и генерирания шум, който няма възможност да се разпространи ефективно в околната среда. От изследвания е установено, че ефект от въздушна завеса ще има, когато скоростта на въздушната струя е мин. 25 м/сек., направени са и изследвания с 60 м/сек. и 80 м/сек.. /фиг.13/. Пример за разход на енергия: за въздушна завеса със скорост от 25 м/сек. е нужно захранване от мин. 12,0 kW х 2 /на станция – вход изход тунел/ - общо 24 kW х брой спирки. /данните са ориентировъчни по каталог от производител/.

Друг недостатък е генерирания шум около 75 dB (A)/въздушна завеса
Скала:

- 40 до 60 dB(A): разговор
- 60 до 65 dB(A): радио/тв със средна големина на звук
- 70 до 90 dB(A): шум от градски трафик
- 100 dB(A) и повече: пневматичен чук



Фиг. 13. Симулация на въздушна завеса

Вариант на въздушна завеса с въздушната бариера/срещу пожар и терористична атака/ – фиг. 14:



Фиг. 14. Въздушна бариера в тунел

- Използване на вакуум влак за почистване на тунелите от прах и боклуци, {11}. На фиг. 15 е показан вакуум влакът VACSTRAC.

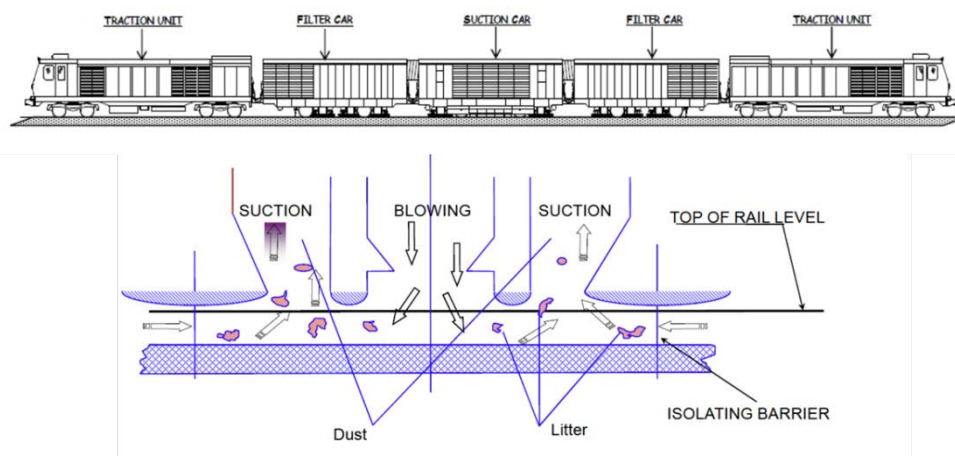


Фиг. 15. VACSTRAC

ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Почистване в станция, в тунел, от двете страни на пистата, под платформата, в изкопа, върху баласт или върху бетон,
- Гарантираната ефективност на качулката (винаги на 30 мм над пистата), независимо от конфигурацията и препятствия (точки на преобръщане, сензори за следи и др.),
- Количеството резервоар за съхранение на отпадъци осигурява значителна оперативна самостоятелност (до една седмица за 15 m³ съхранение),
- Двигатели с дизелово или електрическо задвижване,
- Средна работна скорост: 4 km / h в станцията и 10 km / h над 2,5 m ширина в един проход между станции,
- Характеристики на релсовия път, адаптирани към изискванията на всяка мрежа,
- Ефективно за всички видове боклук и отпадъци (цигари, хартия, кутии, картон) и прах частици (метални или органични),
- Възможност за работа с трета железопътна линия,
- Регулируеми глави за почистване (патентовани) за почистване под платформа до 2,5 м от центъра на коловозната линия,
- Подготвен се за работа веднага щом е на пистата,
- Не е необходима ръчна работа, изискваща персонал на пистата,
- Намалява разходите за поддръжка,
- Възможна опция: почистване на стени.

На фиг. 16 са показани елементите на влака и схемата на действие.



Фиг. 16. Вакуум влак за почистване на тунелите от прах и боклуци

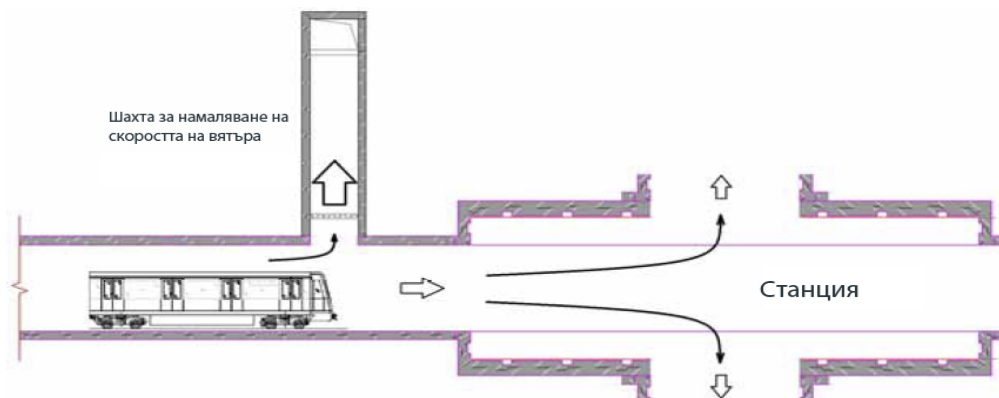
2.3. Вентилация в метрото и тунелите общи положения

Естествената вентилация в метрото е в резултат преди всичко от движението на влаковете през тунелите. Въздушните потоци са подобни на тези причинени от движението на бутало в цилиндър и поради тази причина се нарича вентилация на „ефект на буталото“.

„Ефектът на буталото“ е феномен и е причина за движението на въздуха от тунелите към метростанциите, както също и за промяната в налягането. От вентилационна гледна точка, движението на въздуха е функционално и спомага за обмен на въздуха, охлаждането на тунелите и др., но когато „ефекта на буталото“ е в повече е причина за високи скорости на въздуха на платформата и коридорите. За намаляване на високата скорост на въздуха се проектират шахти, които да отклонят максимално въздуха от тунелите в атмосферата и намалят поривите на вятър в станциите. Поривите на вятър навлизат в станциите като струя, която се разширява в напречното сечение на станцията и достига до около 15-45 м. вътре в нея{4}. По норматив скоростта не на вятъра не трябва да надвишава 5 m/s при навлизане в станцията {12}.

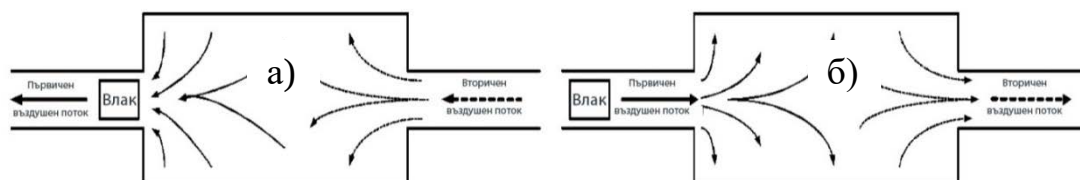
Стълбите, ескалаторите и входните коридори също играят ролята на вентилационни шахти и „ефекта на буталото“ може да причини прекомерни скорости на въздуха в тези участъци.

Схема на станция и шахта за намаляване на „ефекта на буталото“ са дадени на фиг. 17 {5}{39}.



фиг. 17. Схема на станция и шахта за намаляване на „ефекта на буталото“

Потоците на въздух в метрото се генерират от два основни източника: „ефект на бутало“ от движението на влаковете през тунелите и в някои случаи от механична вентилация /вентилатори/. Естествен източник на въздух се явяват също стълбищните изходи и други отвори. Факторите, които влияят на потоците на въздух са геометрични параметри, като: местоположение, форма, дължина, напречно сечение, периметър, грапавост на стените в тунелите, станциите и вентилационните шахти, както също и от динамични параметри: скорост на влака, ускорение, ход, както също и от работните характеристики на вентилаторите. Температурата на въздуха, неговата скорост и налягане зависят от дизайна на тунелната вентилационна система. „Ефектът на буталото“ е причина за поток на въздуха през шахтите от тунелите към външната атмосфера, както и в обратна посока - поток на свеж въздух, когато влакът премине през шахтите. Горещ и топъл въздух породени от спирачната система на влака и климатичната система се смесва с този от тунела зад влака, който в последствие се пренася в станцията вследствие на оставащата инерция или е изтеглен вследствие на тръгването на влака /фиг.18/ {6}{37}{38}.



Фиг.18. Схема на движението на въздуха, а) пристигащ влак, б) заминаващ влак

При тръгването на влак, въздухът от станцията влиза във влаковия тунел – този въздух наричаме *първичен въздушен поток*. За да компенсира изтичането на въздуха, предизвикано от първичния поток, в обратната посока – от тунела към станцията – идващият влак изтласква въздух. Него наричаме *вторичен въздушен поток*. И в обратния случай, когато влакът навлиза в спирката (Фигура 18 (б)), той изтласква въздух, част от който се всмуква в тунела като вторичен поток. В Таблица 2.1 е показано как въздушният поток от движението на влака оказва влияние както на пътниците, така и на вентилационните системи, като е показана разликата в тунела и на станцията.

	Предимства/недостатъци
Станция/платформа	• Причинява защитна реакция в пътниците от поривите вятър • Замърсява въздуха на платформата, чрез пренасяне на замърсителите в тунелите • Намалява живота на съоръженията в метрото
Тунел	• Пренася климатизиран въздух от платформата в тунелите • Подобрява вентилационният ефект в тунелите • Намалява ефективността на вентилаторите доставящи въздух

Таблица 2.1 – Влияние на генерирания от влака вятър

Някои шахти могат да работят с двойно действие. При нормална работа, те могат да се справят с „ефекта на буталото“ за осъществяване на въздушния поток, без помощта на вентилатори, като в други случаи при претоварване или аварийни ситуации да бъдат стартирани. В тези случаи се използва регулатор, който при нормална работа отклонява въздушния поток към страничен канал или при аварийни ситуации през вентилатора. Поривите на вятъра в станцията и стълбищата има негативен ефект и поради тази причина шахтите се проектират близо до станциите.

В тунелите с линии в двете посоки „ефекта на буталото“ не е много ефективен. Въздухът в този случай се избутва напред-назад и само едно малко количество от него преминава през шахтите и тунела. В този случай

се използват вентилатори, които спомагат за движението на въздуха в тунелите.

„Ефектът на буталото“ породен от движението на влаковете е в повечето случаи достатъчен, за поддържане на добро ниво на вентилацията.

Цикличността е следната:

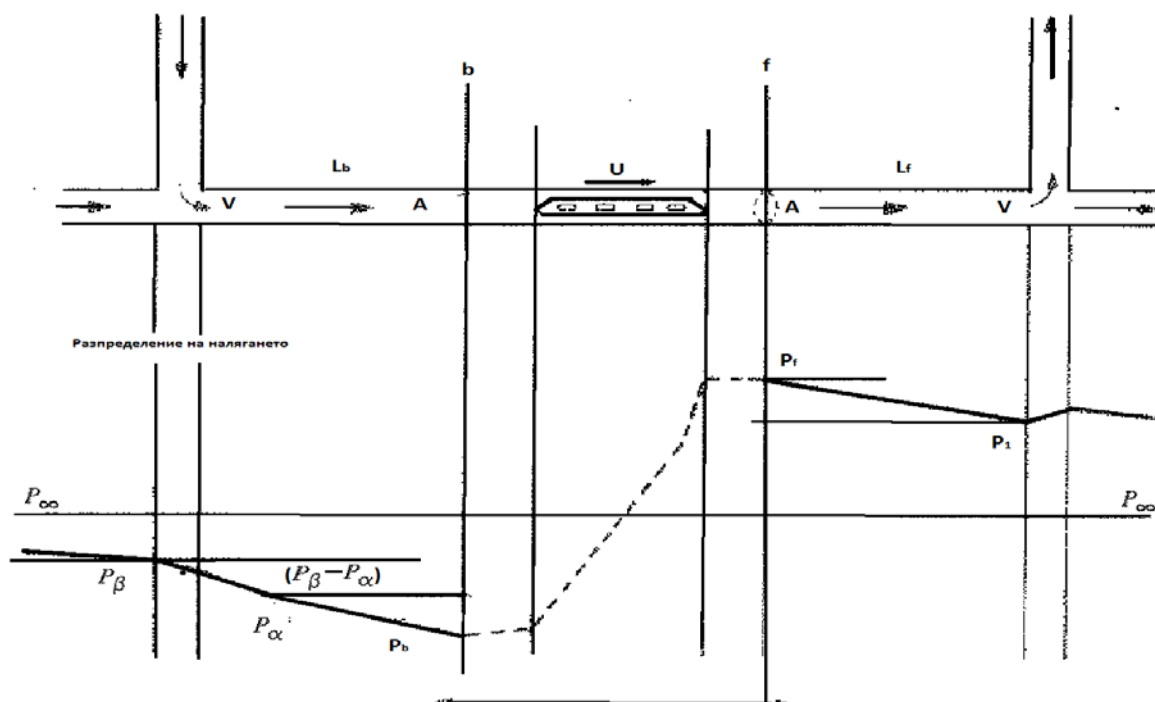
- При приближаване на носа на влака до шахтата, повишеното налягане избутва въздуха нагоре през нея в атмосферата.
- Когато влакът преминава през шахтата, налягането се изравнява.
- След като задната част на влака премине през вентилационната шахта намаленото налягане избутва въздуха надолу през шахтата /засмуква се въздух от атмосферата в шахтата/.

Реалният обем на обмяна на свеж въздух зависи от тягата в шахтата. Ако шахтата е прекалено дълга, нетния ефект ще бъде само в движението на въздуха между тунела и шахтата. От друга страна, ако шахтата е относително къса, преместването на въздуха ще надвиши дължината на шахтата. В този случай всякакви концентрации вътре в шахтата преди да пристигне влака ще се отстранят и свеж въздух ще бъде засмукан обратно в тунела след преминаването на влака.

Естествената вентилация и трафика пораждащ тази вентилация са валидни за сравнително къси тунели или тунели със слаб трафик. Генерално е прието, че ако един тунел е относително дълъг и „ефекта на буталото“ поражда скорост на въздуха по-малка от половината от скоростта на влака, то тогава трябва да бъде монтирана механична вентилация.

2.4. Теоретично изследване

За изчисляване на потока въздух породен от „ефект на буталото“ се ползва Графичен метод, {4}. На фиг. 19 е показана ситуация на движение на влак между две вентилационни шахти.



Фиг.19. Ефект на бутало в тунелна вентилационна система

Нетният ефект е да се създаде повишаване на налягането напречно на влака, което да движи въздуха през тунела. С точките b и f са означени участъците отзад и пред на влака. Теглещата сила се описва от коефициент на теглене C_D :

$$C_D = \frac{\Delta P}{\frac{\delta}{2g} U^2 \alpha} - f_t \left(\frac{|\alpha - \beta|(\alpha - \beta)}{(1 - \alpha)^2} \right) \left(\frac{l}{d\sqrt{\alpha}} \right), \text{ където} \quad (2.1)$$

ΔP = промяна на статичното налягане, като следствие от преминаването на влака, N/m^2

U = скорост на влака, m/s

$\alpha = \frac{a}{A}$ = съотношение между напречното сечение на влака към напречното сечение на тунела

f_t = триене на влака /обикновено е около 0.03), бездименсионна

$\beta = \frac{v}{U}$ = съотношение между скоростта на въздуха в тунела и скоростта на влака, бездименсионна

l = дължина на влака, m .

d = хидравличен диаметър, m .

Силата на теглене поражда разлика между участъците “b” и “f”, така, че силата, която движи въздуха през тунела е резултат от разликата в наляганията и площта на тунела.

$$\Delta P = P_f - P_b \quad (2.2)$$

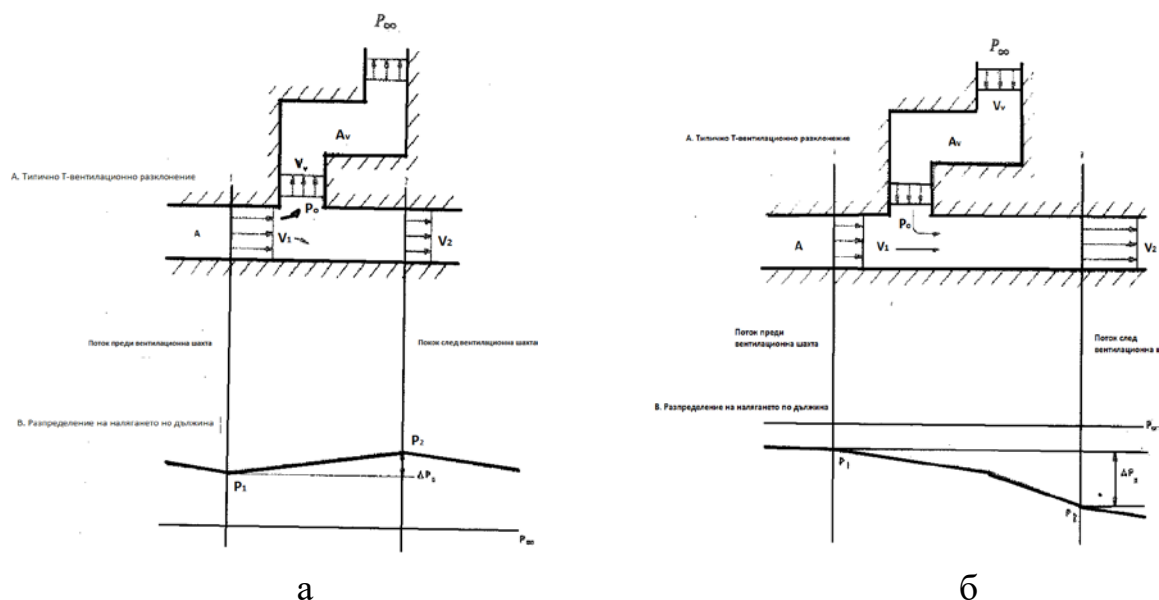
Налягането отпред на влака, P_f може да се определи, чрез загубите в налягането от триене и изтичането през вентилационните шахти:

$$P_f = P_1 + f \frac{L}{D} \delta \left(\frac{V^2}{2g} \right), \text{ където} \quad (2.3)$$

V = големината на скоростта на въздуха в тунела, m/s

Също така може да се изчисли падът в налягането в участъка зад влака. При това трябва да се вземе под внимание промяната на налягането във вентилационната шахта вследствие на турбулентното смесване с влизания въздух. Това може да се изчисли с помощта на константи P_α и P_β (фиг.19).

$$P_b = P_\alpha - f \frac{L}{D} \delta \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (2.4)$$



Фиг.19. а – изходящ поток, б – входящ поток

Интересно е да се разгледа и разклоняването/разделянето на потока въздух между вентилационната шахта и станцията. Параметърът характеризиращ това разделяне е C_m или това е отношението на количеството въздух преминаващ през вентилационната шахта /изходящ фиг. 20 а, входящ фиг. 20 в/ към количеството въздух преминаващ през тунела {4}.

$$C_m = \frac{A_v V_v}{AV} \quad (2.5)$$

$$Z = \frac{P_s - P}{\delta \frac{V_{jet}^2}{2g}} = \frac{A^2}{\left(\sum_{k=1}^N \frac{A_k}{\sqrt{C_k}} \right)^2}$$

Скоростта на въздушния поток в станцията се изчислява със следната формула:

(2.6)

$$V_{jet} = \beta U (1 - C_m), \quad (2.7)$$

$$\beta = \frac{V}{U} \quad (2.8)$$

$$C_m = \frac{A_v V_v}{AV} \quad (2.9)$$

A = Площ на напречно сечение на тунела, m^2

A_v = Площ на напречно сечение на вентилационна шахта, m^2

V = Скорост на въздуха в тунела, m/s

V_v = Скорост на въздуха във вентилационната шахта, m/s

U = Скорост на влака в тунела, m/s

C_m = отношението на количеството въздух преминаващо през вентилационната шахта към количеството въздух преминаващ през тунела, бездименсионна

β = съотношение между скоростта на въздуха в тунела и скоростта на влака, бездименсионна

Един от ключовите параметри за изчисляване на C_m или β е импеданса в станцията. Импедансът, Z на станцията може да се намери, чрез:

И

$$P_s - P_\infty = \frac{C_k \delta V_k^2}{2g} = \frac{C_1 \delta V_1^2}{2g} = \frac{C_2 \delta V_2^2}{2g} \quad (2.10)$$

където

V_{jet} = скорост на въздуха пред влака, m/s

V_k = скорост на въздуха през k - тата вентилационна шахта или тунел отнесена към площта A_k , m/s

A = площ на входящия тунел, m^2

A_k = площ на k - тата вентилационна шахта, тунел, стълбища, m^2

$$V_{jet} A = \sum_{k=1}^N A_k V_k = A_1 V_1 + A_2 V_2 + \dots$$

C_k = коефициент на съпротивление за k -тата вентилационна шахта отнесен към

площ A_k , бездименсионна

(2.11)

P_s = Статично налягане вътре в станцията, N/m^2

δ = плътност kg/m^3

g = гравитационно ускорение, m/min^2

или импедаснът на станцията е:

$$= \frac{A^2}{\left(\frac{A_1}{\sqrt{C_1}} + \frac{A_2}{\sqrt{C_2}} + \dots \right)^2} \quad (2.12)$$

където

P = статично налягане в станцията

Изчислява се импеданс в тунелите:

$$C_T = C_c + f \frac{L}{D} + C_{\Delta p o} \quad (2.13)$$

където

C_c = коефициент на съпротивление на въздуха при свиване на въздуха в изходящия тунел

$f \frac{L}{D}$ = загуби от триене в тунелния участък между станцията и шахтата за намаляване на въздушната струя

$C_{\Delta p o}$ = коефициент на съпротивление на тунелната вентилационна система в режим на изкарване на въздуха

Изчисляване на импеданс в мецанин Z_m

$$Z_{mk} = \frac{P_m - P_{\infty}}{\delta \frac{V_k^2}{2g}} = \frac{A_k^2}{\left(\sum \frac{A_i}{\sqrt{C_i}} \right)^2} \quad (2.14)$$

Където

P_m = статично налягане в мецанин, N/m^2

A_j = площ на i -тия мецанин, m^2

A_k = площ на k -тата платформа към мецанин, m^2

C_i = импеданс на въздушния поток на i -ния мецанин

След като сме изчислили импеданса в станцията е възможно да се изчисли разделянето на потока между въздуха избутан напред от влака вследствие на „ефекта на буталото“ и скоростта на въздуха влизащ в станцията /фиг.21/

2.5. Реални измервания и входни данни

Входните данни за това изследване са взети от теория за силата на въздушния поток, базирана на анализ на данни и диаграми, които от своя страна са изготвени въз основа на резултати от реални измервания {6}. Измерванията са направени с интервал от 1 сек. в продължение на 70 сек.

Параметри на изследването:

A_t : Площ на съпротивление на влака [$12,8 \text{ m}^2 = 3,98 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}$]

A_T : Площ на тунелна плоскост [$18,6 \text{ m}^2 = 5,15 \text{ m} \times 3,6 \text{ m}$]

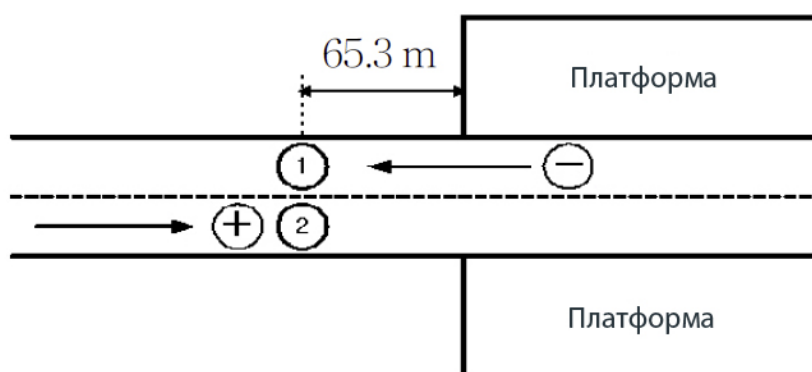
g : Гравитационно ускорение [$9,8 \text{ m/s}^2$]

Q_t : Количество въздушен поток при движение [m^3/s]

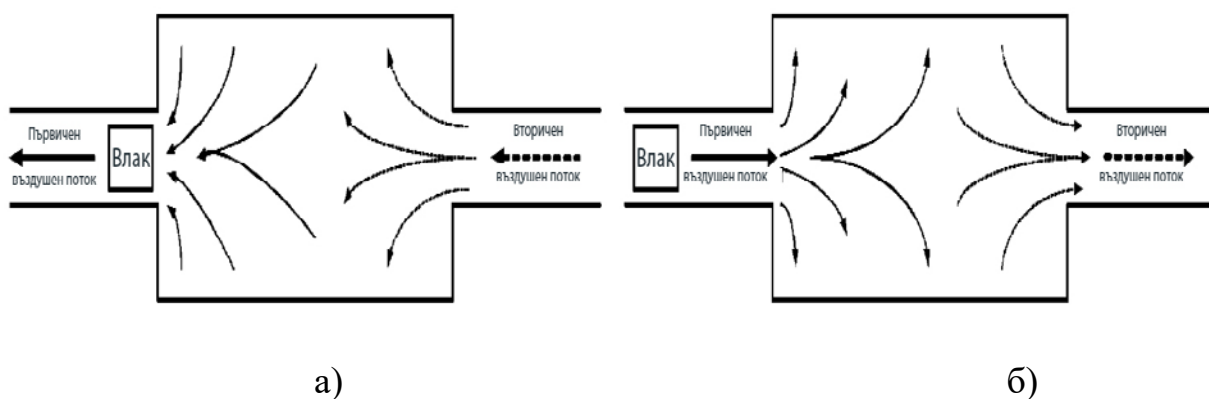
V_t : Скорост на влака [m/s]

V_T : Средна скорост на влаковия въздушен поток [m/s]

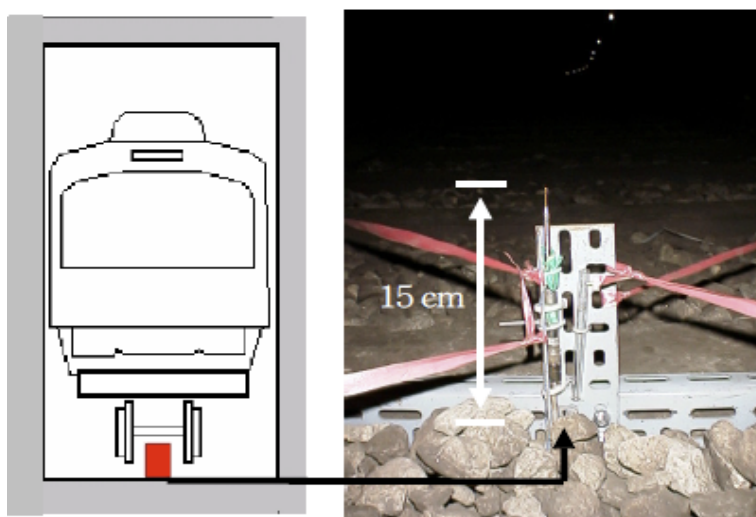
Измерванията, както е показано на Фиг. 22, са взети в точки ① и ②, намиращи се на 65,3 м от края на спирката в посока движение на влака. Точките са в секция на тунела без особености. Щом влакът потегли от спирката, в точка ① се замерва първичния въздушен поток, а в точка ② се замерва вторичният въздушен поток (фиг. 23). Когато влакът пристига на спирката, това е главен въздушен поток в точка ②, а в точка ① се измерва като вторичен въздушен поток. На Фиг. 22 със знак $\oplus$ е означен потокът на въздух, идващ от влаковия тунел към спирката, а със знак $\ominus$ потокът, влизащ в тунела от спирката.



Фиг. 22. Точки на измерване



Фиг.23 Вторичен въздушен поток, а) заминаващ влак, б) пристигащ влак



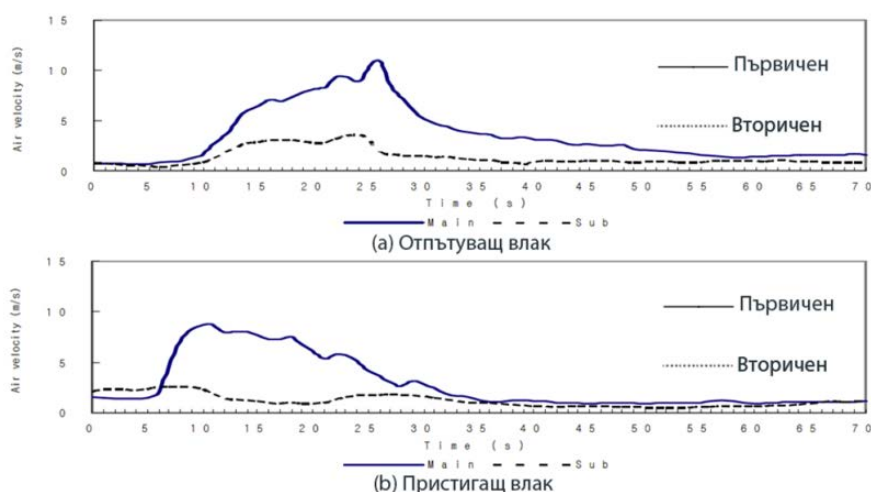
Фиг. 24. Измерване с анемометър

Изследването {6} се основава на измервания от монтиран анемометър /ветромер/ по средата между релсите на височина 15 см от земята, както е показано на Фиг. 24. Както се вижда, уредът е позициониран в пространството между долната част на мотрисата и долната част на релсите.

Сензорът, използван за замерванията, е многопосочен многоточков ветромер (multichannel anemometer, Kanomax), който при контакт с вятър измерва скоростта му чрез изчисляване на разликата в температурата. Уредът има диапазон на измерване 0,1~50 m/s.

Резултати {6}

На Фигура 25 е показано измерването на скоростта на въздушния поток в тунела. Както се вижда от графиката, в момента на потегляне на влака (Фиг. 24 а), максималната замерена скорост на първичния въздушен поток е 10,9 m/s, а в момента на пристигане на влака (Фиг. 25 б) е 8,7 m/s. Максималният първичен въздушен поток, или второстепенният породен от движението на влака от страна на релсите, при тръгване и пристигане е съответно 3,6 m/s и 2,6 m/s. Като цяло в случаите, когато влакът тръгва от спирката, въздушният поток е по-силен.



Фиг.25. Скорости на въздушния поток

2.6. Изчисление на средната скорост на влаковия въздушен поток

2.6.1. Постановка на задачата

В течна среда тяло, движещо се с произволна скорост, в зависимост от триенето и съпротивлението на повърхността му, предизвиква движение на течността в посоката на движение. В ограничено пространство като тунел по същия начин движещите се мотриси предизвикват движение на въздуха. Силата на въздушния поток при движение (ΔP) се отнася в квадратна пропорция към скоростта на влака, [6]:

$$\Delta P = \frac{A_t}{A_T} \frac{\gamma}{2g} V_t^2 \quad (2.18)$$

Както се вижда на Формула 2.18, определената сила на въздушния поток при движение в тунела поражда количеството въздух (Q_t) и това се вижда на Формула 2.19. Количеството въздух при движение се отнася към породената при произволни условия сила на въздушния поток като пропорция корен квадратен.

$$Q_t = A_T \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \sqrt{\Delta P} \quad (2.19)$$

От Формула 2.18 и Формула 2.19 следва Формула 2.20:

$$Q_t = \sqrt{A_t A_T} V_t \quad (2.20)$$

На Формула 2.20 ясно се вижда отношението на количеството циркулиращ въздух към скоростта на влака. Тази постоянна пропорция се определя от площта на съпротивление на влака (A_t) и тунелната плоскост (A_T), като в настоящото изследване е $15,4 \text{ m}^2 (= \sqrt{12,8 \text{ m}^2 \times 18,6 \text{ m}^2})$.

Прилагайки теорията за силата на въздушната циркулация при движение и отчитайки стойностите на факторите на влаковата скорост, се измерва средната скорост на влаковия въздушен поток. В процеса на изчисляване на скоростта на влаковия въздушен поток се отчита еквивалентната скорост на влака в секцията на отмерване – таблица 3.1.

	Отпътуване	Пристигане
Ускорение (a)	+0.7 m/s ²	-0.5 m/s ²
Скорост на влака (V_t)	19.3 m/s	16.6 m/s
Средна скорост на породения от влака вятър ($\overline{V_T}$)	16.0 m/s	13.8 m/s
Количество въздух породено от вятъра (Q_t)	297.8 m ³ /s	256,1 m ³ /s

Таблица 3.1. Количество въздух при движение на влаковете в станциите

$$S = \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow a = \frac{2S}{t^2} \quad (2.21)$$

$$V_t = a \times t \quad (2.22)$$

$$\overline{V_T} = \sqrt{\frac{A_t}{A_T}} \times V_t \quad (2.23)$$

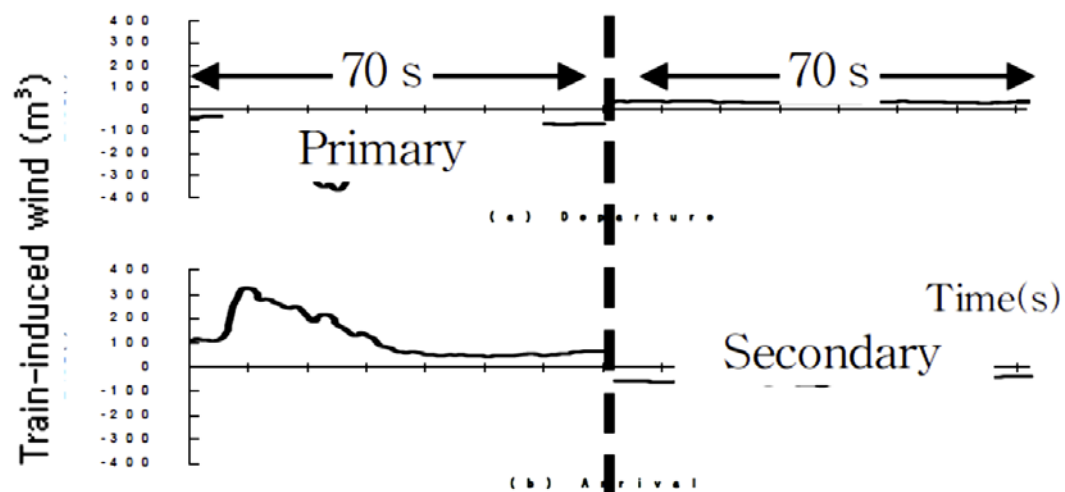
В Таблица 3.1 са поместени стойностите, изчислени база на Формула 2.20, Формула 2.21 и Формула 2.22 в зависимост от времето, необходимо на влака за изминаване на разстоянието от границата между перона и тунела до точката на измерване (65,3 м). Скоростта на движение на влака (V_t) и средната скорост на влаковия въздушен поток (V_T) се определят от Формула 2.23, а взимайки предвид площта на тунелната плоскост A_t и площта на съпротивление на мотрисата A_t , се получава 0,83. С други думи, средната скорост на влаковия въздушен поток е 83% от скоростта на движение на влака в тунел.

Ако приложим измерената скорост на влака (V_t) във Формула 2.23, то можем да намерим средната скорост на влаковия въздушен поток в тунел (V_T). Също, по време на движение на влака най-високата стойност на скоростта на влаковия въздушен поток е в началния момент на преминаването на мотрисата през точката на измерване. Ако към Формула 2.23 приложим резултатите от потегляне и пристигане на влака, съответно 10,9 m/s и 8,7 m/s, и потърсим средната скорост на въздушния поток, ще видим, че тя е при тръгване и пристигане съответно 1,47 и 1,59 m/s. Например, ако в момента на потегляне е отмерена скорост на въздушния поток 10,9 m/s, то средната скорост на влаковия въздушен поток е 16,0 m/s, а ако при пристигане е 8,7 m/s, то средната скорост на влаковия въздушен поток би била 13,8 m/s.

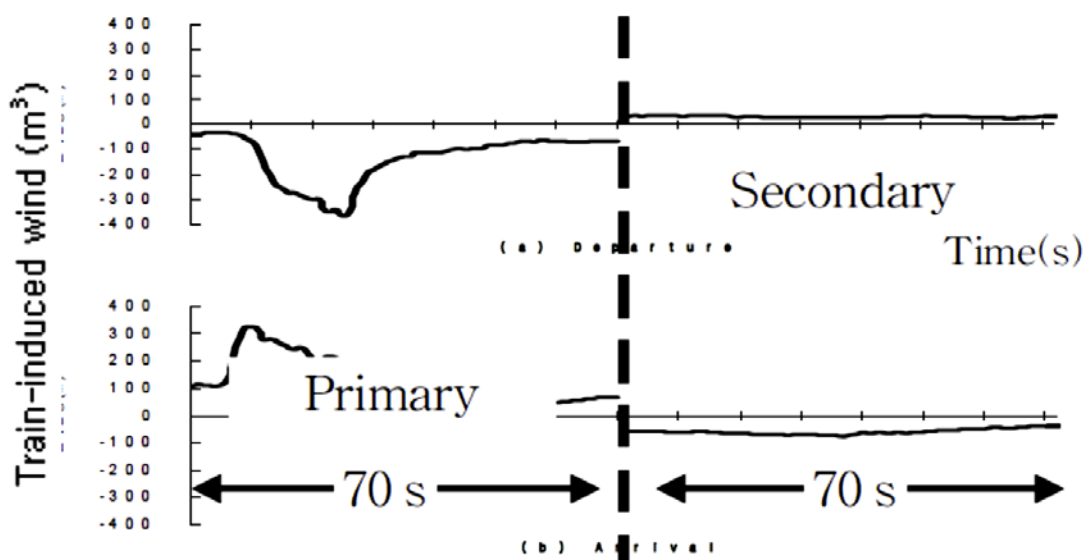
2.6.2. Определяне на въздушните потоци

Както беше споменато по-горе, в спирката въздушният поток, предизвикан от движението на влака (първичен въздушен поток), допълнително поражда вторичен въздушен поток. На Фигура 26 (а) е показано изчисление при тръгването на влака от перона с първичен въздушен поток и вторичен въздушен поток съответно 9409 m³ и 2240 m³. Можем да заключим, че вторичният въздушен поток е 24 % (около 1/4) от първичния.

В случая на пристигане на влака на Фигура 26 (б) се вижда, че първичният въздушен поток, издухана към спирката, е 8491 m³, като от тях около 50 %, а именно 4210 m³, са вторичният въздушен поток, който се всмуква в тунела.



a)



б)

Фиг. 26 а) Отпътуване , б) Пристигане

2.6.3 Заключение [6]

На база замерванията и анализа на данните, свързани с въздушния поток при тръгване и пристигане на подземен влак в спирка, можем да изложим следните заключения:

Въз основа на реални замервания на място настоящото изследване стига до теоретичното заключение, че средната скорост на влаковия въздушен поток

е 83% от скоростта на движение на влака. Изследването също установи скоростите на въздушния поток при тръгване и пристигане на влака, съответно 1,47 и 1,59, необходими за конвертирането на измерената скорост на въздушния поток към средната скорост на влаковия въздушен поток.

Системите на подземен транспорт в спирките и прилежащите пространства като цяло могат да се разделят на обслужващи пристигането и обслужващи потеглянето на влака. В случаите на потегляне на влака от спирката 9409 m^3 въздух се всмуква в тунела като първичен въздушен поток, а 2240 m^3 се издухва към спирката като вторичен. При пристигане първичният въздушен поток издухва към спирката 8491 m^3 , а вторичният всмуква в тунела 4281 m^3 . Ясно може да се види, че при потегляне на влака въздушната струя е по-голяма, отколкото при пристигане, както и че при пристигане на влака съотношението с вторичната въздушната струя е по-голямо.

Глава 3. Иновативни подходи с използването на осъвременени защитни системи подземния железопътен транспорт

3.1. Конфигурация/Схема на изследването

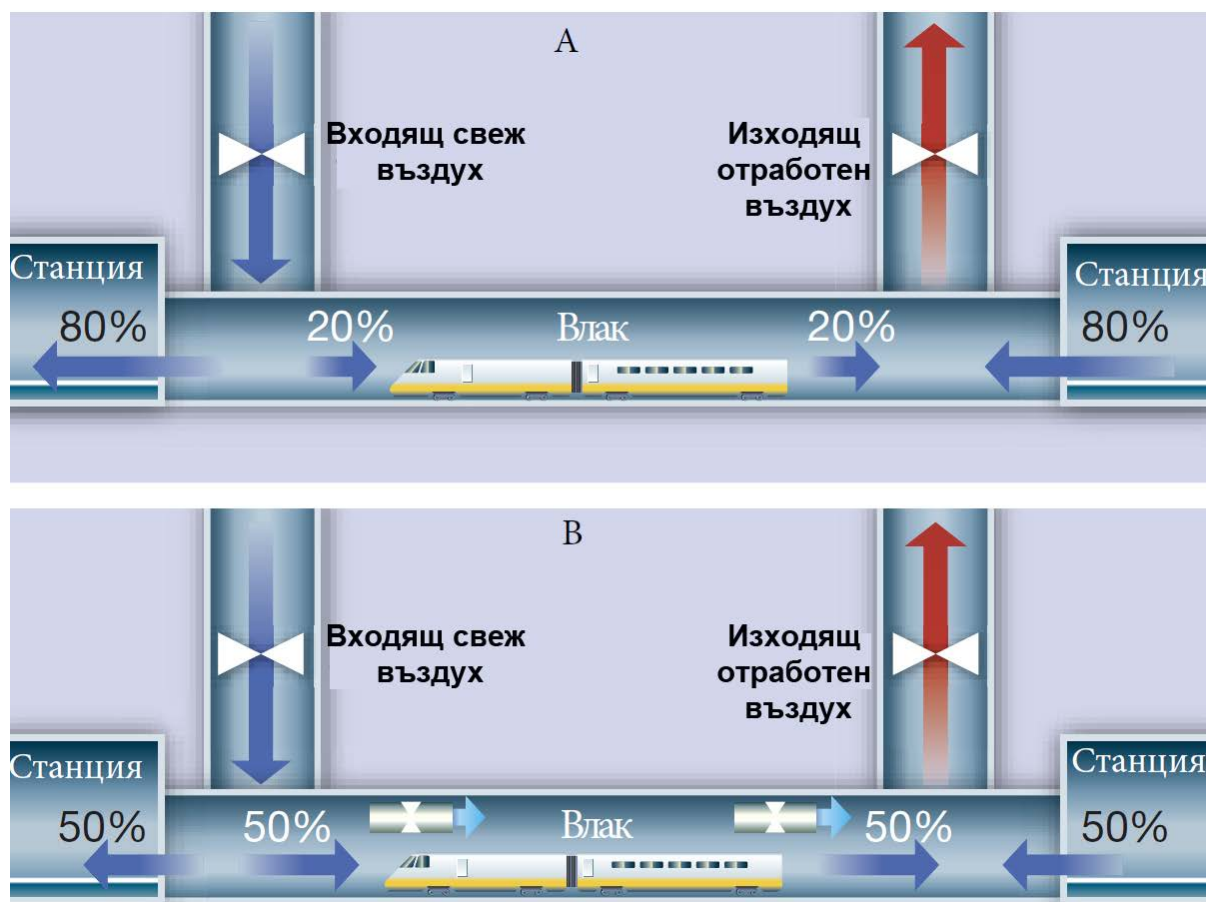
На фиг. 27 е дадена типична конфигурация на вентилация на станция в метрото с различни варианти на вентилация и оптимизация на въздушния поток в метростанцията:

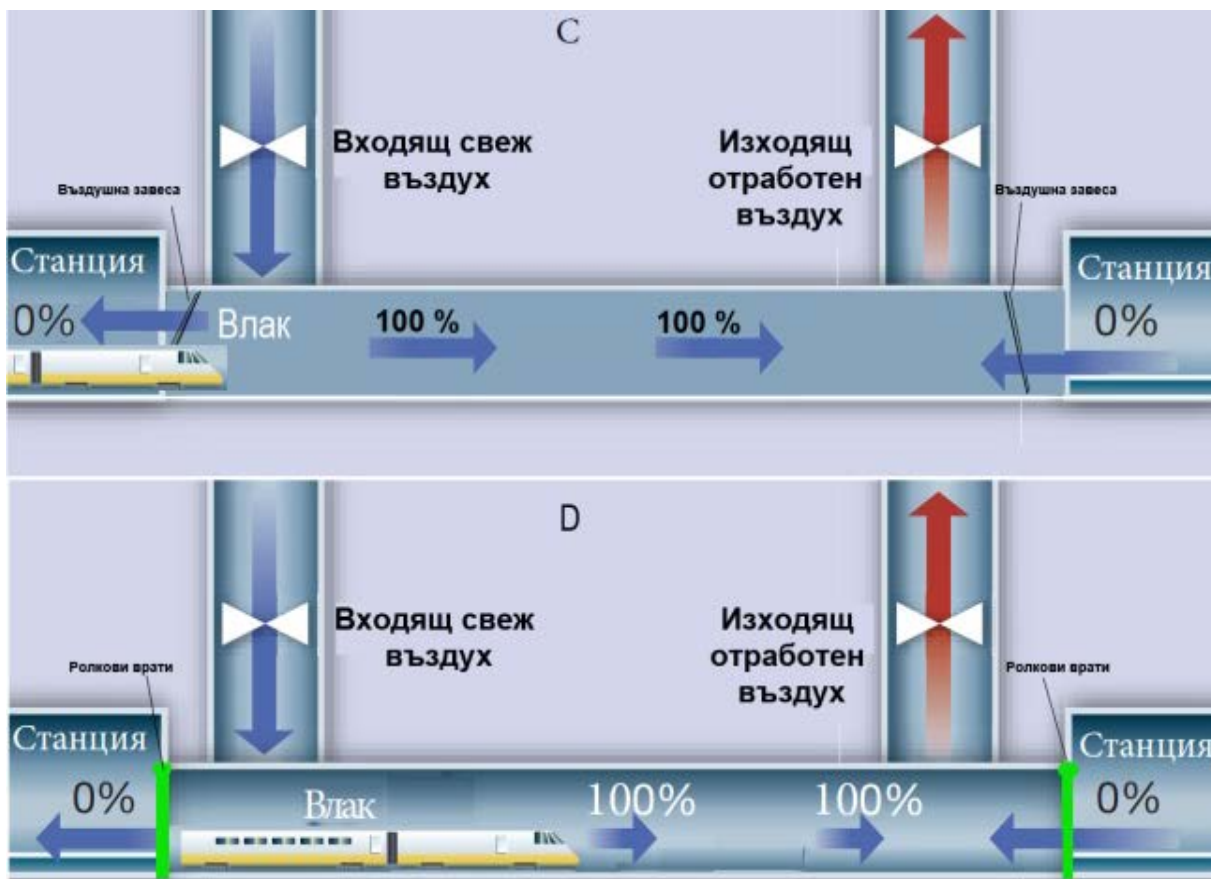
A – Вентилация - поток с оптимизация,

B - аксиални вентилатори /jet/ ,

C – въздушна завеса,

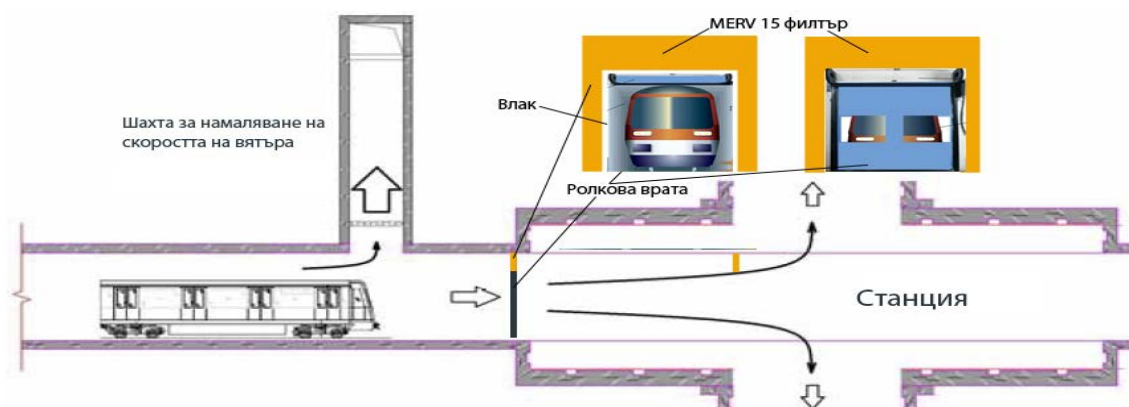
D – ролкови врати/



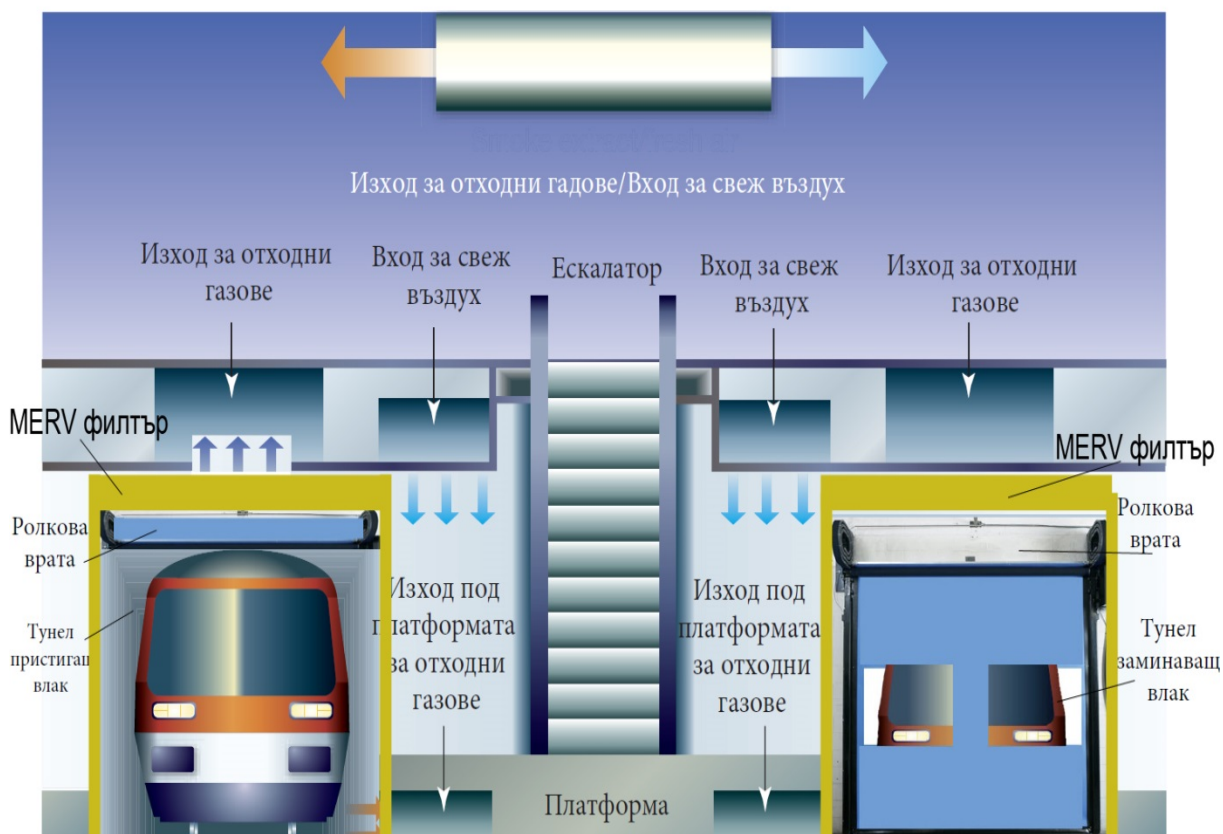


Фиг. 27. Типични конфигурации на вентилация на станция в метрото

В процеса на разработка бяха разгледани различни модели, като най-оптимизиран е този с монтиране на ролкова врата и в разстоянието между вратата и стените на тунела се монтира филтър MERV/HEPA/ULPA /фиг.28/ и фиг.29/



Фиг. 28. Местоположение на ролковите врати и филтрите



Фиг. 29. Вентилация на станция в метрото с добавени ролкови врати на тунелите /пристигащ и заминаващ влак/

Монтирането на ролкови врати на входовете и изходите на тунелите ще допринесе силно до намаляване на концентрациите на ФПЧ в метростанциите и тунелите, както и тяхното отстраняване. Филтрите са мощно средство за защита на човешкото здраве в подземния градски транспорт чрез отстраняване на ФПЧ. Натрупаните данни от изследвания в глобален мащаб съдържат съществена информация и взаимовръзки при различни методи и средства за защита в подземния железопътен транспорт. Те ще бъдат систематизирани в симулационно генериран модел, който ще представи крайните резултати.

3.2. Филтриране на въздух.

Филтриращите технологии са едни от най-важните методи за отстраняване на частици. Познаването на тяхната способност за защита срещу ФПЧ във въздуха, особено тези с много малък размер и с потенциално висок риск за здравето са от голямо значение.

3.2.1. Ефективност на филтрирането {7}{40}

Както беше споменато ефективността на филтриране определя колко добре филтър премахва пренасяните по въздух частици. Спрямо тази дефиниция, филтърната ефективност E_p може да се изчисли така:

$$E = 1 - \frac{C_{down}}{C_{up}} \quad (3.1)$$

Където C_{down} е средната концентрация/количество на частици – (частици/cm³) след филтъра и C_{up} – преди филтъра

Проникването на частиците P във филтъра може да се даде така:

$$P = 1 - E, \text{ където} \quad (3.2)$$

E е ефективността на филтъра.

Ефективността на филтриране зависи от работата на филтъра, експлоатационния срок и материала от който е изработен. Някои от факторите, които влияят на неговата ефективност са: скорост на въздуха през филтъра, размера на частиците, плътност на филтъра, диаметър на влакната, дебелината на филтъра и др.. Проникването на частиците се намалява с увеличаването на неговата дебелина и намаляването на диаметъра на влакната.

Скоростта на въздуха през филтъра е функция от площта на филтриране. Скоростта на въздуха през филтърна среда се дава със следния израз:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.3)$$

Където Q е обемния дебит през филтъра и A е филтърната площ. Може да се каже за ФПЧ в диапазона 0.04- 0.4 μm , ефективността на филтриране се увеличава с намаляване на скоростта. Увеличаването на площта на филтриране дава по добро филтриране поради намаляване на скоростта през филтъра.

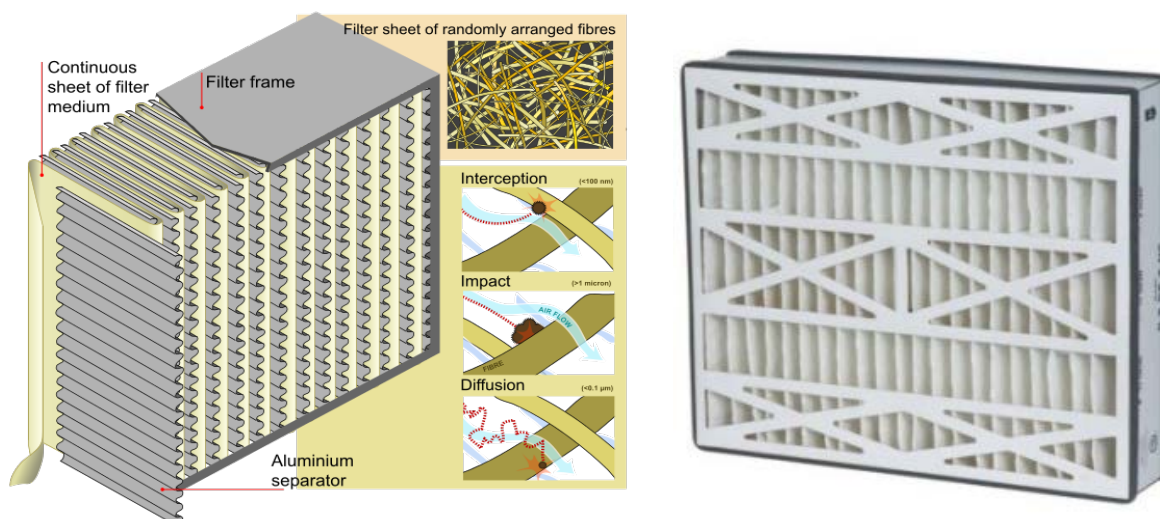
3.2.2. Критерии за избор на филтър

Въздушните филтри обикновено се класифицират въз основа на тяхната ефективност на събиране, спад на налягане (устойчивост на въздушен поток) и капацитет на задържане на частиците. Два метода на тестване се използват в момента: Европейския стандарт EN 779 и американските стандарти ASHRAE 52.1 и 52.2 за класифициране на вентилационни въздушни филтри. Класификацията на тези филтри е направена въз основа на ефективността получена при провеждане на експерименти.

Американския стандарт ASHRAE е утвърдил т.н. MERV - minimum efficiency reporting value, стойности по които производителите да оценяват ефективността на техните филтри. За измерване на тази ефективност са въведени 12 размера. Най малкият размер на частиците е 300 нанометра.

Грубите и фини филтри за прах се използват най-често за пречистване на въздух. Базирани на тяхната ефективност, стандарт EN779 класифицира различните фини филтри в пет класа – F5-F9, където F5 е по-малко ефективен и F9 е най-ефективния от всички. С класовете филтри G1-G4 се означават груби филтри табл.3.1.

Филтрите MERV/HEPA/ULPA се използват за пречистване на въздух в лаборатории, индустриални помещения, чисти помещения, болници, в електроуреди и др., фиг. 29.



Фиг.29 Филтри MERV/HEPA/ULPA {41}

Класификация	ЗАДЪРЖАН E	US ASHRAE 52.2	European Union EN779 Class		Замърсители
PRE Filter (G Class)	<65 %	MERV 1	G1	< 65 %	Частици по-големи от 10.0 μm Цветен прахец, текстилни фибри
	65%-70%	MERV 2	G2	65%-80%	
	70%-75%	MERV 3			
	75%-80%	MERV 4			
	80%-85%	MERV 5	G3	80%- 90%	Частици между 3 - 10.0 μm Мухъл , Спори , Спрей за коса , Циментен прах Мляко на прах
	85 % -90 %	MERV 6			
	25%-30%	MERV 7	G4	90%<	
	30%-35%	MERV 8			
MEDIUM Filter (F Class)	40%-45%	MERV 9	F5	40%- 60%	Частици между 1- 3.0 μm Оловен прах, въглищен прах, заваръчен дим
	50%-55%	MERV 10			
	60%-65%	MERV 11	F6	60%- 80%	
	70%-75%	MERV 12			
	80%-85%	MERV 13	F7	80%- 90%	Частици между 0.3- 1.0 μm Всички бактерии, повечето димни газове, тонер, пигменти за бои
	90%-95%	MERV 14	F8	90%- 95%	
	>95%	MERV 15	F9	95%<	
		MERV 16			

Таблица 3.1. Класификация на филтрите

В зависимост от избрания филтър, могат да се филтрират: бактерии, 90-99% на фини прахови частици с размери 2.5-10 μm , плесенни спори и др..

Изборът на филтър зависи от много фактори, като например вида и размера на частиците, които филтъра може да отстрани. В повечето случаи не е възможно да бъдат филтрирани всички замърсители. След като е избран филтър, трябва да бъде обърнато внимание на друг важен фактор - съпротивление на въздушния поток пропорционален на потреблението на енергия за да се намалят енергийните разходи за филтриране.

Ако целта е само филтърна ефективност, то могат да се използват HEPA/ High Efficiency Particulate Air/ филтри. Трябва да се отбележи, че в такива случаи разходите за енергия са толкова високи, че по някой път не е целесъобразно да бъдат използвани.

Филтрите с висока ефективност обикновено са тези с висок пад на налягане. Идеалният филтър е този който предоставя най-висока ефективност с най-малък спад на налягане. F5-F9 са филтрите, които се използват най-много в Европа. Филтри F7 се използват най-често на доставка на въздух в индустриални сгради.

3.2.3. Спад на налягане

Спадът на налягане е важен критерий при избор на филтър. Спадът на налягане във влакнест филтър е съпротивлението на въздушния поток през филтъра, причинено отделните влакна. Може да се представи със следния израз:

$$\Delta p = \frac{\eta t U_0 f(\alpha)}{d_f^2} \quad (3.4)$$

$$\alpha = \frac{\text{количество влакна}}{\text{целия обем}} \quad (3.5)$$

Където η е динамичен вискозитет, t – дебелина на филтъра, U_0 – лицева скорост, α – плътност на опаковане, $f(\alpha)$ – функция на плътността на опаковане, d_f - диаметър на влакната

В идеалния случай, спадът на налягането е пряко пропорционален на дебита. В повечето филтри въздушния поток е ламинарен и зависи от филтърната среда и от корпуса на филтъра. Въпреки това обикновено турбулентния компонент прави спадът на налягането пропорционален на дебита на въздух към мощността на експонента малко над 1.

Възможността на въздухо-обслужващия блок да премества въздуха през системата се намалява с увеличаване на спада на налягането. Когато тази способност се намали се изисква повече енергия за осигуряване на същия поток. Когато ефективността на филтъра се увеличи, спада на налягане обикновено също се увеличава.

3.2.4. Разход на енергия

За да се преодолее спадът на налягане е нужно енергия. Тази енергия се нарича въздушна мощност W и се изчислява по следния начин:

$$W = \dot{Q} \times \Delta p \quad (3.6)$$

Където Q е скоростта на въздуха и Δp е падът на налягане.

Електрическата мощност W_e се дава така:

$$W_e = \frac{W}{\eta_m \eta_T} \quad (3.7)$$

Където, η_m - ефективност на мотора и η_T - ефективност на вентилатора

Консумацията на енергия се увеличава когато площта на филтъра намалява – това се случва защото спадът на налягане се увеличава.

3.2.5 Предимства при използването на филтри

Филтрирането на въздуха ще намали енергийните разходи. Ще намали нуждата от почистване не само на пространствата /тунели и станция/, но и на вентилационните системи и не на последно място намалява рисковете за здравето.

Разходите свързани с филтриращата система са: разходи за филтър, разходи за рамка, като разходите за вентилатори няма, поради това, че ефекта на буталото създаден от движението на влаковете сам играе ролята на вентилатор. Допълнителни разходи има за поддръжка и изхвърляне на филтрите.

Цената за единица въздушен поток/ЦЕВП/ може да бъде изчислена по следния начин:

$$\text{ЦЕВП} = \frac{\text{Цена филтър} + \text{разходи за труд за монтаж}}{\text{живот на филтъра} \times \text{скорост на въздушния поток}} \quad (3.8)$$

$$\text{живот на филтъра} = \frac{\text{КСП}}{\text{СФП} \times \text{КВЧ} \times \text{СВП}} \quad (3.9)$$

където:

- **КСП** – капацитет на съхранение на прах
- **СФП** – способността на филтъра да се почиства
- **КВЧ** – концентрация на входящите частици
- **СВП** – скорост на въздушния поток

3.3. Ролкови врати

Едно съвременно решение за изолиране на закрити обеми един от друг или закрит обем от открит такъв (вкл. метростанции от тунели) са предпазните ролкови врати. Има редица производители на твърди или гъвкави, ролкови или модулни, вертикални или хоризонтални предпазни врати. Един от известните производители е фирмата RITE-HITE, www.ritehite.com - фиг. 30.



Фиг. 30. Гъвкава предпазна ролкова врата

Технически параметри, на които трябва да отговаря предпазната ролкова врата в зависимост от съвременното ниво на технологиите, са следните:

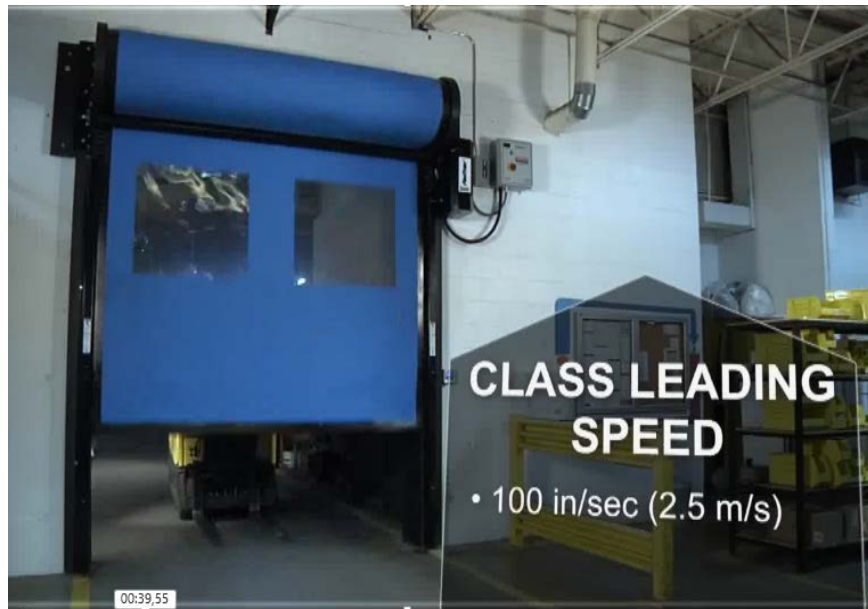
Скорост на вдигане – до 2.5 м/сек, фиг. 31

Микропроцесорно управление

Сензорно отваряне /лазерни сензори/ –при приближаване на обект към вратата – фиг. 32

Автоматично подравняване и рестартиране при удар с вратата /дизайн за предпазване от повреди/ - фиг. 33

Лесна поддръжка, Нисък разход на енергия, Ниско ниво на шум



Фиг. 31. Високоскоростно задвижване



Фиг. 32. Сензор за отваряне при приближаване



Фиг. 33. Дизайн за предпазване от повреди при удар

Изводи и заключение

Целите при поставяне на предпазни съоръжения могат да бъдат:

- Изолиране на два закрити обема един от друг,
- Изолиране на закрит обем от открит такъв,
- Предпазване на съоръжения от повреди,
- Ограничаване на достъпа до съоръжения.

Критериите за избор на методи и средства за предпазване биват:

- Намаляване количеството на ФПЧ,
- Намаляване на разхода на енергия,
- Подобряването на вентилацията,
- Оптимизация на въздушния поток.

Най-оптимален е вариант с монтиране на ролкова врата и в разстоянието между вратата и стените на тунела да се монтира филтър.

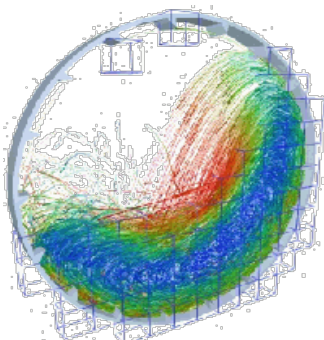
Глава 4. Експериментални резултати и симулационно моделиране с нови защитни системи

4.0.1 Начални експерименти

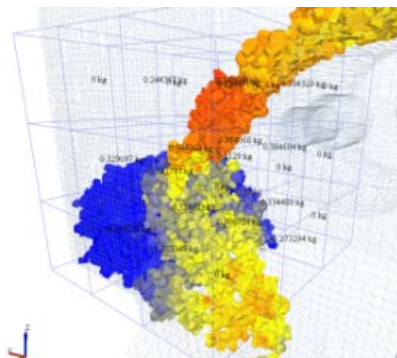
За първоначална симулация на поведението на ФПЧ беше използван *Програмен пакет EDEM за индустриално приложение на метода на дискретните елементи DEM (Discrete Element Method) Software*, който има модули за: изграждане на модели на обекти [EDEM Creator – фиг. 34](#), симулация на взаимодействие между множество обекти [EDEM Simulator – фиг. 35](#), анализ на резултатите [EDEM Analyst – фиг. 36](#). **Приложения:** за моделиране движението, взаимодействието и обработката на насипни и минни материали, разпределение и разделяне по вид и големина на смеси от различни материали и др.



Фиг. 34. 3Д модел



Фиг. 35. Симулация

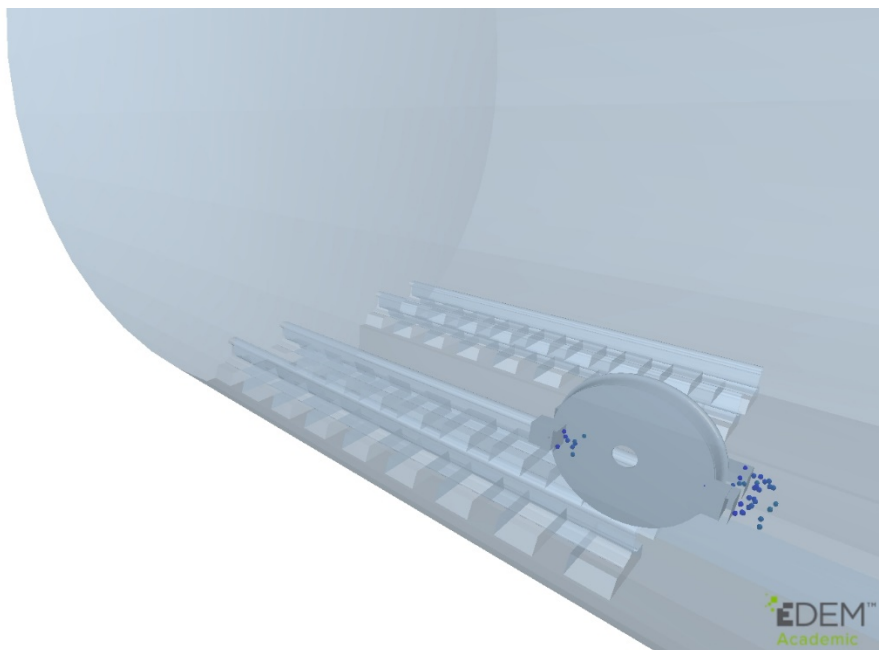


Фиг. 36 Анализ

С помощта на **EDEM Software** бяха направени следните симулации:

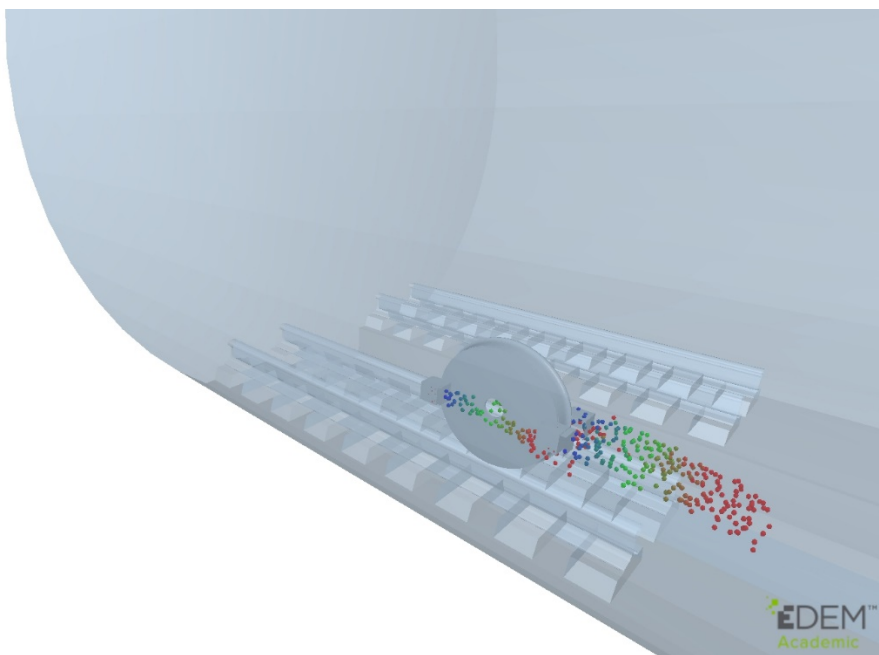
- Фиг. 37. Симулация на отделяне на ФПЧ при първоначално включване на спирачка, когато влакът навлиза в метростанцията,
- Фиг. 38. Симулация на изхвърляне на ФПЧ от колелото и спирачката при включена спирачка,
- Фиг. 39. Симулация на разпръскване на ФПЧ във въздуха на метростанцията,
- Фиг. 40. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията,
- Фиг. 41. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията след спиране на влака.

Time: 0.0200336 s
EDEM
Academic



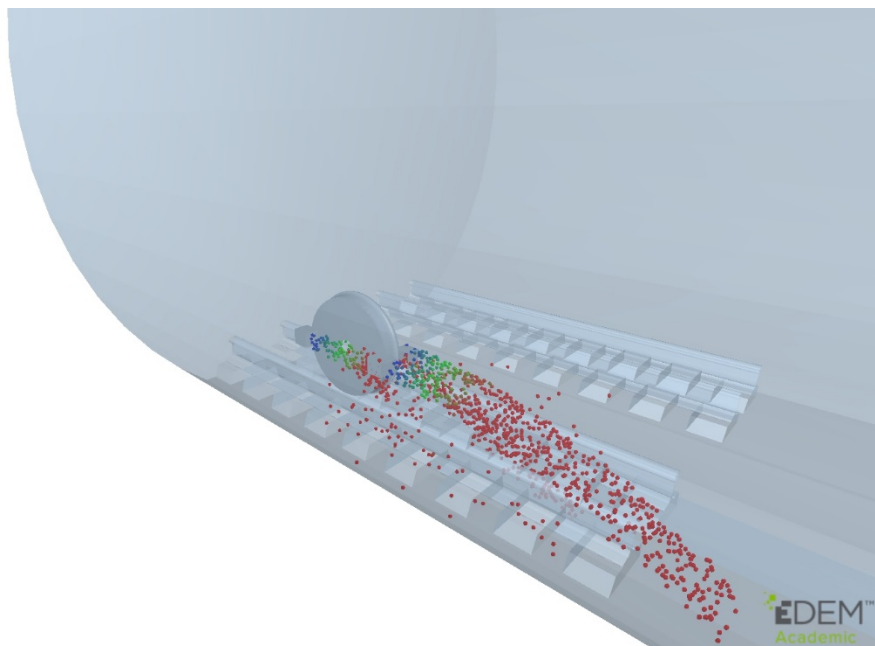
Фиг. 37. Симулация на отделяне на ФПЧ при първоначално включване на спирачка, когато влакът навлиза в метростанцията,

Time: 0.14003 s
EDEM
Academic



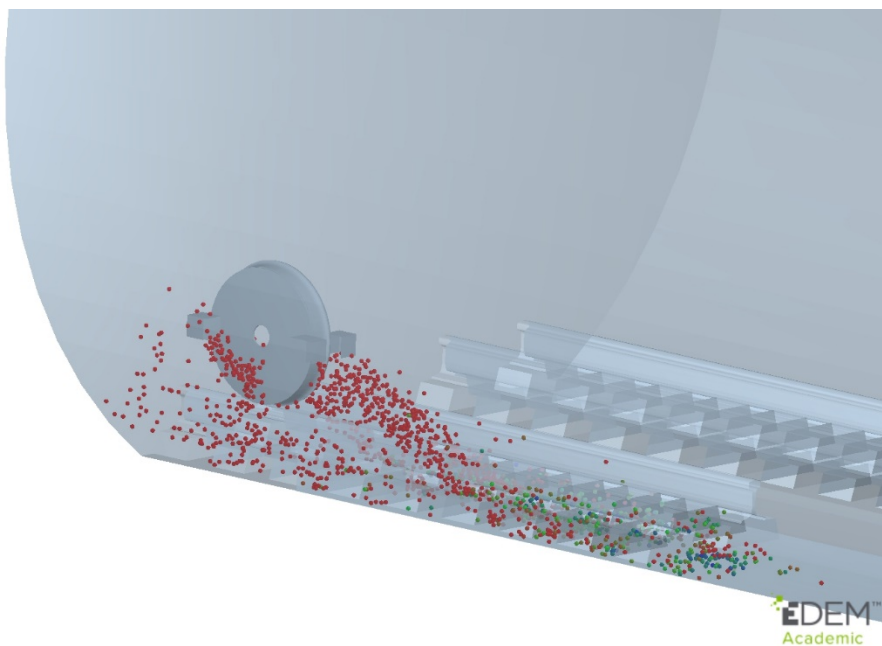
Фиг. 38. Симулация на изхвърляне на ФПЧ от колелото и спирачката при включена спирачка,

Time: 0.340006 s
EDEM
Academic

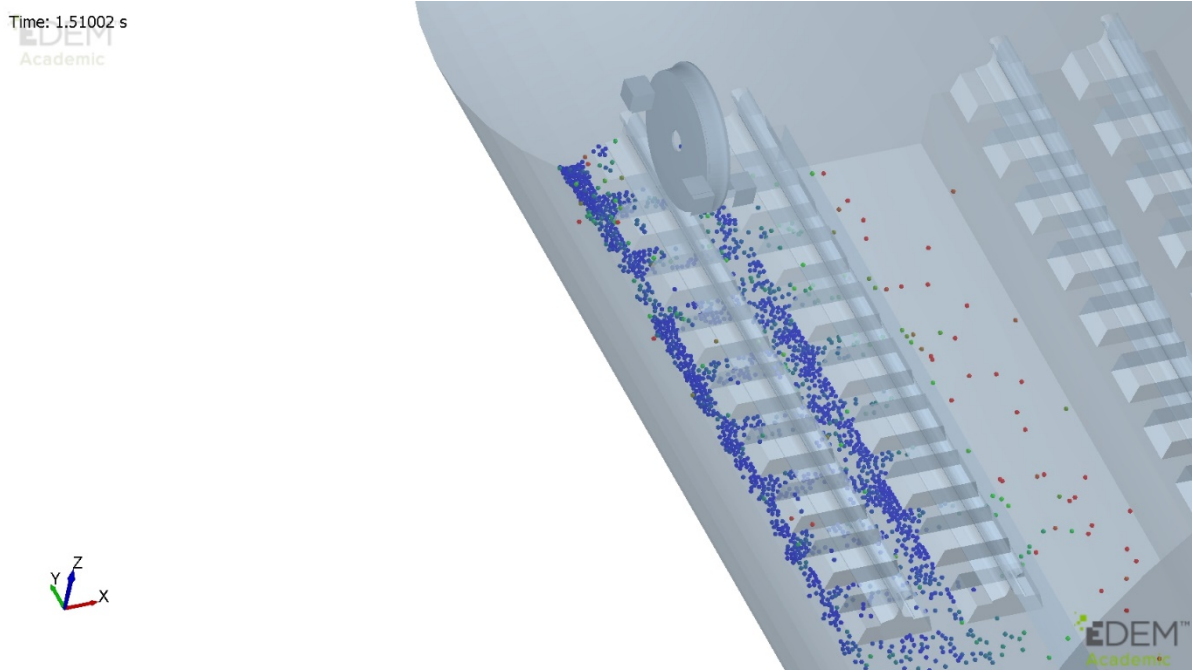


Фиг. 39. Симулация на разпръскване на ФПЧ във въздуха на метростанцията,

Time: 0.640048 s
EDEM
Academic

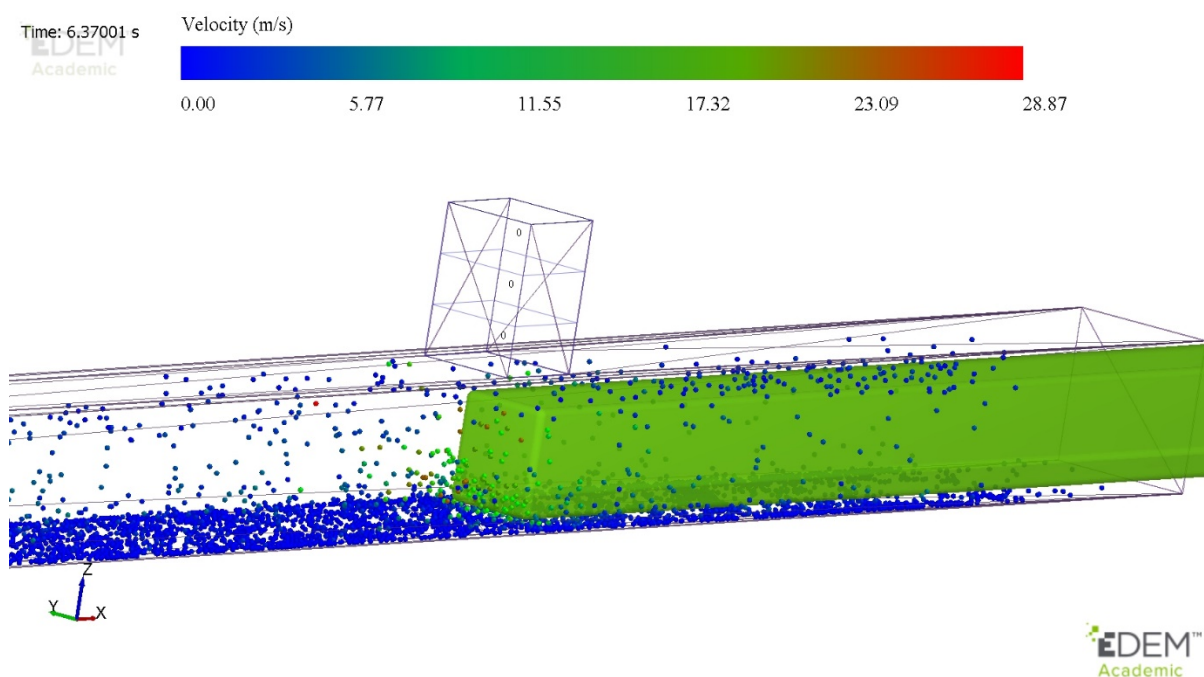


Фиг. 40. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията.

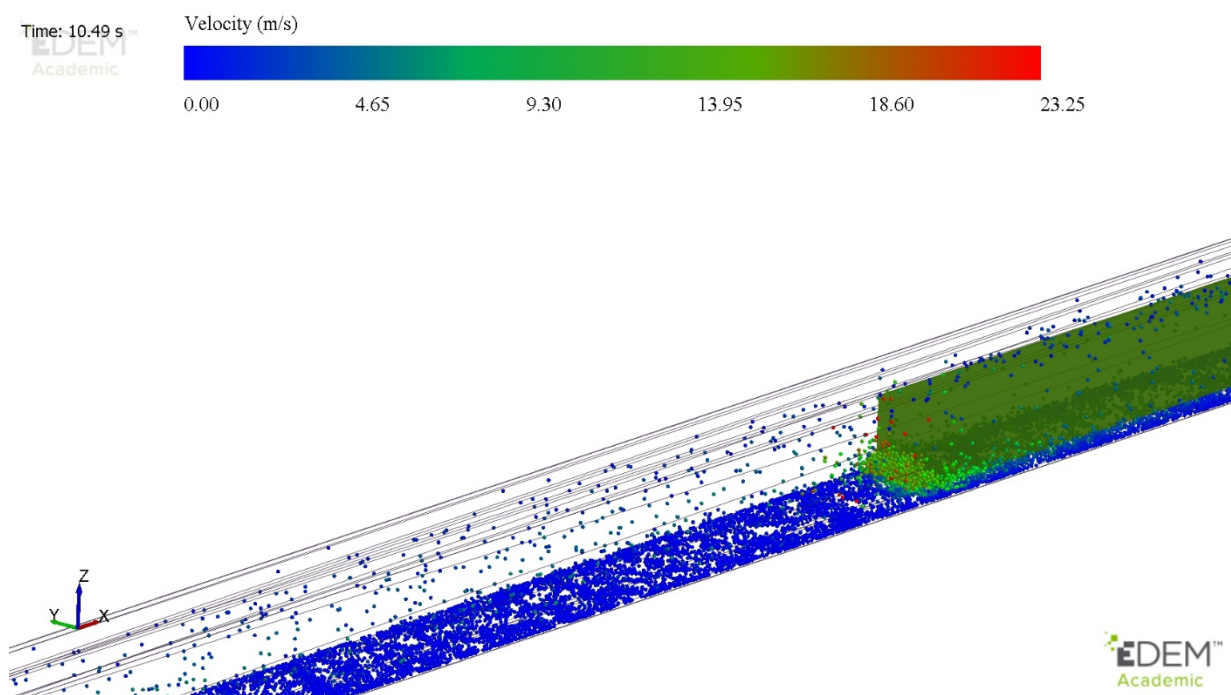


Фиг. 41. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията след спиране на влака.

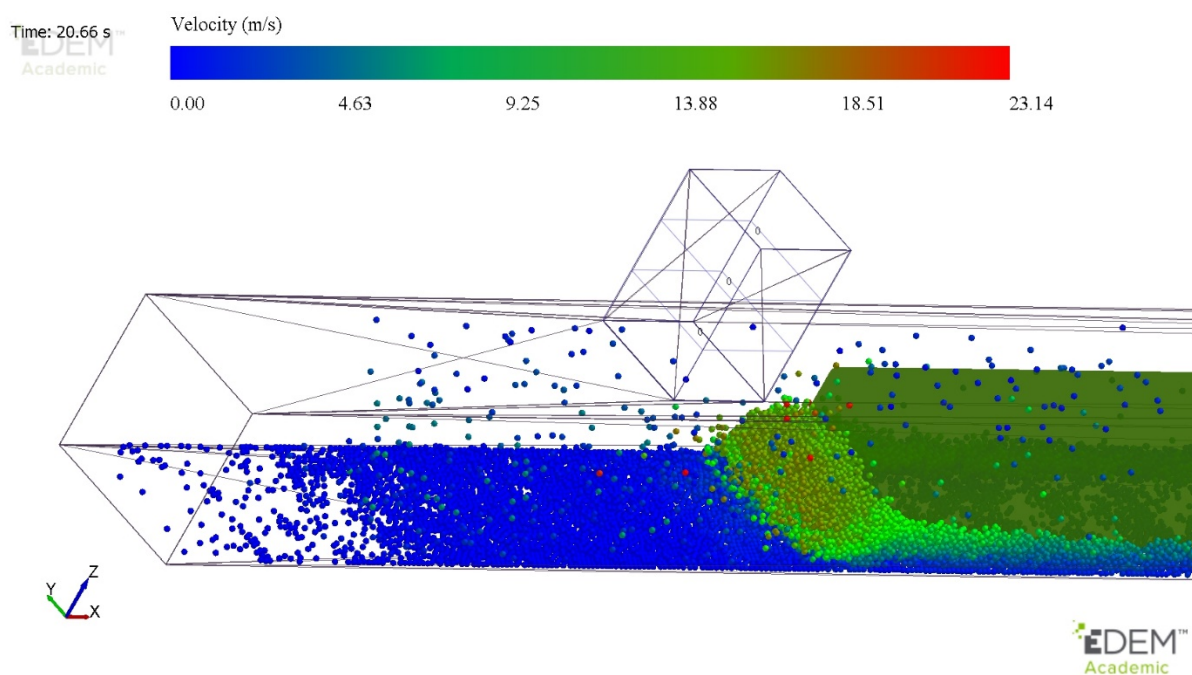
Със същият програмен продукт **EDEM Software** бяха направени сумулации на разпределението на ФПЧ при движение на влака в тунела както следва:



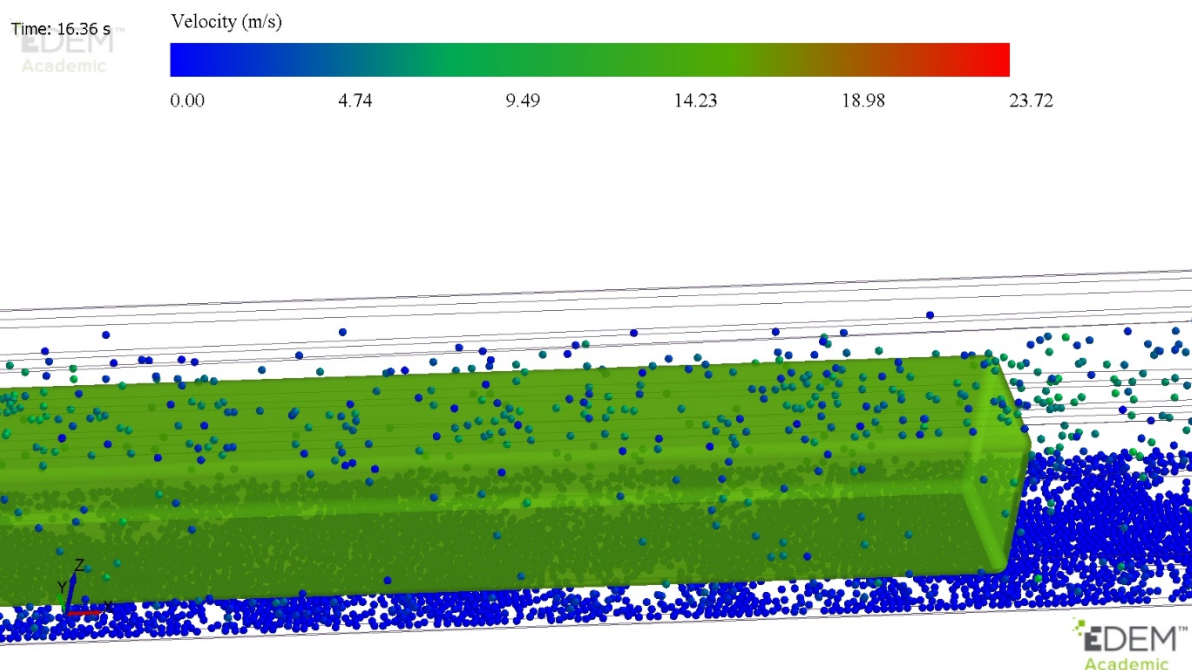
Фиг. 42. Разпределение на ФПЧ при навлизане на влак в тунела,



Фиг. 43. Разпределение на ФПЧ при движение на влак в тунела,



Фиг. 44. Натрупване на ФПЧ пред влака при движение в тунела,



Фиг. 45. Отлагане обратно на ФПЧ след преминаване на влака

4.1 Симулация без и с предпазна врата - общи положения и модели на разработка

За проверка на ефекта от поставянето на предпазни врати в двата края на метростанцията (на входа и на изхода на влака от тунела), бяха направени симулации с програмния продукт Solidworks Flow.

4.1.1 Физически възможности на програмния продукт Solidworks Flow

С Flow Simulation е възможно да се изследват широк диапазон проблеми в областта на флуидите и топлопренасянето.

- Външни и вътрешни флуидни потоци
- Непроменящи се и променящите във времето потоци
- Компресирани и некомпресирани потоци на газове
- Свободна, принудена и смесена конвекция
- Подзвонични и свръхзвукови газови потоци
- Поток с гранични слоеве, включително ефектите на грапавост на стените

- Потоци от ламинарен и турбулентен характер
- Потоци при модели с подвижни/въртящи се повърхности и/или части
- Топлинна проводимост в течна, твърда и пореста среда с/без поглъщане на топлина и/или топлинно съпротивление между твърди тела и/или радиационно топлопренасяне, ефект на Пелтие и др..
- Загряване, дължащо се на директния ток в електрически проводими твърди вещества
- Различни видове топлинна проводимост в твърда среда, т.е. изотропно, еднопосочно, двуосни / оссиметрични и ортотропни
- Течни потоци и пренос на топлина в порести тела
- Потоци от не-Нютонови течности
- Потоци от свиваеми течности
- Реални газове
- Кавитация в несвиваеми водни потоци
- Равновесно обемно кондензиране на водата от пара и нейното влияние върху потока на флуида и топлопренасянето
- Относителна влажност на газове и смеси от газове
- Двухазови потоци (течност + частици)

4.1.2 Уравнения

- Уравненията на Navier-Stokes за ламинарни и турбулентни флуидни потоци

Симулациите решават уравнения на Navier-Stokes, които са формулирани на базата на масови и инерционни закони и закони за запазване на енергията за потоци и течности. Уравненията се допълват от уравнения за флуидното състояние, от естеството на течността и от емпирични зависимости на плътността на флуида, вискозитета и топлинната проводимост. Не-Нютонови флуиди се разглеждат чрез въвеждане на зависимост на техния динамичен вискозитет към скоростта на срязване и температурата, а свиваемите флуиди се разглеждат чрез въвеждане на зависимост между тяхната плътност към налягане. Определен проблем се определя от неговата геометрия, граници и начални условия.

Flow Simulation може да предсказва както ламинарни, така и турбулентни потоци. Ламинарните потоци се срещат при ниски стойности на числото на Рейнолдс, което се дефинира като резултат на представителни величини на

скоростта и дължината, разделен на кинематичния вискозитет. Когато числото на Рейнолдс надвиши определена критична стойност, потокът става турбулентен, т.е. параметрите на потока започват да се колебаят произволно.

Повечето флуидни потоци, които се срещат в инженерната практика, са турбулентни, така, че симулацията на потоците е основно разработена, за да симулира и изследва турбулентни потоци. За да се предскажат турбулентни потоци, се използват уравненията на Navier-Stokes, получени от средноаритметичната стойност на Favre, при които се отчитат осреднените във времето ефекти на турбуленцията на потока върху параметрите на потока, докато други феномени по-големи по мащаби и зависещи от времето са взети под внимание директно. Чрез тази процедура в уравненията, за които трябва да се предостави допълнителна информация, се появяват допълнителни термини, известни като натиск/напрежение на Рейнолдс. За да затвори тази система от уравнения, Flow Simulation използва транспортни уравнения за турбулентната кинетична енергия и нейната скорост на разсейване, т.нар. K-ε модел.

Flow Simulation използва една система от уравнения, която описва както ламинарните, така и турбулентните потоци. Освен това е възможен преход от ламинарно към турбулентно състояние и / или обратно. Потоците при модели с движещи се стени (без промяна на геометрията на модела) се изчисляват чрез определяне на съответните гранични условия. Потоците при модели с въртящи се части се изчисляват в координатни системи, прикрепени към въртящите се части на моделите, т.е. въртящи се с тях, така че стационарните части на моделите трябва да са осово симетрични по отношение на оста на въртене.

Законите за запазване на маса, инерция и енергия в картезианската координатна система, въртяща се с ъглова скорост Ω около оста, минаваща през началото на координатната система, могат да бъдат записани във форма, както следва:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H, \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad i=1,2,3 \quad (4.3)$$

$$H = h + \frac{u^2}{2}, \quad (4.4)$$

Където u е скоростта на флуида, ρ е плътността на флуида, S_i е масово разпределена външна сила на единица маса, дължаща се на поресто съпротивление на материала (S_{porous}), способност за задържане на повърхността на водата/във въздуха ($S_{gravity} = -\rho g_i$, където g_i е компонентът на гравитационното ускорение по i -та координатна посока) и ротация на координатната система ($S_{rotation}$), т.е.

$S_i = S_i^{porous} + S_i^{gravity} + S_i^{rotation}$, h е топлинна енталпия, Q_H източник на топлина за единица обем, τ_{ik} е вискозен тензор на напрежението, q_i е дифузионният топлинен поток. Индексите се използват за обозначаване на сумирането по трите координатни направления.

За изчисления с разрешена опция за поток с висока стойност са използвани следните енергийни уравнения:

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i \left(E + \frac{p}{\rho} \right)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H, \quad (4.5)$$

$$E = e + \frac{u^2}{2}, \quad (4.6)$$

Където e е вътрешната енергия

За Нютонови флуиди вискозен тензор на напрежението се дефинира от:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (4.7)$$

Следвайки предположението на Boussinesq, тензорът на напрежение на Reynolds има следната форма:

$$\tau_{ij}^R = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (4.8)$$

Тук δ_{ij} функцията "Кroneker делта" (равна е на единица, когато $i = j$, или на нула), μ е динамичният коефициент на вискозитет, μ_t е турбулентният вихров вискозен коефициент и k е турбулентната кинетична енергия. Трябва да се отбележи, че μ_t и k са нули при ламинарни флуиди. В рамките на модела K- ϵ , турбулентност се дефинира като се използват две базови турбулентни свойства, а именно турбулентната кинетична енергия k и турбулентното разсейване ϵ .

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (4.9)$$

Тук f_μ е турбулентен фактор на вискозитета. Тя се определя от израза

$$f_\mu = \left[1 - \exp(-0.0165 R_y) \right]^2 \cdot \left(1 + \frac{20.5}{R_T} \right) \quad (4.10)$$

$$R_T = \frac{\rho k^2}{\mu \epsilon} \quad , \quad R_y = \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu} \quad (4.11)$$

Където, y е разстоянието от стената. Тази функция ни позволява да вземем предвид ламинарен турбулентен преход.

Две допълнителни транспортни уравнения се използват за описание на турбулентната кинетична енергия и разсейване,

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + S_k , \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + S_\varepsilon , \quad (4.13)$$

където изходните условия S_k и S_ε се дефинират като:

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_t P_B \quad (4.14)$$

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(f_1 \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B \right) - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k} . \quad (4.15)$$

Тук P_B представлява генерирането на турбулентност, дължащо се на способност за задържане на повърхността и може да бъде написано като:

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (4.16)$$

Където g_i е компонентът на гравитационното ускорение в посока x_i , константа $\sigma_B = 0.9$, и константа C_B дефинирана като $C_B = 1$, където $\dot{P}_B > 0$ и 0 в противен случай:

$$f_1 = 1 + \left(\frac{0.05}{f_\mu} \right)^3 , \quad f_2 = 1 - \exp(-R_T^2) \quad (4.17)$$

Константите C_μ , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, σ_k , σ_ε се определят емпирично. Във Flow Simulation се използват следните стойности:

$$C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_\varepsilon = 1.3, \quad \sigma_k = 1 \quad (4.18)$$

Където числото на Lewis $Le=1$, дифузионният топлинен поток се определя като:

$$q_i = \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) \frac{\partial h}{\partial x_i}, i = 1, 2, 3. \quad (4.19)$$

Тук константата $\sigma_c = 0.9$, Pr е числото на Prandtl и h е топлинна енталпия.

Тези уравнения описват ламинарни и турбулентни потоци. Освен това са възможни преходи от един случай на друг и обратно. Параметрите k и μ_t са нула за чисто ламинарни потоци.

4.1.3 Потоци в порести тела

- Общ подход - порестите тела се разглеждат в Flow Simulation като разпределени съпротивления към флуидния поток. Ако опцията за топлопроводимост в твърдо състояние е включена, се изчислява и преносът на топлина между порестата твърда матрица и течността, която протича през нея. Поради това, порестата матрица действа върху течността, която протича през нея през S_j , S_{ji} , и (ако се взема предвид топлинната проводимост в твърдите вещества) Q_H то:

$$S_i^{porous} = -k \delta_{ij} \rho u_j, \quad (4.20)$$

$$Q_H^{porosity} = \gamma \cdot (T_p - T) \quad (4.21)$$

Където k е където k е резистентният вектор на порьозната среда, γ е потребителски дефиниран коефициент на топлопренасяне на обемна пореста матрица / течност, който може да зависи от скоростта на потока, T_p е температурата на порьозната матрица. Те температурата на течността, протичаща през матрицата, а другите означения са дадени в точка 3.1.2.

В допълнение, плътността на течностите в уравнения в точка 3.1.2. се умножава с порьозността p на порьозната среда, която е обемната фракция на взаимосвързаните пори по отношение на общия обем на средата. В използвания порьозен модел на средата, турбулентността изчезва в пореста среда и потокът става ламинарен.

За да се направи изчисление в Flow Simulation, трябва да се определи следните свойства на порестата среда: ефективната порьозност на порестата среда, определена като обемната фракция на взаимосвързаните пори по

отношение на общия обем на средата. По-късно, типът на пропускливостта на порестата среда трябва да бъде избран измежду следните:

- изотопична (т.е. средната пропускливост е независима от посоката)
- еднопосочно (т.е. средата е пропусклива само в една посока)
- осово иметрична (т.е. средната пропускливост е изцяло управлявана от нейните аксиални и напречни компоненти по отношение на определена посока)
- ортотропичен (т.е. общият случай, когато пропускливостта на средата варира в посока и се управлява изцяло от нейните три компонента, определени по три основни посоки).

След това се определят някои константи, необходими за определяне на устойчивостта на порестата среда към флуидния поток, т.е. вектор k дефинират като $k = - \text{grad}(P) / (\rho \cdot V)$, където P , ρ , и V са налягането на флуида, плътността и скоростта и се изчислява съгласно една от следните формули:

- $k = \Delta P \cdot S / (m \cdot L)$ - където ΔP е разликата в налягането между противоположните страни на паралелепипедно поресто тяло, m е масов поток през тялото, S и L са площта и дължината на напречното сечение на тялото в избраната посока. Може да се определи ΔP като функция на m , където S и L са константи. Вместо масов поток може да се дефинира и обемен поток v , като в този случай се изчислява $m = v \cdot \rho$. Всички тези параметри не определят порьозното тяло за изчисление, а само съпротивлението k .
- $k = (A \cdot V + B) / \rho$ - където V е скоростта на флуида, A и B са константи, ρ е плътността на флуида. Тук само A и B са определени, а V и ρ се изчисляват.
- $k = \mu / (\rho \cdot D^2)$, - където μ и ρ са динамичен вискозитет и плътност, D е референтен размер на порите, определен експериментално. Тук D е определен, а μ и ρ се изчисляват.
- $k = \mu / (\rho \cdot D^2) \cdot f(Re)$, разликата тук от предишната формула е фактор $f(Re)$ и се дава по общо формулиране.

Посоченият референтен размер на порите също се използва за изчисляване на разсейването на турбуленцията след порестата среда. В случая на първите две формули, посоченият размер на порите се използва за изчисляване на разсейването на турбуленцията само след порестата среда. По подразбиране

е настроено на 0.00001 м.. За да се опише определено поресто тяло, трябва да се посочи както тялото в модела, така и ако порестата среда има еднопосочна или осиметрична пропускливост и референтните посоки в порестия корпус.

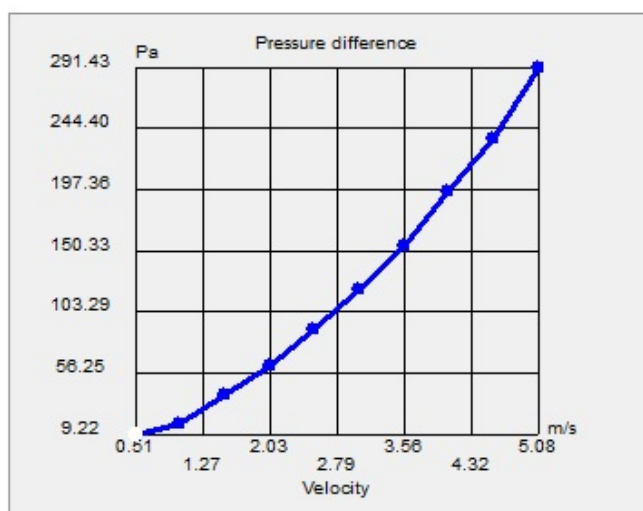
В настоящето изследване е избран филтър MERV 15 {23} със следните параметри/пад на налягане в зависимост от скоростта на потока/:

2" nominal MERV 15 Media

Property:

Pressure drop vs. velocity

Velocity	Pressure difference
0.508 m/s	9.216293 Pa
1.016 m/s	17.43623 Pa
1.524 m/s	38.608795 Pa
2.032 m/s	62.27225 Pa
2.54 m/s	89.67204 Pa
3.048 m/s	120.808165 Pa
3.556 m/s	154.43518 Pa
4.064 m/s	195.534865 Pa
4.572 m/s	236.63455 Pa
5.08 m/s	291.43413 Pa



4.1.4 Двухфазни потоци (флуид + частици) {23}

Flow Simulation изчислява двухфазови потоци като движение на сферични течни частици (капчици) или сферични твърди частици в равновесно състояние. Симулацията на потока може да симулира само разредени двухфазни потоци, където влиянието на частиците върху потока на флуида (включително неговата температура) е незначително (например потоци от газове или течности, замърсени с частици). Обикновено в този случай скоростта на масовия дебит на частиците трябва да бъде по-ниска от около 30% от дебита на течната маса.

Частиците от определен (течен или твърд) материал и постоянна маса се приемат за сферични. Увеличащият им коефициент се изчислява по формулата на Хендерсън {24}, получена за континуум и редки, субзонни и

свръхзвукови, ламинарни, преходни и турбулентни потоци върху частиците и отчитайки температурната разлика между течността и частиците. Коефициентът на топлопредаване на частици / течности се изчислява с формулата, предложена в [25]. При необходимост се взема предвид тежестта. Тъй като масата на частиците се приема за постоянна, частиците, които се охлаждат или загряват от заобикалящата течност, променят размера си. Взаимодействието на частиците с повърхностите на модела се взема под внимание чрез определяне или на пълната абсорбция на частиците (това е типично за течните капчици, достигащи повърхности при ниски или умерени скорости), или идеалното или неидеалното отблъскване (това е типично за твърдите частици). Идеалното отблъскване означава, че в наклонената равнина дефинирана от вектора на скоростта на частиците и повърхността нормална в точката на натиск, компонентът на скоростта на частиците, допирателна към повърхността, се запазва, докато компонентът на скоростта на частиците, нормален към повърхността, променя своя знак. Неидеалното отблъскване се определя от коефициентите за отблъскване на две частици, e_n и e_τ , стойностите на скоростта на частиците на тези компоненти след отблъскване, $V_{2,n}$ и $V_{2,\tau}$, като съотношение към тези преди удара $V_{1,n}$ и $V_{1,\tau}$.

$$e_n = \frac{V_{2,n}}{V_{1,n}} \quad e_\tau = \frac{V_{2,\tau}}{V_{1,\tau}} \quad (4.22)$$

В резултат на ударите на частиците в повърхността на твърдо тяло, обща ерозионна маса, $R_{\Sigma erosion}$, и степента на натрупване $R_{\Sigma accretion}$, се определят от:

$$R_{\Sigma erosion} = \sum_{i=1}^N \int_{M_{pi}} K_i \cdot V_{pi}^b \cdot f_{1i}(\alpha_{pi}) \cdot f_{2i}(d_{pi}) d\dot{m}_{pi} \quad (4.23)$$

$$R_{\Sigma accretion} = \sum_{i=1}^N M_{pi} \quad (4.24)$$

Където:

N е броят на фракциите частици, определени от потребителя като инжекции /injections/ в Flow Simulation (потребителят може да определи няколко фракции частици, наричани също инжекции, така, че свойствата на частиците при входа, т.е. температура, скорост, диаметър, масов дебит и

материал, да са постоянни в рамките на една фракция), i - е номерът на фракцията, M_{pi} е масата, удряща стените на модела аз единица време за фракцията на i -тата частица,

K_i е коефициентът на ерозия, определен от потребителя за i -тата частична фракция,

V_{pi} - е скоростта на удар за фракцията на i -тата частица,

b - специфициран от потребителя компонент (препоръчителна стойност 2)

$f1_i(\alpha_{pi})$ - е зададената от потребителя бездимензионна функция на ъгъла на удар на частиците α_{pi} ,

$f2_i(d_{pi})$ - е зададената от потребителя бездимензионна функция на диаметъра на частиците d_{pi}

4.1.5 Условия за симулация на вътрешен поток

За вътрешните потоци, т.е. потоците вътре в моделите, Flow Simulation предлага следните две опции за определяне на параметрите на потока: ръчно при входовете и изходите на модела (т.е. отворите на моделите) или да ги определи чрез прехвърляне на получените резултати от друга симулация в същата координатна система (ако е необходимо, изчислението може да се извърши с друг модел, единственото изискване е районите на потока при границите да съвпадат). При първата опция всички отвори на модела се класифицират като отвори за „налягане“, отвори за „поток“ и отвори за „вентилатор“ в зависимост от параметрите на симулацията.

- Отвор за „налягане“ – тук може да се зададе статично налягане, общо налягане, или налягане на околната среда - когато не се знае посоката на потока. Задава се този параметър, който се знае. В повечето случаи статичното налягане не се знае. Налягането на околната среда се определя Flow Simulation като общото налягане за влизащите потоци и като статично налягане за излизащи потоци.
- Отвор „поток“ - тук се задават параметри като масов/обемен поток посока или скорост.
- Отвор „вентилатор“ – тук се задават параметри симулиращи инсталиран вентилатор. Връзката между количество поток и пад на налягането се описват на отвора.

4.1.6 Параметри на стената

В Flow Simulation стандартните параметри за твърда стена съответстват на т.н. условие „без приплъзване“. Твърдата стена също е непропускаща. В

допълнение могат да се зададат параметри на повърхността като преместване или ротация/завъртане/без да се променя геометрията на модела/. Flow Simulation също така осигурява условието "Идеална стена", което съответства на добре познатото условие за приплъзване. Например, идеалните стени могат да бъдат използвани за моделиране на равнини на симетрия на потока.

4.1.7 Числено определяне

Численото определяне във Flow Simulation е надеждно дори и при потребители с неголям стаж в подготовката на мрежата на модела /mesh/.

Накратко, Flow Simulation решава управляващите уравнения с цифрова техника, базирана на метода на крайния обем (FV). Използва се декартовата правоъгълна координатна система. За да се постигне запълване на пространството, правоъгълната решетка ориентирана към оста се използва на разстояние от геометричната граница. Така, контролните обеми (т.е. мрежести клетки) са правоъгълни паралелепипеди. В близост до геометричната граница се използва картезиански подрязани клетки. Съгласно този подход, близката гранична мрежа се получава от оригиналната картезианска чрез разрязване на оригинални паралелепипедни клетки, които пресичат геометрията. Следователно близките гранични клетки са многостенни с осово ориентирани или произволно ориентирани плоски равнини. По този начин Flow Simulation комбинира предимствата на подходите базирани на стандартни мрежи, и такива с високо точно представяне на геометричните граници.

4.1.8 Траектория на частиците в еднородни потоци

Нека сега разгледаме способността да предсказваме траекториите на частици в газовия поток (т.е. двуфазен поток от флуид + течни капки или твърди частици).

В съответствие с модела за движение на частиците, приет в Flow Simulation, траекторията на частиците се изчислява след завършване на изчисляването на потока на флуида (който може да бъде стабилен или зависим от времето). Това означава, че масовите и обемните дебити на частиците се приемат значително по-ниски /мин.30%/ от тези на флуидния поток, така че

влиянието на движенията и температурите на частиците върху параметрите на флуидния поток е незначително и движението на частиците се подчинява на следното уравнение:

$$m \frac{dV_p}{dt} = - \frac{\rho_f (V_f - V_p) \cdot |V_f - V_p|}{2} C_d A + F_g \quad , \quad (4.25)$$

Където m – маса на частиците, t – времето, V_p и V_f са скоростта на частиците и флуида /вектори/, ρ_f е плътността на флуида, C_d е коефициентът на увличане на частиците, A - повърхност на частиците и F_g е гравитационната сила.

Частиците се приемат като не-въртящи се сфери с постоянна маса и специфициран (твърд или течен) материал, чийто драг коефициент се определя от полу-емпиричната формула на Хендерсън {4.24}. При много малка скорост на частиците по отношение на носещия флуид (т.е., при относителната скорост число на Mach на $M \rightarrow 0$) тази формула става

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{4.12}{1 + 0.03 \cdot Re + 0.48 \sqrt{Re}} + 0.38 \quad (4.26)$$

Където числото на Рейнолдс се дефинира от:

$$Re = \frac{\rho_f |V_f - V_p| d}{\mu} \quad , \quad (4.27)$$

d - диаметър на частиците, μ - динамичен вискозитет на потока

4. Симулационно моделиране

Ще бъдат разгледани и сравнени три симулации – 1 - Симулация с общи условия /без врата и филтър/ и 2 - симулация с врата и с филтърни елементи.

4.1.9 Параметри за симулационно моделиране

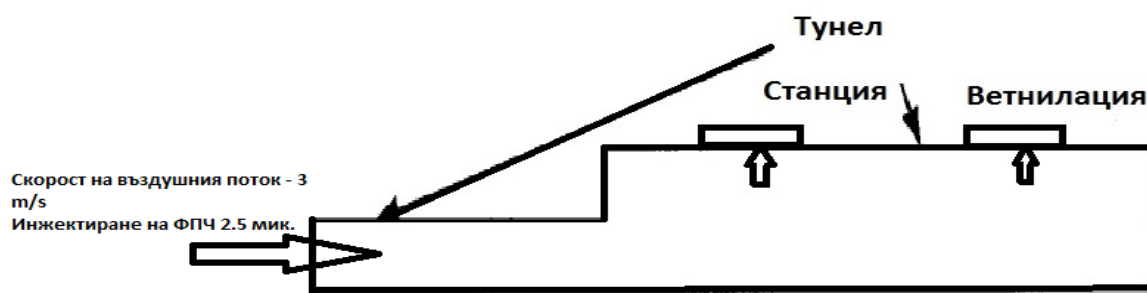
В Таб. 4.1. са дадени параметрите на модела.

Площ на напречно сечение на тунела	24,395 m ² = 5,950 m×4,100 m.{27}
Площ на напречно сечение на вентилационна шахта	24,395 m ² = 5,950 m×4,100 m
Площ на напречно сечение на влака	10,1 m ² = 3,12 m×3,25 m {4.27}
Площ на филтър	12,0 m ²
Площ врата	12,0 m ²
Скорост на въздушния поток при изход тунел след вентилационна шахта	3.0 m/s {4.26}
ФПЧ	2.5 μm
Вентилатор	ВОМД-24, 55 m ³ /s {4.26}
Скорост на въздушния поток преди вентилационна шахта	8.7 m/s {4.6}

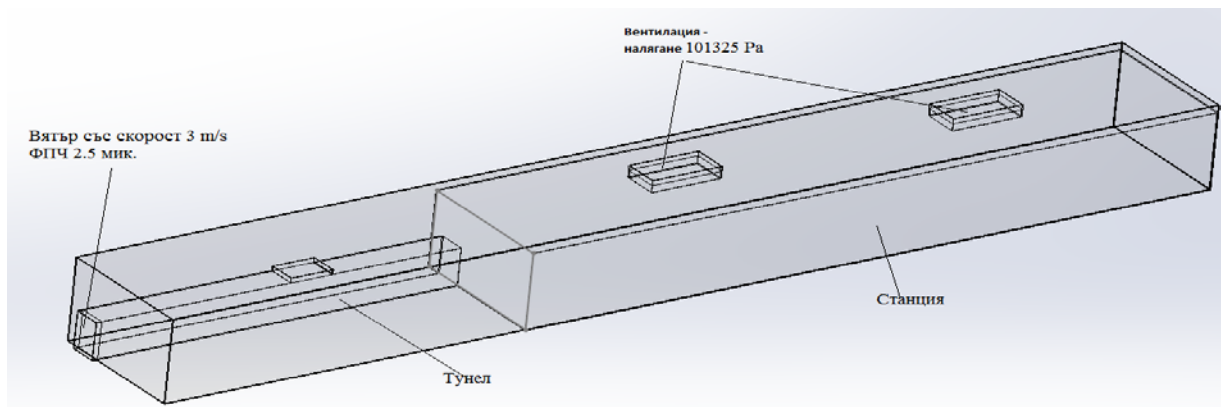
Таблица 4.1. Параметри на численото изследване

4.2 Симулация с общи условия /без врата и филтърни тела/ -модел 1

Симулацията при общи условия е извършена с въздух със скорост 3 m/s и инжектиране на ФПЧ 2.5 μm. Фиг.46 а и б.. Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС.



а)

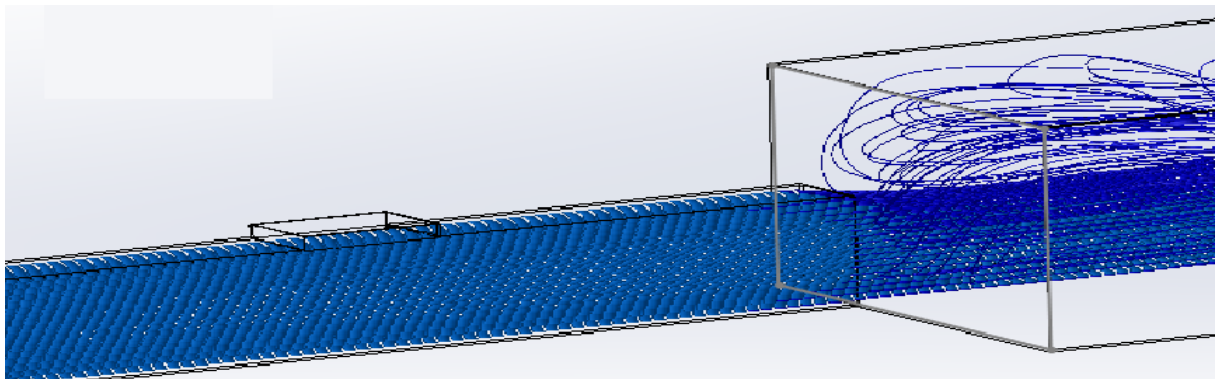


б)

Фиг. 46 Симулация на тунел с въздушен поток, а) двуизмерен чертеж, б) триизмерен модел

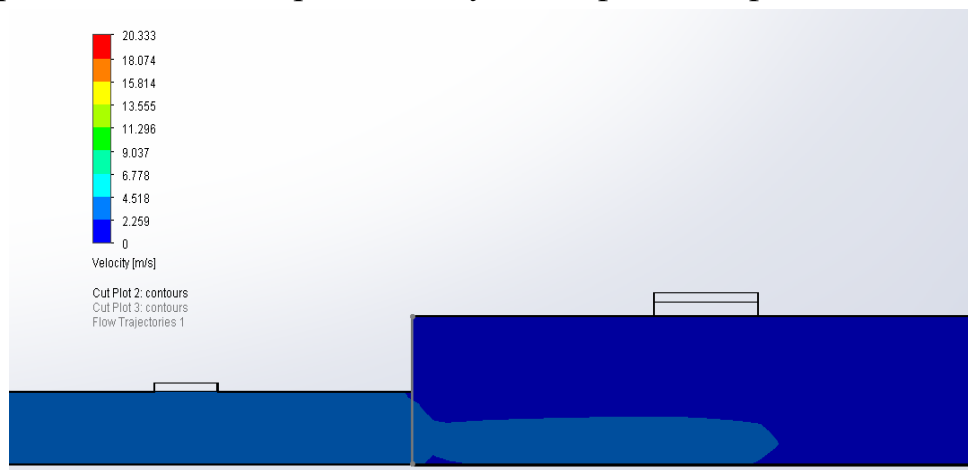
4.2.1 Резултати модел 1

- Траектория на потока - фиг. 47

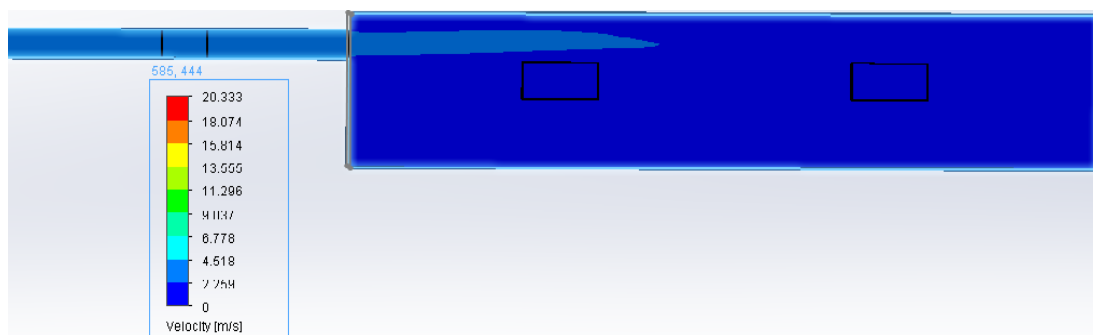


фиг. 47 Симулация на въздушния поток в тунела

- Скорост на потока /в средата на тунела - фиг. 48а, фиг. 48б

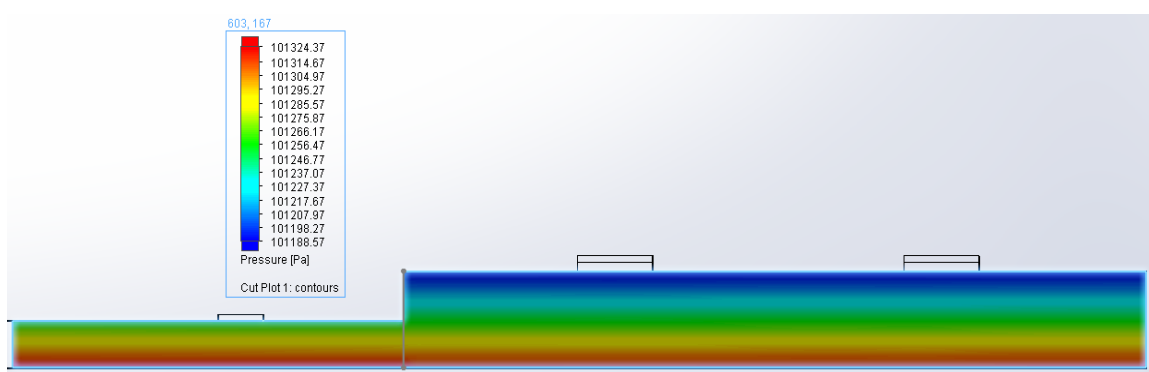


а)

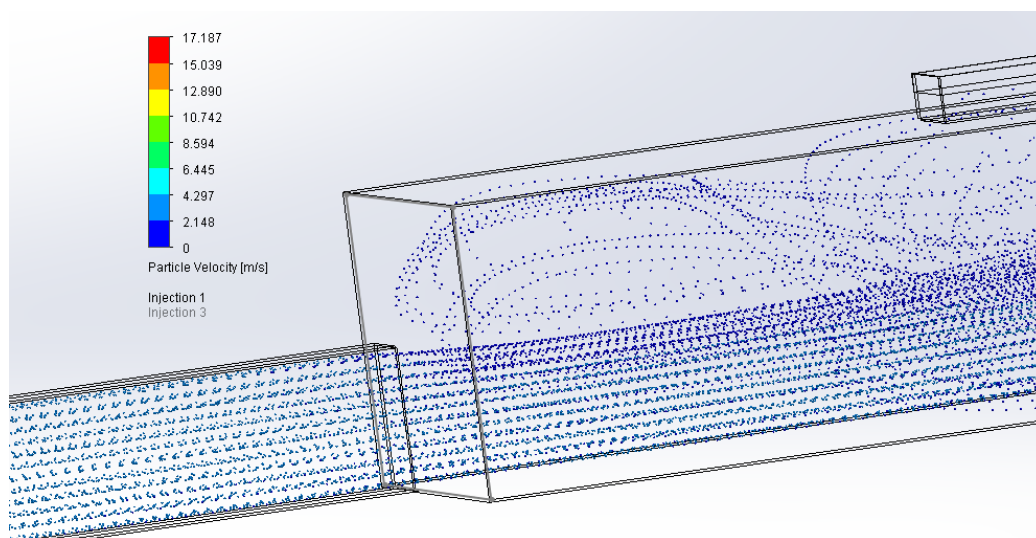


б)

фиг. 48 а) Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на б)
Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела



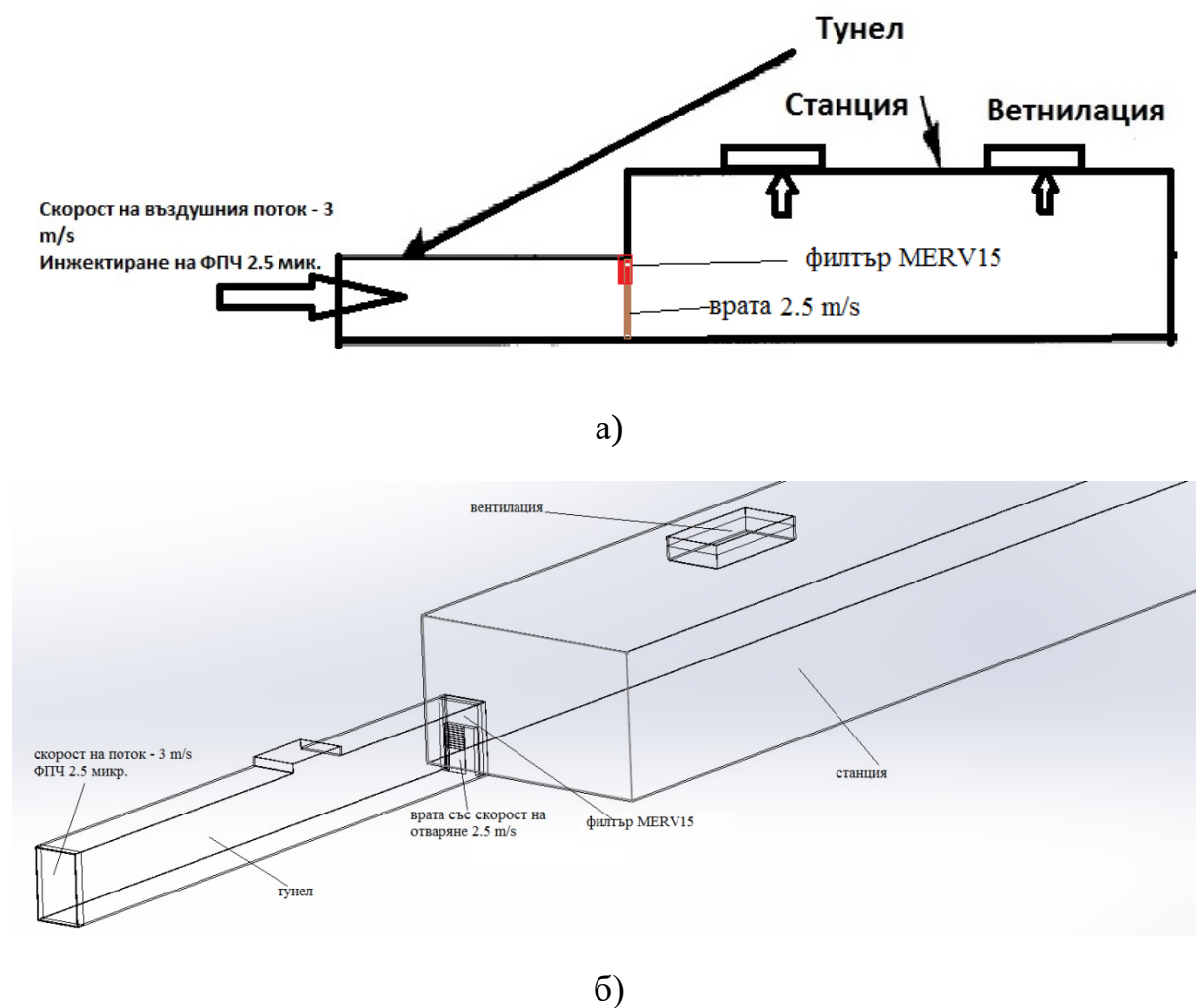
фиг. 49 Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела



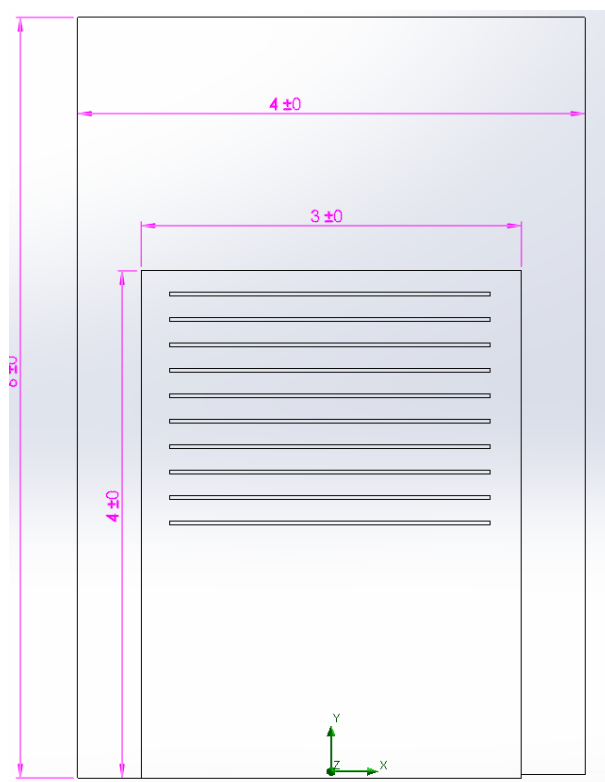
фиг. 50 Скорост на фини прахови частици 2.5 μm

4.3 Симулация с монтирана врата и филтри MERV15 – модел 2

Симулацията с монтирана врата и филтър /фиг.52/ е извършена с въздух със скорост 3 m/s {26} и инжектиране на ФПЧ 2.5 μm . Фиг.51 а и 51 б.. Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС.

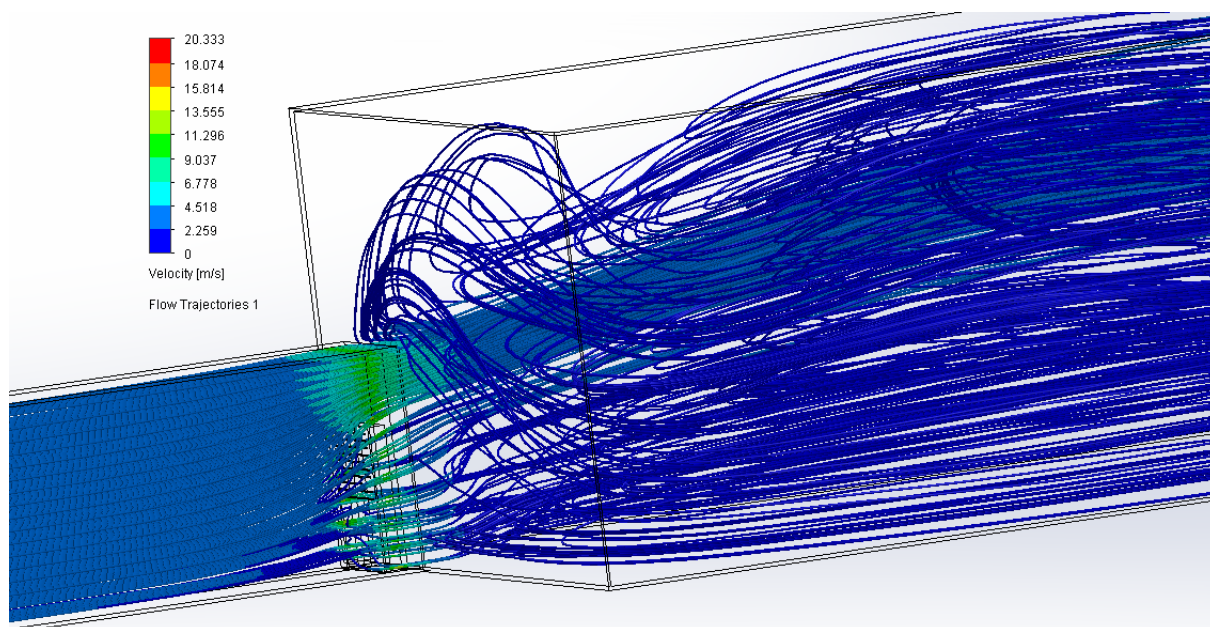


Фиг.51 Симулация на тунел с въздушен поток с монтирана врата и филтър,
а) двуизмерен чертеж, б) триизмерен модел

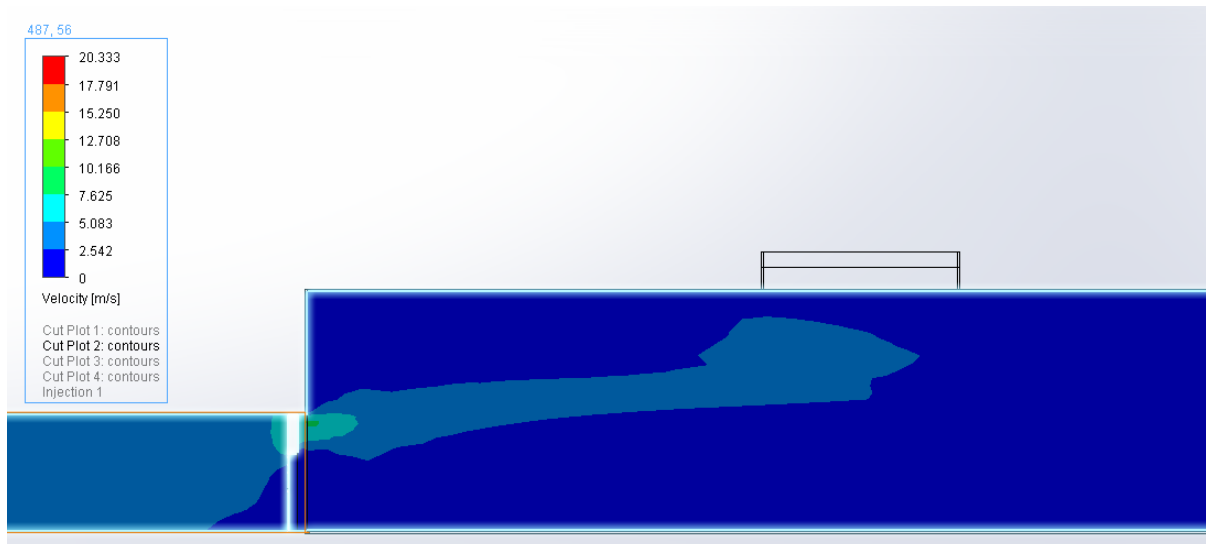


фиг.52 Монтажен чертеж на вратата с филтър

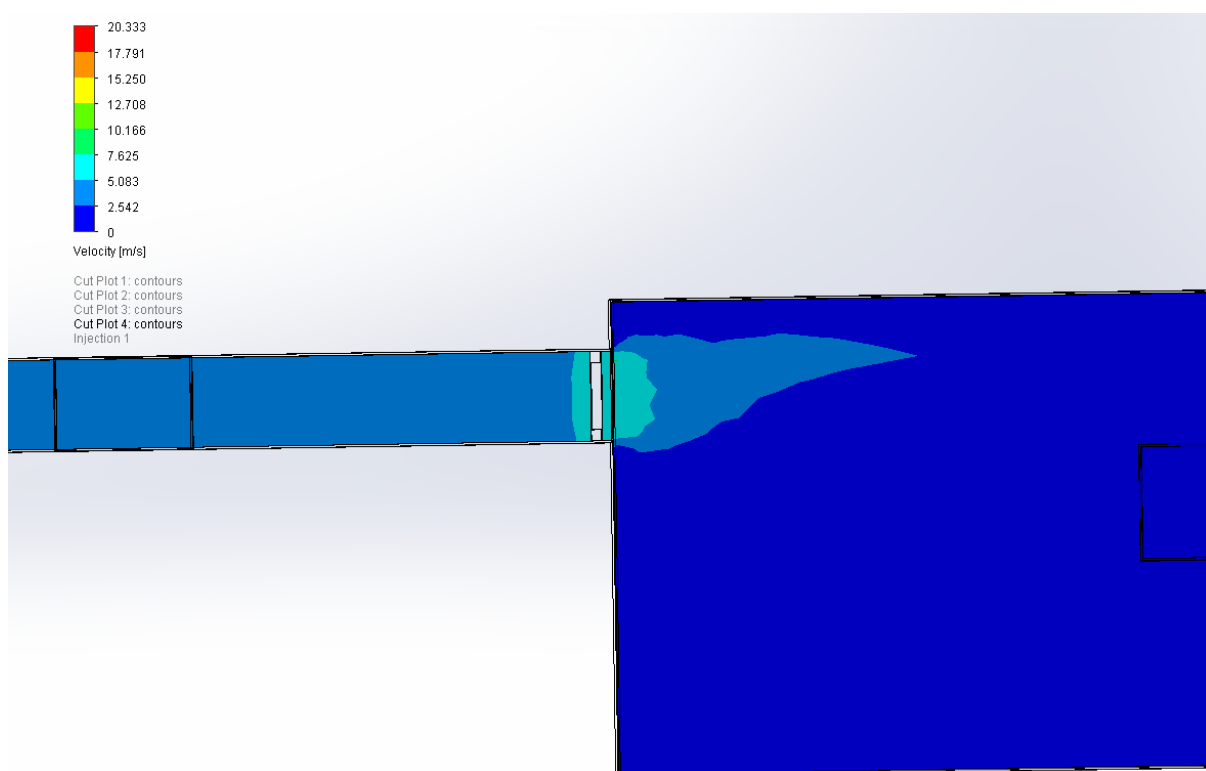
4.3.1 Резултати модел 2



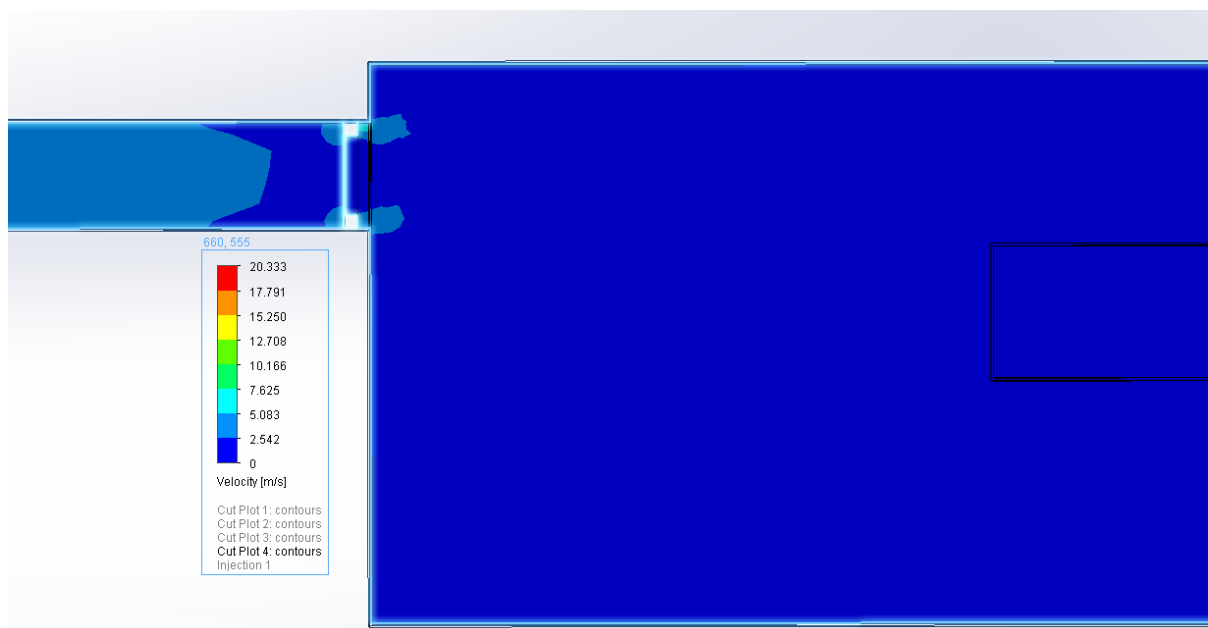
фиг. 53 Траектория на потока



a)

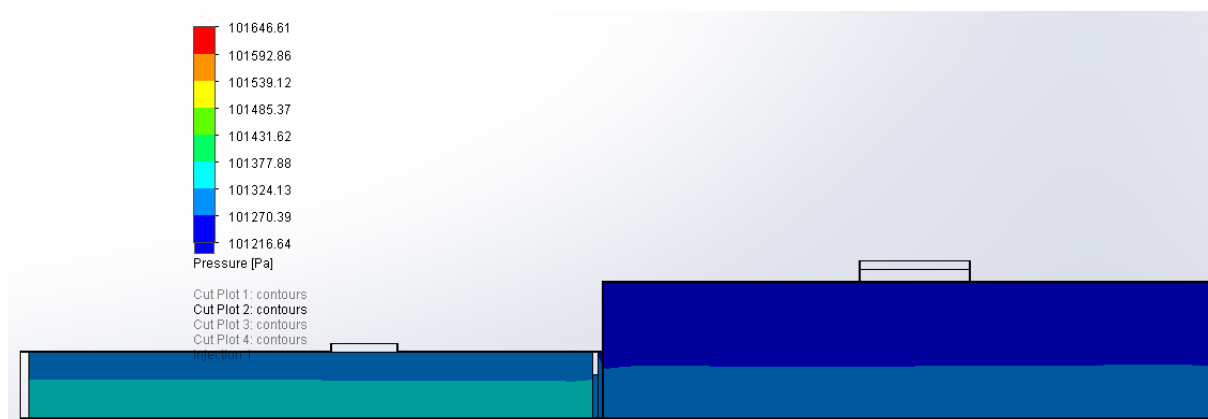


b)

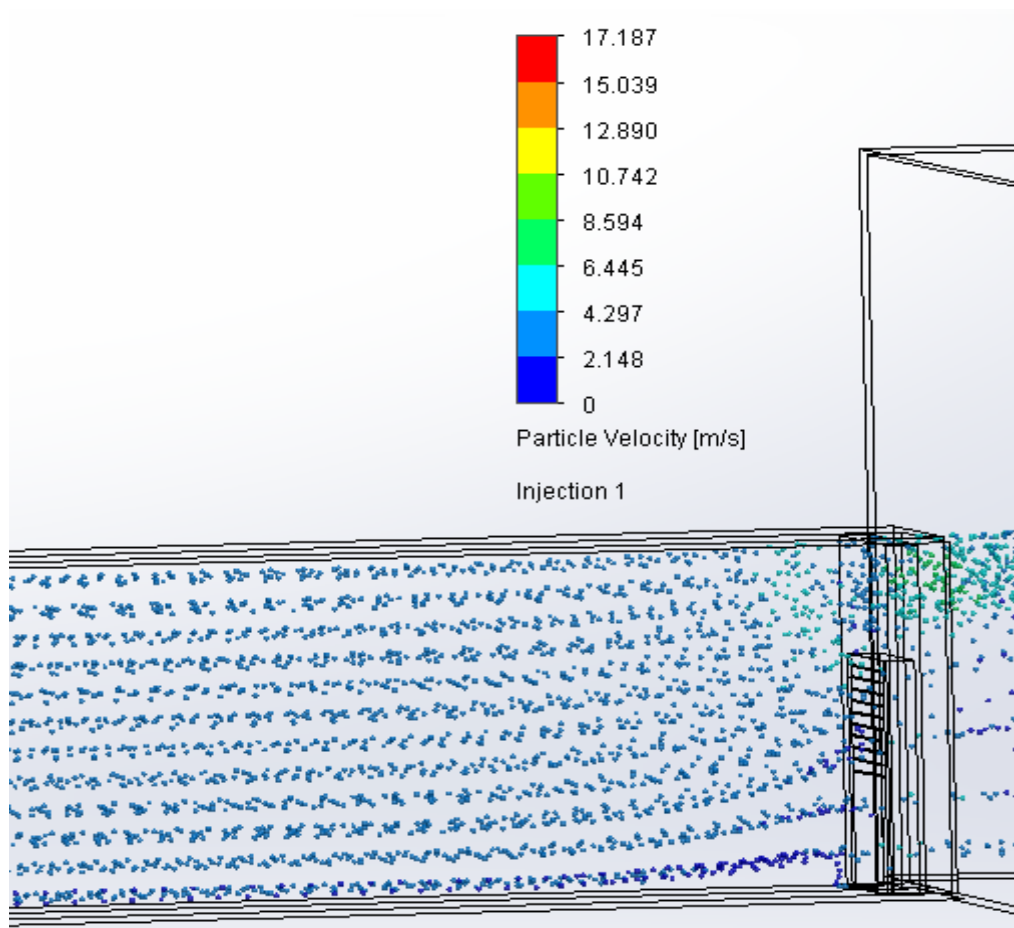


в)

фиг. 54 а) Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела, б) Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на филтъра, в) Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на вратата

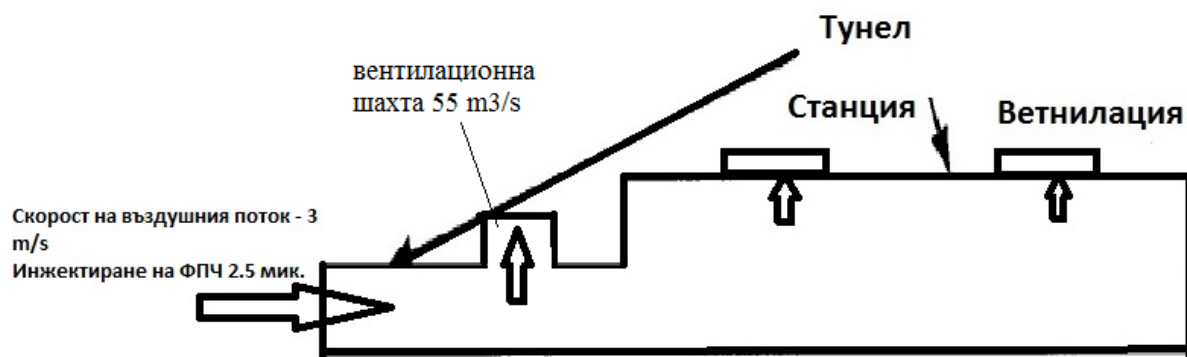


фиг. 55 Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела

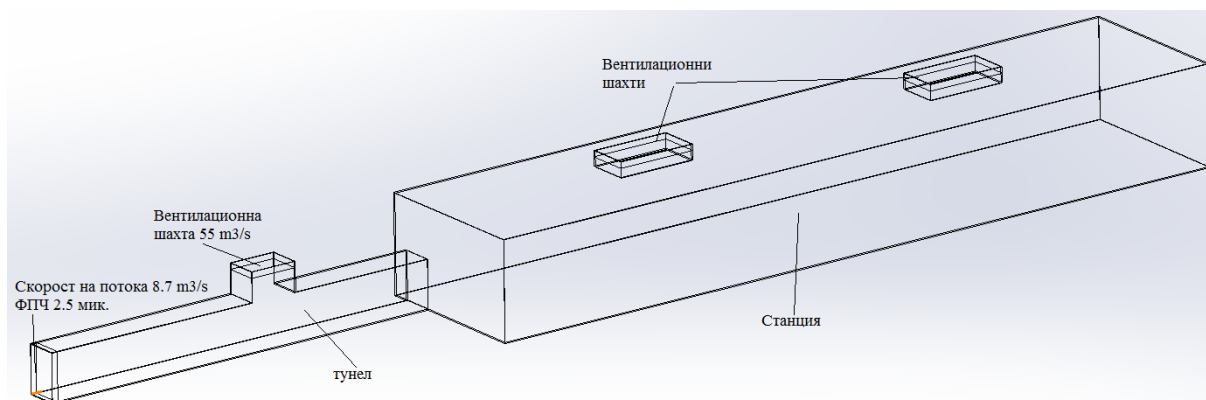


. фиг. 56 Скорост на фини прахови частици $2.5 \mu\text{m}$

4.4 Симулация извършена без монтирана врата и филтри - с включена вентилация - модел 3 за извеждане на топлина и замърсители /55 m³/s, вентилатор ВОМД-24/ {26} и инжектиране на ФПЧ $2.5 \mu\text{m}$. Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС Фиг.57 а и 57 б... – модел 3



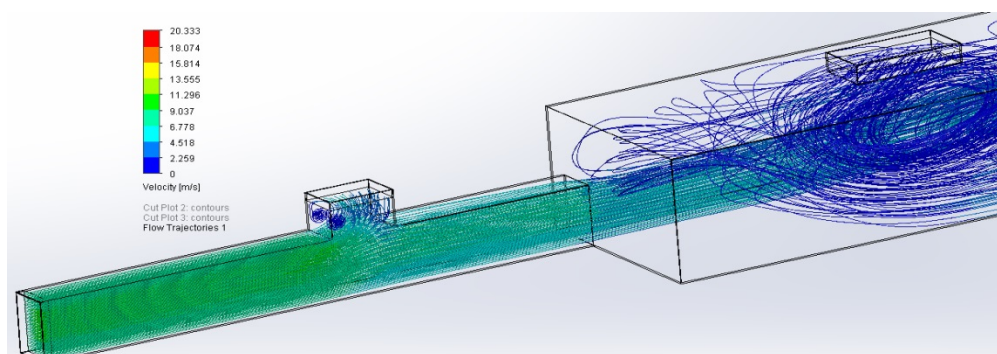
а)



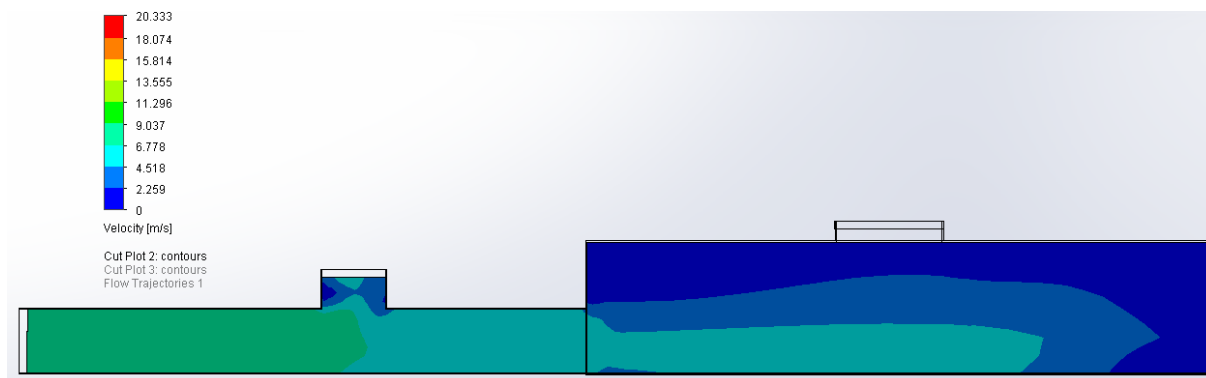
б)

Фиг.57 Симулация на тунел с въздушен поток без монтирана врата и филтър, а) двуизмерен чертеж, б) триизмерен модел

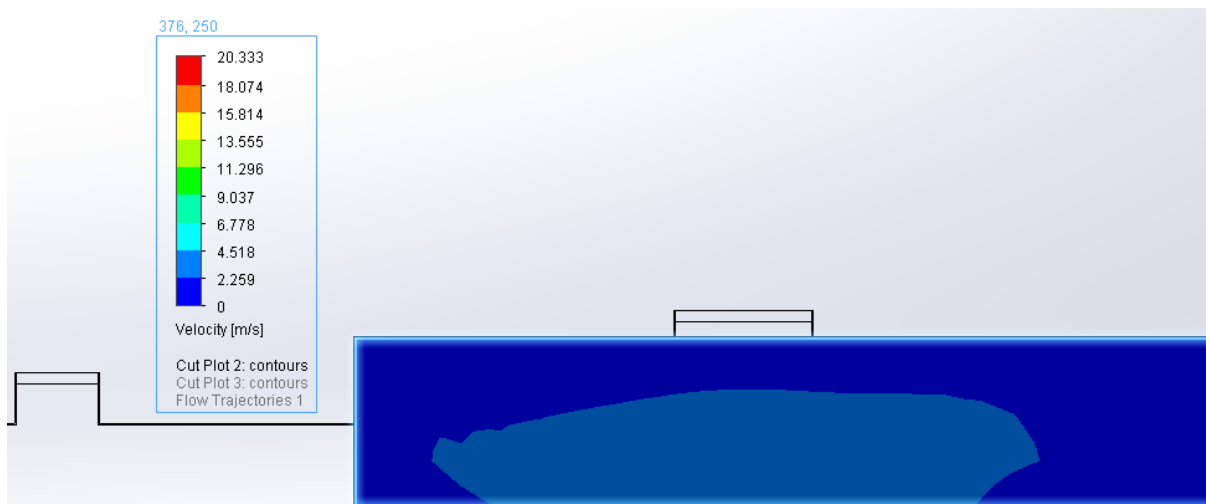
4.4.1 Резултати модел 3



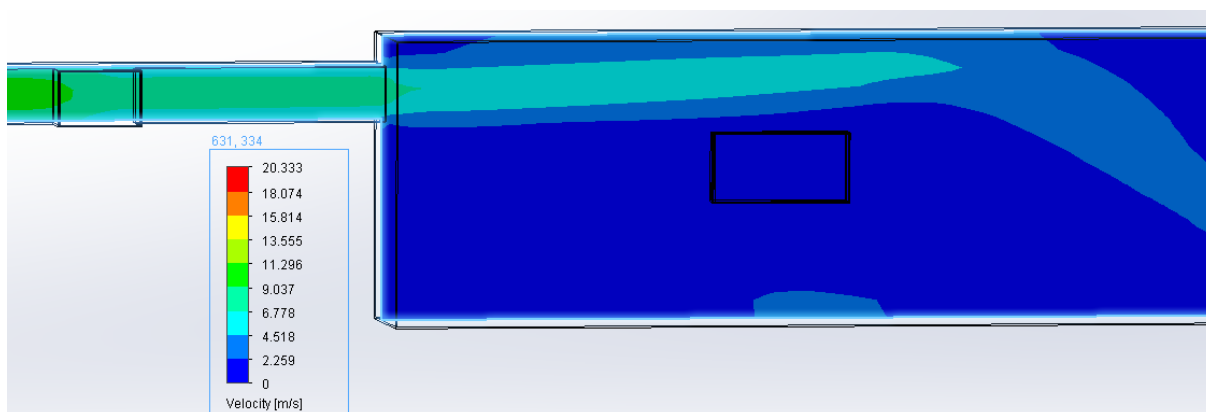
фиг. 58 Траектория на потока



а)

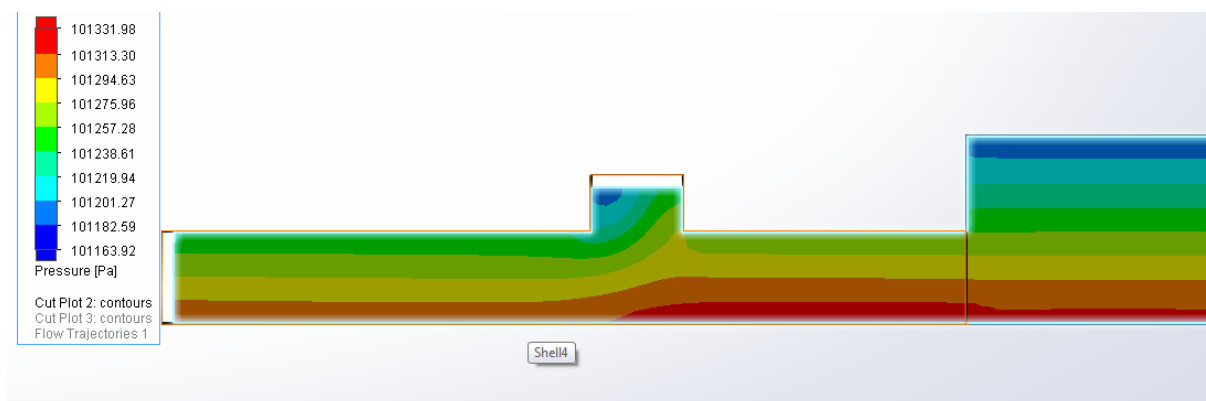


б)

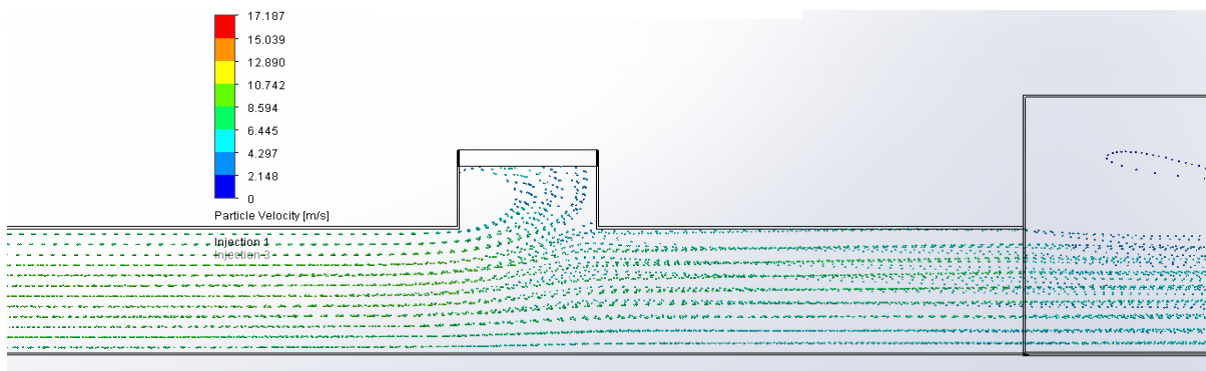


в)

фиг. 59 а) Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела б) Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела върху платформата в) Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела

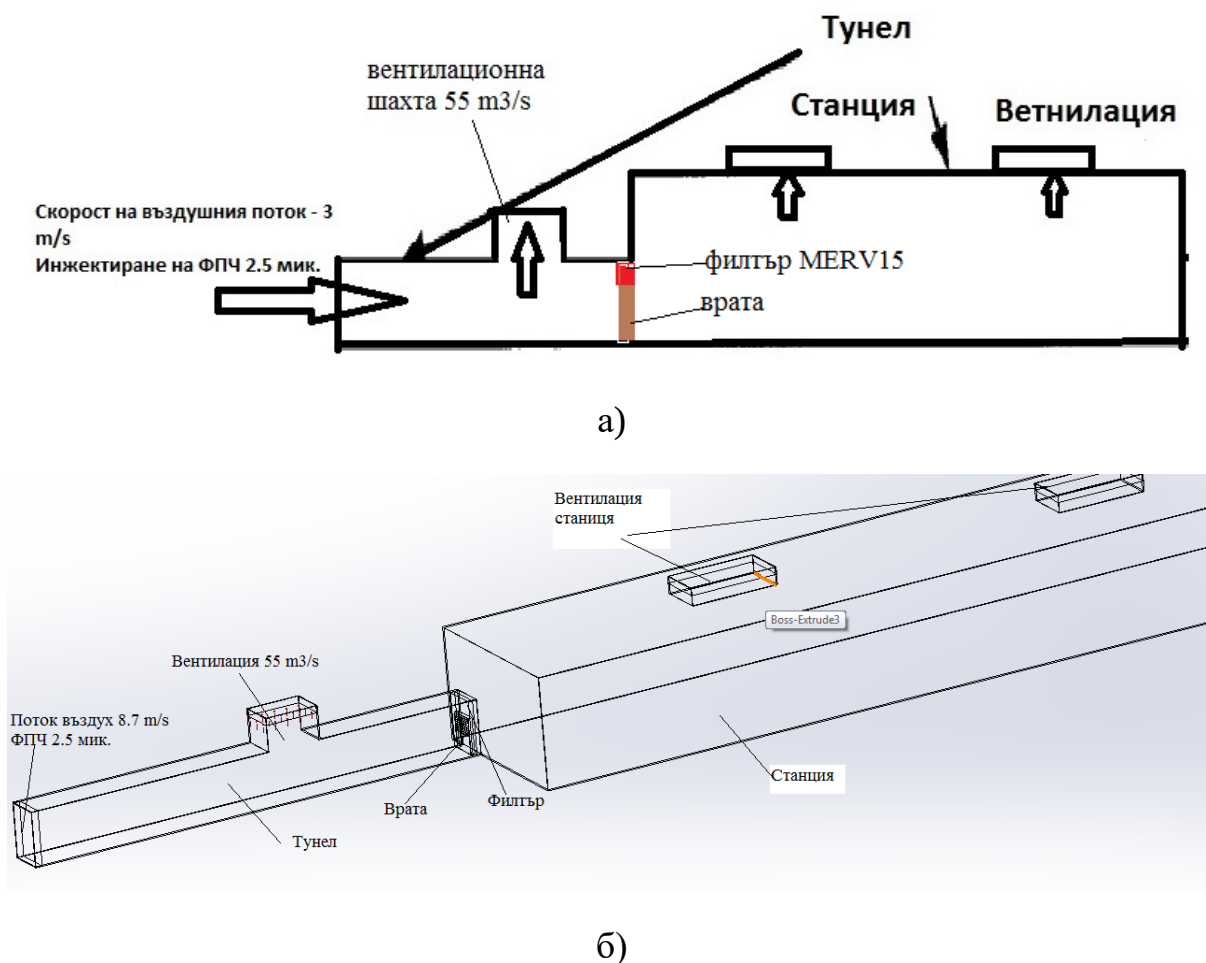


фиг. 60 Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела



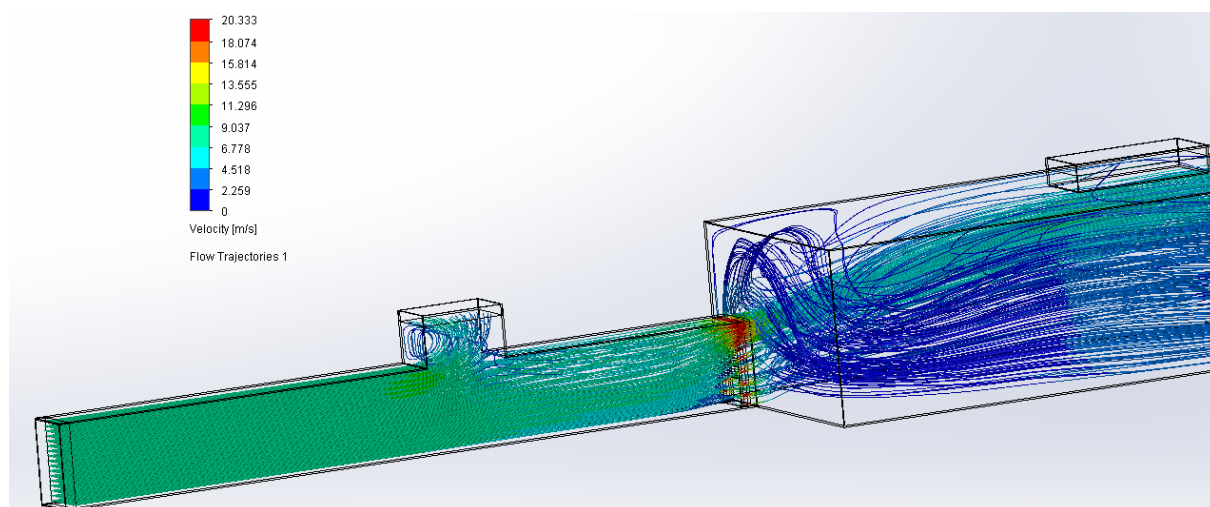
фиг. 61 Скорост на фини прахови частици 2.5 μm

4.5 Симулация извършена с монтирана врата и филтри и с включена вентилация – модел 4 за извеждане на топлина и замърсители /55 m³/s, вентилатор ВОМД-24/ {26} и инжектиране на ФПЧ 2.5 μm . Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС Фиг.62 а и 62 б.

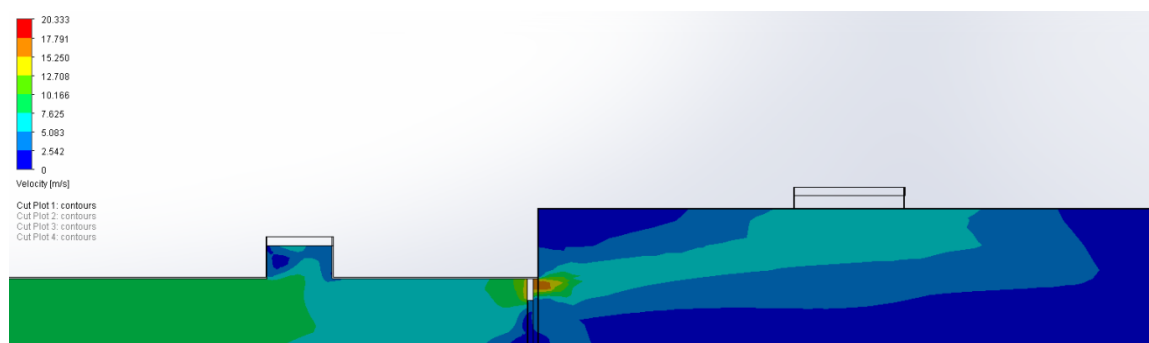


Фиг.62 Симулация на тунел с въздушен поток с монтирана врата и филтър,
а) двуизмерен чертеж, б) триизмерен модел

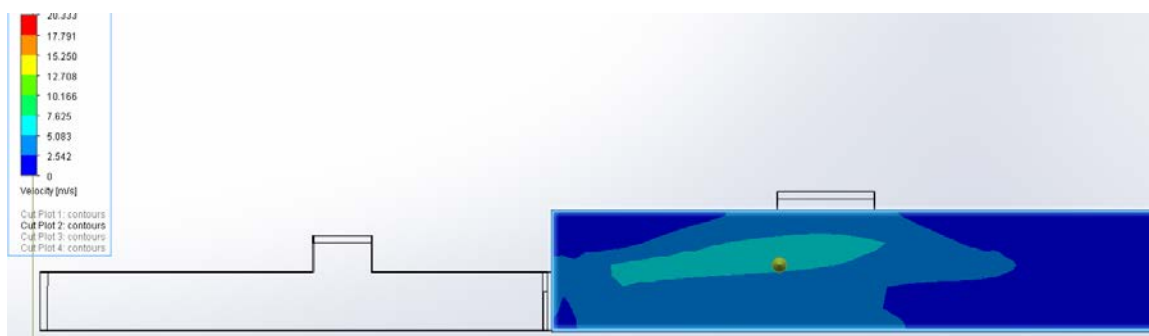
4.5.1 Резултати модел 4



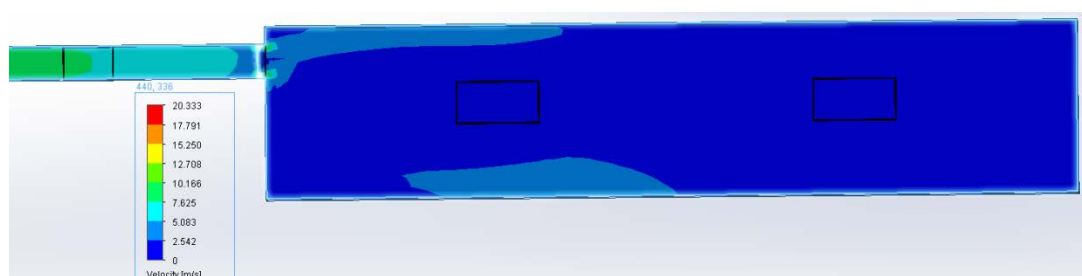
фиг. 63 Траектория на потока



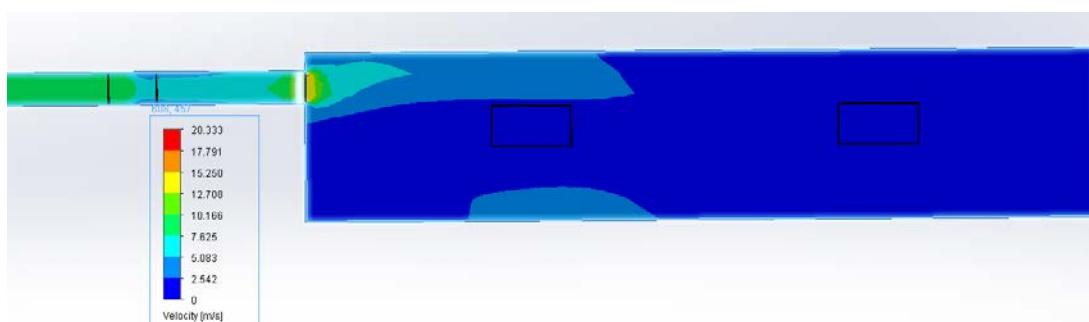
a)



б)

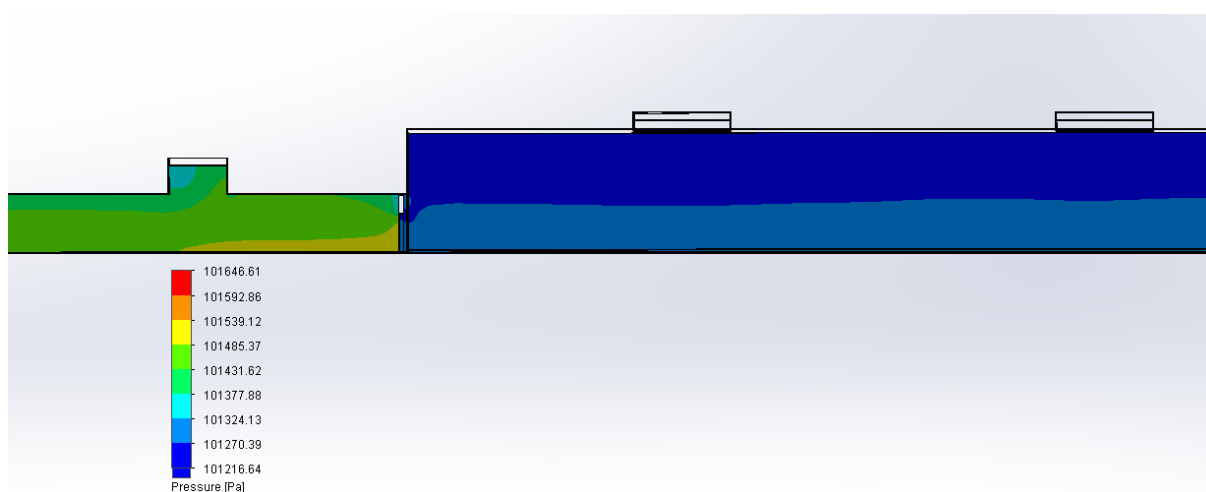


в)

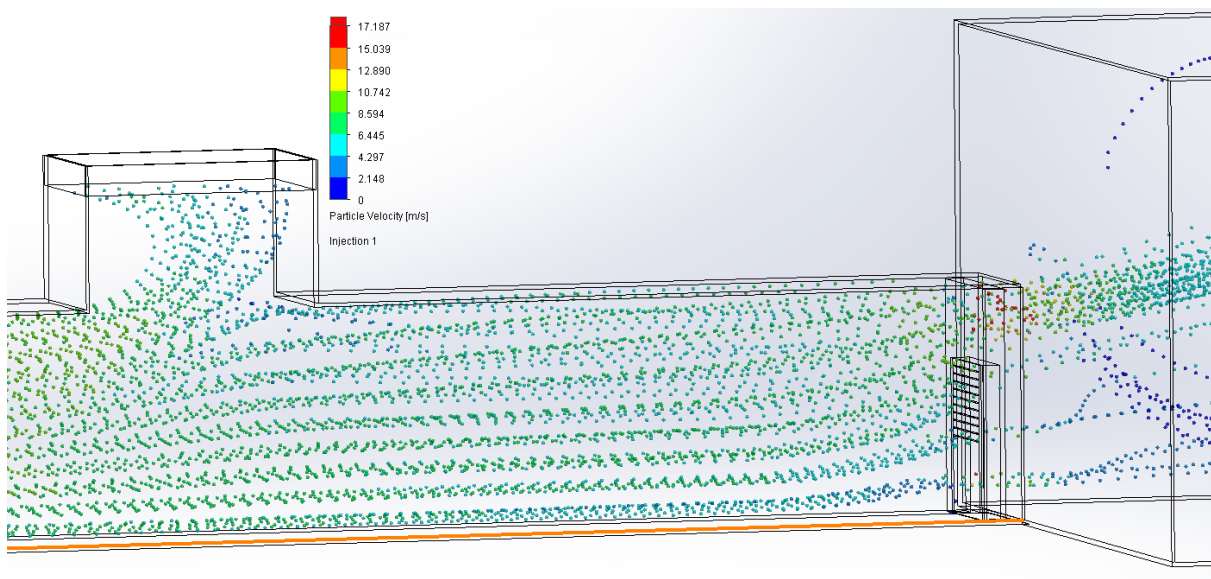


г)

фиг. 64 а) Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела измерена в средата на тунела б) Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела върху платформата в) Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на вратата г) Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на филтъра

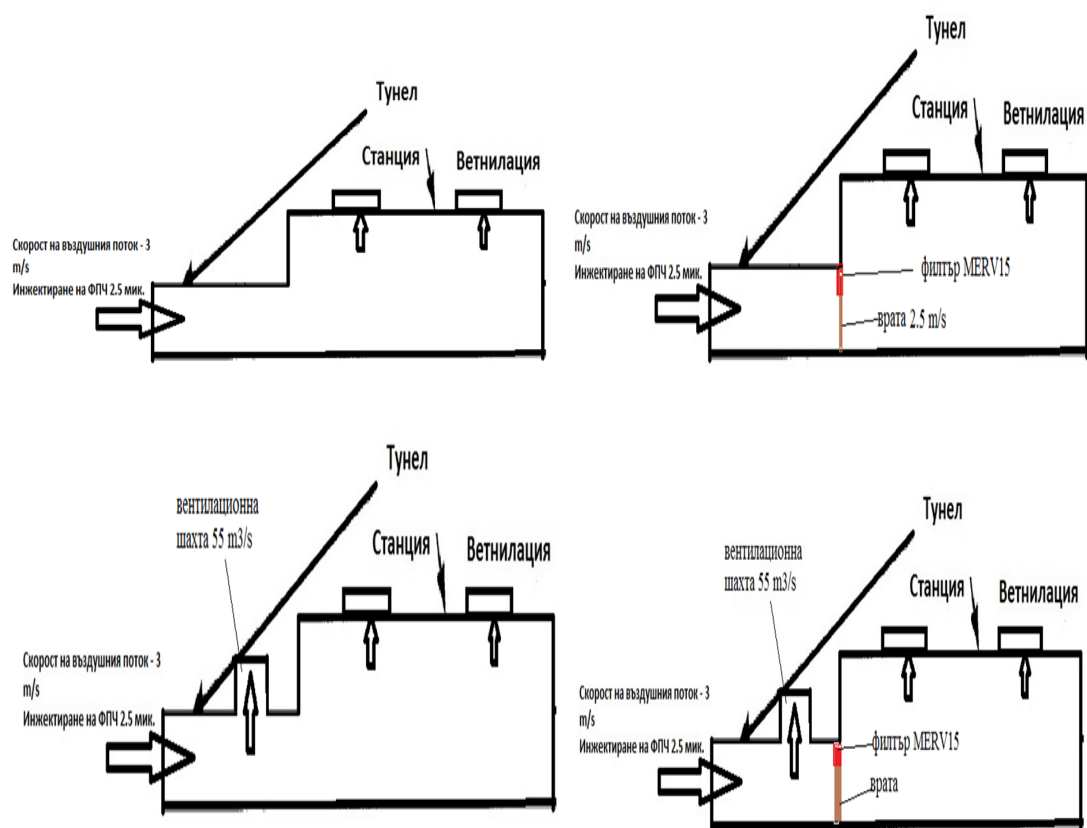


фиг. 65 Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела



фиг. 66 Скорост на фини прахови частици $2.5\ \mu\text{m}$

Глава 5. Сравнителен анализ на 4-те модела



фиг. 67 Сравнителен анализ на 4-те модела

Модел	Обем въздух излизащ през вентилационната шахта [m ³ /s]	Обем въздух излизащ през тунела [m ³ /s]	Количество частици навлизащи в станцията [%]	Количество частици излизащи през шахтата на тунела
Симулация с общи условия /без врата и филтърни тела/ и инжектиране на ФПЧ2.5	При този модел 100% от въздушния поток преминава през тунела и навлиза в станцията и тунелите без филтриране	201 m ³ /s	100%	-

Симулация с монтирана врата и филтри MERV15 инжектиране на ФПЧ2.5	При този модел 100% от въздушния поток преминава през филтъра и се филтрира	201 m3/s	0% - филтрира се 100% от въздуха /не са взети под внимание луфтове и технологични/ монтажни разстояния	-
Симулация извършена без монтирана врата и филтри и с включена вентилация за извеждане на топлина и замърсители (55 m3/s), и инжектиране на ФПЧ 2.5 µm	55 m3/s	146 m3/s	75% от частиците са филтрирани	25%
Симулация извършена с монтирана врата и филтри и с включена вентилация за извеждане на топлина и замърсители (55 m3/s), и инжектиране на ФПЧ 2.5 µm	55 m3/s	146 m3/s	75% от частиците са филтрирани	25%

Табл. 5. Сравнителен анализ на 4-те модела

5.1 Изводи: Резултатите от изследванията показват, че:

- **филтрирането на частиците по гореспоменатия метод ще доведе до самопочистване на тунелите от ФПЧ.**
- **Намаляването на електроенергията за вентилация, почистване и други свързани дейности също ще бъде значително, поради оползотворяване на енергия, която до този момент не е използвана.**
- **Предложеният дизайн разширява своите възможности в областта на пожарната безопасност, защита от терористични атаки, намаляване на времето за реагиране,**
- **Увеличава се времето за осъзнаване на аварийната ситуация и подобаващо реагиране и вземане на важни решения от които зависи човешки живот.**

Допълнителни ефекти:

- ***Ежедневното дишане на високи концентрации от фини прахови частици допринася до развиване на болести и намаляване на човешкия живот,***
- ***Не на последно място са и увеличените медицински разходи.***
- ***Опазването на околната среда от замърсители /ФПЧ/ е една също много важна задача, която има решение с предложения дизайн.***

Потенциална комерсиализация на резултатите

Представените анализи, изследвания, симулации и резултати са извършени основно с данни от метромрежата на големи градове като Лондон, Сеул и др., данните за които се намират свободно в Интернет. Запитването ни до „Метрополитен“ ЕАД - София за предоставяне на технически данни за габарити на метростанциите и тунелите, скорост на влаковете и др. технически параметри беше оставено без отговор.

При наличие на подобни данни за Софийското метро можем да направим измервания, анализи, симулации и експерименти. Получените резултати ще позволят намаляване концентрацията на ФПЧ, подобряване качеството на въздуха и увеличаване на сигурността на пътниците персонала в метрото.

Получените от нас резултата ще предоставим безвъзмездно на „Метрополитен“ ЕАД – София.

Научно-приложни приноси:

В съответствие с поставената цел, направените изследвания и получените резултати са постигнати следните приноси с научно-приложен характер:

- *След детайлен обзор и анализ е направена систематизация на видове фактори, влияещи върху сигурността и безопасността в подземния железопътен транспорт,*
- *Изследвана е концентрация на фини прахови частици в метрото и са определени основните видове и източници на замърсяване,*
- *Изследвани са и са анализирани съществуващи решения за намаляване на концентрацията на фини частици и подобряване на сигурността в подземния железопътен транспорт,*
- *Предложена е схема за оптимизиране на вентилацията в метрото и тунелите,*
- *Предложени са иновативни подходи с използването на осъвременени защитни системи в подземния железопътен транспорт,*
- *Представени са експериментални резултати и симулационно моделиране с нови защитни системи, анализирани са различните модели. Резултатите са анализирани.*

Библиография:

{1} Airborne particulate metals in the New York City subway: A pilot study to assess the potential for health impacts, Design of a modern subway ventilation system /British Tunnelling Society/. Environ Res. 2010 January ; 110(1): 1–11. doi:10.1016/j.envres.2009.10.006.

{2} Karlsson, H. L., Nilsson, L. and L. Moller, 2005, “Subway particle are more genotoxic than street particles and induce oxidative stress in cultured human lung cells”, Chem. Res. Toxicol, vol. 18, pp 19-23

{3} Physical and chemical characterization of personal exposure to airborne particulate matter (PM) in the Los Angeles subways and light-rail trains /UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA/. August 2011, pages 64

{4} 1.Subway environmental design handbook / prepared by Associated Engineers- A ... [et. al] Joint Venture under the direction of the Transit Development Corp., Inc. Washington : U.S. Dept. of Transportation, Urban Mass Transportation Administration, Office of Research and Development : for sale by the Supt. of Docs., U. S. Govt. Print. Off., 1976, 2d ed.

{5 } EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION DRAUGHT RELIEF SHAFT IN SUBWAY RAILWAY TUNNELS S. Shahryari, H. Dashti, K. Damirchi, MAPNA Group, TEHRAN, IRAN

{6 } Estimation of Train-Induced Wind Generated by Train Operation in Subway Tunnels, Shin-Do Kim, Ji-Han Song, Heekwan Lee*† Department of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

{7} Filtration Efficiency of Intermediate Ventilation Air filters on Ultrafine and Submicron Particles Department of Energy and Environment, Division of Building Services Engineering, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden 2011, Master’s Thesis 2011:14

{8} Asian Journal of Atmospheric Environment Vol. 7-1, pp.38-47, March 2013 doi: <http://dx.doi.org/10.5572/ajae.2013.7.1.038>

{9} Single particle characterization and source identification of aerosol samples collected at subway stations - H. Jung, B. Kim, J. Ryu, H. Kim, Y. Son¹⁾, J. Kim¹⁾²⁾, J. Sohn³⁾, C.-U. Ro

{10} Numerical Simulation in the Air-Curtain Installed Subway Tunnel for the Indoor Air Quality /Kyung Jin Ryu, Makhsuda Juraeva, Sang-Hyun Jeong, and Dong Joo Song/

{11} <http://neu-inc.com/vacuum-cleaning-train/>

{12} Estimation of Train-Induced Wind Generated by Train Operation in Subway Tunnels/Shin-Do Kim, Ji-Han Song, Heekwan Lee/

{13} Стоева.Д; Н. Арабаджиева "Възможности за определяне параметрите на пътнически машини с помощта на съвременни изчислителни методи"Научни трудове УХТ, Том LVI, 2009, Свитък 2, ISSN 0477-0250, 313 –318

{14} Multidimensional Interpretation of the Air Quality Change by the Installation of PSD in a Subway Station /Yong-Su Kim¹, Min-Han Kim¹, Seo-Jin Kim², In-Won Kim², Jae-Sik Jeon³ and Chang-Kyoo Yoo¹/

{15} Fire evacuation in underground transportation systems: a review of accidents and empirical research /Karl Fridolf - Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety Lund University, Sweden/

{16} Physical and chemical characterization of personal exposure to airborne particulate matter (PM) in the Los Angeles subways and light-rail trains /UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA/

{17}Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health /Jonathan O. Anderson & Josef G. Thundiyil & Andrew Stolbach/

{18}Assessment of the Health Impacts of Particulate Matter Characteristics /Michelle L. Bell/

{19}The London Underground: dust and hazards to health /A Seaton, J Cherrie, M Dennekamp, K - Donaldson, J F Hurley, C L Tran/

{20} Particle monitoring in the London Underground and elsewhere /Dr Ben Croxford/

{21} The Use Of Technology In Preparing Subway Systems For Chemical/Biological Terrorism /Dr. Anthony J. Policastro Argonne National Laboratory Argonne, IL, Dr. Susanna P. Gordon Sandia National Laboratories Livermore, CA/

{22} Ventilation Efficiency in the Subway Environment for the Indoor Air Quality /Kyung Jin Ryu, MakhsudaJuraeva, Sang-Hyun Jeongand Dong Joo Song/

{23} Technical Reference SOLIDWORKS Flow Simulation 2015

{24} Henderson, C.B. Drag Coefficients of Spheres in Continuum and Rarefied Flows. AIAA Journal, v.14, No.6, 1976.

{25} Carlson, D.J. and Hoglund, R.F. Particle Drag and Heat Transfer in Rocket Nozzles. AIAA Journal, v.2, No.11, 1964.

{26} Писмо от Метрополитен АД

{27} A numerical simulation of train-induced unsteady airflow in a tunnel of Seoul subway† Yuandong Huang^{1,3}, Tae Hyub Hong² and Chang Nyung Kim^{3,4,*} (Manuscript Received January 8, 2011; Revised September 26, 2011; Accepted December 20, 2011)

{28} Aarnio, P., Yli-Tuomi, T., Kousa, A., Mäkelä, T., Hirsikko, A., Hämeri, K., Päisänen, M., Hillamo, R., Koskentalo, T., Jantunen, M. (2005) The concentrations and composition of and exposure to fine particles (PM_{2.5}) in the Helsinki subway system. Atmospheric Environment 39, 5059-5066.

{29} Adams, H.S., Nieuwenhuijsen, M.J., Colvile, R.N., McMullen, M.A.S., Khandelwal, P. (2001) Fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. Science of Total Environment 279, 29-44.

{30} Awad, A.H.A. (2002) Environmental study in subway metrostations in Cairo, Egypt. Journal of Occupational Health 44, 112-118.

{31} Air Quality and Health Implications in the Underground Mass-transportation Environment: A Systematic Review, Szeto Ying Ho

{32} Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health, Jonathan O. Anderson & Josef G. Thundiyil & Andrew Stolbach

{33} Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр. 58/2010 г.)

{34} R. Purver, "Chemical and Biological Terrorism: The Threat According to the Open Literature," HYPERLINK <http://www.csis-scrs.gc.ca/eng/miscdocs/tabintre.html>, Canadian Security Intelligence Service, 1995

{35} W. A. Swansiger and J. E. Brockmann, "Mitigation of Chemical Attacks in Enclosed Public Transportation Facilities," Enforcement and Security Technologies Proceedings, SPIE Vol. 3575, 1998

{36} W. A. Swansiger, "Defending Subways against Chem-Bio Terrorism," SAND98-8210, Sandia National Laboratories, 1997

{37} Cha, C. H., 1995, Study on the Effect of Train-Induced Wind on the Air Quality in Subway Platform, Master Thesis, Hanyang University

{38} Chen, T. Y., Lee, Y. T. and Hsu, C. C., 1998, Investigations of piston-effect and jet fan effect in model vehicle tunnels, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 73, pp. 99-100.

{39} Gerhardt, H. J. and Kruger, O., 1998, Wind and train driven air movements in train stations, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 74, pp. 589-597.

{40} W. J. Fisk, D. Faulkner, J. Palonen, O. Seppanen. Indoor air 2002: 12: 223-234. Performance and costs of particle air filtration technologies.

{41} MayAir Group <http://mayair.com.my/about-us/>

{42} Google.com, youtube.com, www.metropolitan.bg, wikipedia.com

- {43} Stoimenov N., Sabotinkov N., Investigation of iron ore material behavior in semi-autogenous grinding mill. Part I. Grinding with innovative lifter shape., Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 68, 2017, ISSN 0204-9848, pp 39-48
- {44} Stoimenov N., Sabotinkov N., Investigation of iron ore material behavior in semi-autogenous grinding mill. Part II. Comparative analysis of iron ore material in semi-autonomous grinding mill with different lifters shapes., Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 68, 2017, ISSN 0204-9848, pp 49-57
- {45} **Chikurtev D.**, Rangelov I., Chivarov N., **Karastoyanov D.** 3D modelling for object recognition with depth sensors. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, 70, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018, ISSN:0204-9848, 35-42
- {46} **Karastoyanov D.**, **Groueva M.**, **Yosifova V.** MOBILE ROBOTS FOR INVESTIGATION IN SPECIFIC AREAS. International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, 12, 2018, ISSN:2074-1308, 126-130
- {47} **Karastoyanov D.**, **Stoimenov N.**, **Gyoshev S.** ADVANCED ICT FOR INNOVATIONS IN PRIORITY AREAS. Proceedings, 2018, ISBN:E-ISBN: 978-605-68537-1-5, 986-991
- {48} **Stoimenov N.**, **Panev P.**, **Karastoyanov D.** Software for 3D Modeling, Simulation and Optimization. XXVII International Scientific and Technical Conference, ADP - 2018., June 21-24th 2018, Publishing House of Technical University of Sofia, 2018, ISSN:13 10 -3946, 329-334
- {49} M. Kandeва, A. Vencl, D. Karastoyanov., Advanced Tribological Coatings for Heavy-duty Applications: Case Studies., 2016, Academy Publishing House, Sofia, Bulgaria, ISBN 978-954-322-858-4
- {50} Карастоянов Д., Управление на работи и на други мехатронни системи., София, Академично Издателство „Проф. Марин Дринов“, 2010, ISBN 987-954-322-415-9

П У Б Л И К А Ц И И

1. **Sabotinkov N.** Reducing the concentration of fine dust particles in underground rail transport. *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics*, 70, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018, ISSN:0204-9848, 27-34
2. **Sabotinkov N.** Вентилация на станциите и в тунелите на подземния градски железопътен транспорт. *ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS ' 18 RAM 2018*, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018, ISSN:1314-4634, 29-33
3. Stoimenov N., **Sabotinkov N.**, Popov B., Investigation of Materials Behavior in Autogenous Grinding Mill. 8th International Conference on Mechanical Technologies and Structural Materials (MTSM 2018), Split, Croatia, September 27-28, 2018, 70, Croatian Society for Mechanical Technologies, Croatia, 2018, ISSN:1847-7917, 173-176
4. **Съботинков Н.**, Карастоянов Д., Чикуртев Д., Оптимизиране на вентилацията и намаляване на концентрацията на фини частици в подземен железопътен транспорт., 25 МНТК „АДП 2017“, Созопол, България, 22-24 юни, 2017, ISSN 1310-3946, стр. 106-112
5. Н. Стоименов, Н. **Съботинков**, Б. Соколов., Изследване устойчивостта на лифтери с EDEM Software., John Atanasoff Celebration Days, International Conference “Robotics, Automation And Mechatronics” RAM 2016, October 4-6 2016, Vraga, Bulgaria, p. 70-73, ISSN 1314-4634
6. **Съботинков Н.**, Оптимизиране на вентилацията и намаляване на концентрацията на фини частици в подземен железопътен транспорт, чрез монтиране на високоскоростни ролкови врати на вход-изход от тунелите в метростанциите.. International Conference Robotics, Automation and Mechatronics'15 RAM 2015, Sofia, Bulgaria, November 05, 2015., pp. 68-73, ISSN 1314-4634.

ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ

Декларирам, че дисертацията съдържа оригинални резултати, получени, при проведени от мен, научни изследвания с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител.

Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са цитирани, където е възможно, в изложените референции.

Настоящият дисертационен труд не е прилаган за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Подпис:.....

/инж. Никола Съботинков/