

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
на
ДИ С Е Р Т А Ц И Я

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, 2018

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 микрона и по-малък от 2.5 микрона, 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.

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.

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.

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

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, 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.

- Влияние върху човешкото здраве

Прахът постъпва в организма предимно чрез дихателната система, при което по-едрите 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. 1/. Деца, възрастни и хора с хронични белодробни заболявания, грип или астма са особено чувствителни към високи стойности на ФПЧ10.



Фиг.1. Размер на частиците отнесен към човешки косъм

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/m^3 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/m^3), 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 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 .

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-фино 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:**

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

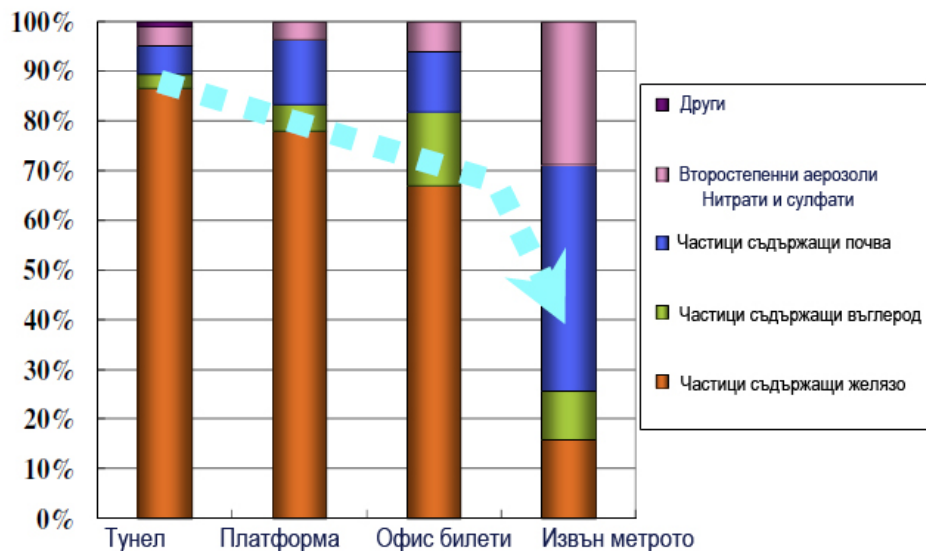
ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ (ФПЧ10)			
Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010г.)			
Средноденощна норма (СДН) за опазване на човешкото здраве			
Прагова стойност (ПС)		допустим брой превишения (през годината)	период на прилагане
СДН	50 µg/m ³	35	от 01.01.2009г.
Средногодишна норма (СГН)			
СГН	40 µg/m ³	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	период на прилагане

		годината)	
СГН	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	не се допуска превишаване	през 2010г.
СГН	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		от 01.01.2015г.
СГН	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		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

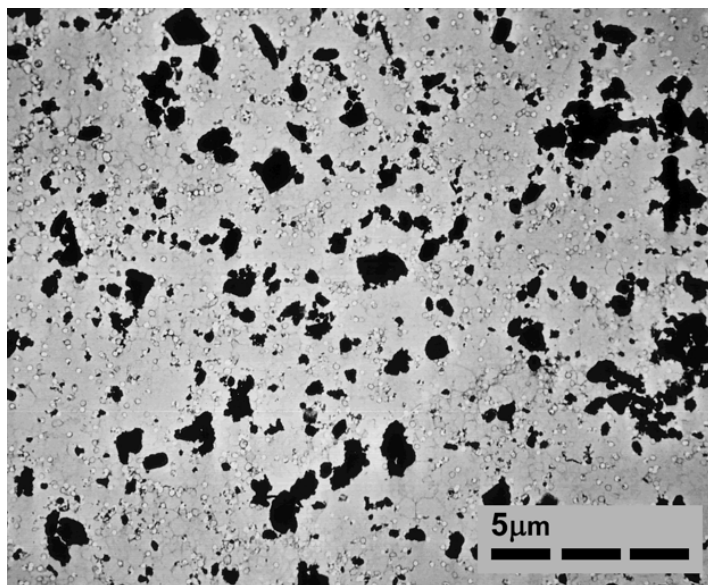
ПДКс.г. – Пределно допустима средногодишна концентрация

На Фиг.2 е дадено разпределение на частиците по класове



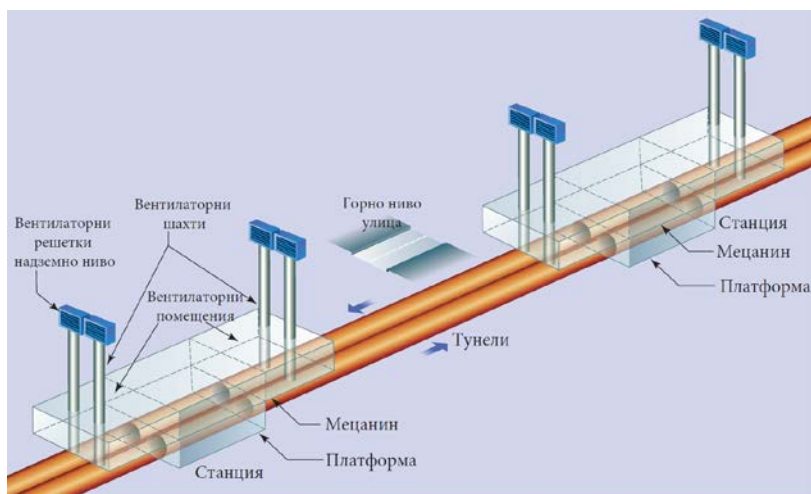
Фиг.2 Разпределение на частиците по класове

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. 3 са дадени данните за станция Holland Park.



Фиг. 3. Фотомикрография на праха в тунела на станция Holland Park

На фиг. 4 е дадена една стандартна конфигурация на станция на метро, със съответните елементи:



Фиг. 4. Схема на метростанция

Друг аспект от по-важните проблеми свързани с метрото е осигуряване на безопасността на пътниците при пожар или терористична атака – фиг. 5.

- 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/.



Фиг. 5. Инциденти в метростанции

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 въглеродородо CO / свързва се с хемоглобина на кръвта 200-300 пъти по-бързо от кислорода - настъпва кислороден глад на организма/ и CO_2 – причина за 50-80% от загиналите / CO_2 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 – 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.

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 ще се решат следните задачи:

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

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.

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 Daeseong (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 Daeseong, както и между гарите Daeseong и Hangnyeoul).

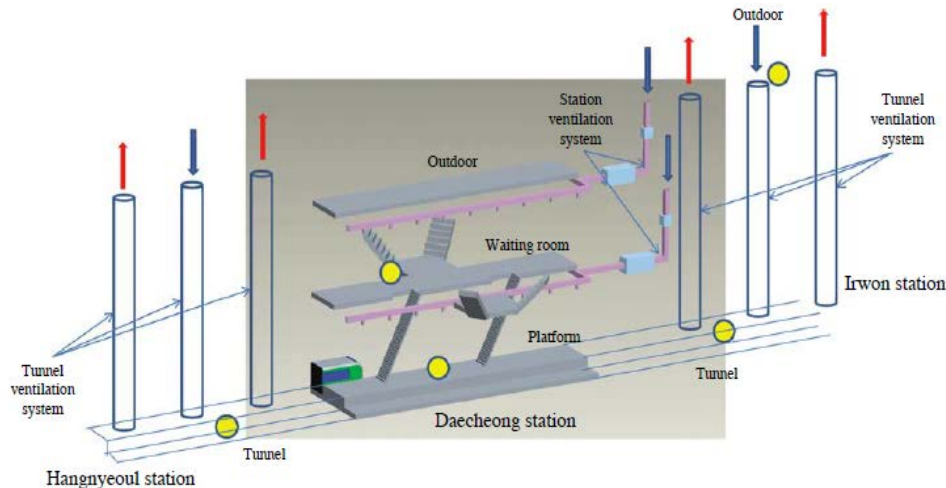
Всички измервания са проведени на 1,5 м над нивото на земята. Всеки обект е наблюдаван от инструменти за непрекъснато наблюдение. За да се направи сравнение между нивата на ФПЧ10 в подземната станция на метрото, около 600 метра от станцията на Daeseong се намира открит обект за наблюдение. Външното вземане 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. 6. 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.

2.2. Други технологични разработки към този момент

- Монтиране на автоматични плъзгащи се врати на станциите: 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.



Фиг. 6. Местонахождения на местата за вземане на проби (с кръгче: мястото за вземане на проби, ↑: изпускателна тръба, ↓: вход за въздух).

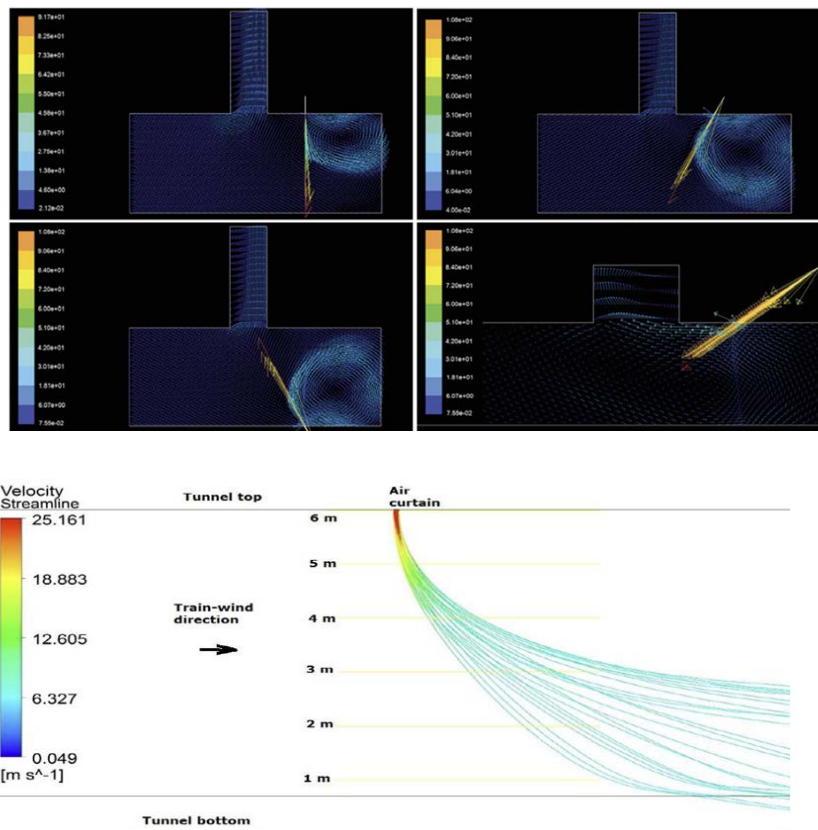
На фиг. 7. са показани плъзгащи врати на станция в затворено положение и отворени, когато влакът е на станцията



Фиг. 7. Плъзгащи се врати на станция

- Въздушна завеса - В последните години се правят изследвания, 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 има, когато скоростта на въздушната струя е мин. 25 м/сек., направени са и изследвания с 60 м/сек. и 80 м/сек.. /фиг.8/.



Фиг. 8. Симулация на въздушна завеса

- Използване на вакуум влак за почистване на тунелите от прах и боклуци. На фиг. 9 е показан вакуум влакът VACSTRAC.



Фиг. 9. VACSTRAC

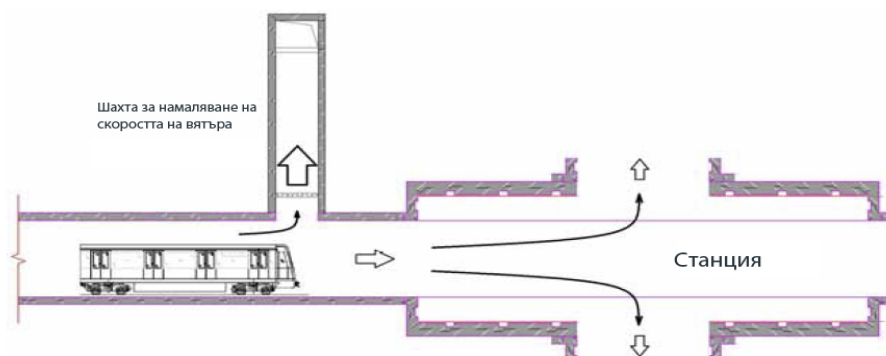
2.3. Вентилация в метрото и тунелите общи положения

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. По норматив скоростта на вятъра не трябва да надвишава 5 m/s при навлизане в станцията.

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. 10.



фиг. 10. Схема на станция и шахта за намаляване на „ефекта на буталото“

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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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

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.

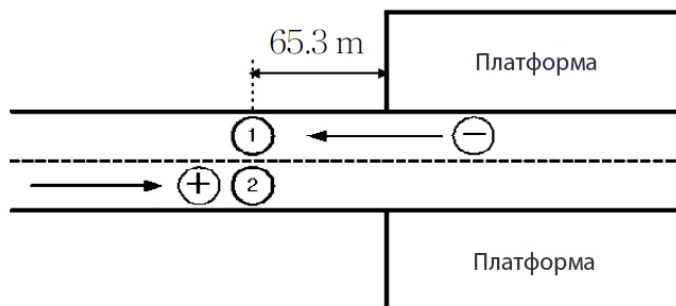
Естествената вентилация и трафика пораждащ тази вентилация са валидни за сравнително къси тунели или тунели със слаб трафик. Генерално е прието, че ако един тунел е относително дълъг и „ефекта на буталото“ поражда скорост на въздуха по-малка от половината от скоростта на влака, то тогава трябва да бъде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

2.4. Теоретично изследване

За изчисляване на потока въздух породен от „ефект на буталото“ се ползва Графичен метод. На фиг. 11 е показана ситуация на движение на влак между две вентилационни шахти.

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. Измерванията са направени с интервал от 1 сек. в продължение на 70 сек.



Фиг. 12. Точки на измерване



Фиг.13 Вторичен въздушен поток

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

3.1. Конфигурация/Схема на изследването

На фиг. 14 е дадена типична конфигурация на вентилация на станция в метрото с различни варианти на вентилация и оптимизация на въздушния поток в метростанцията:

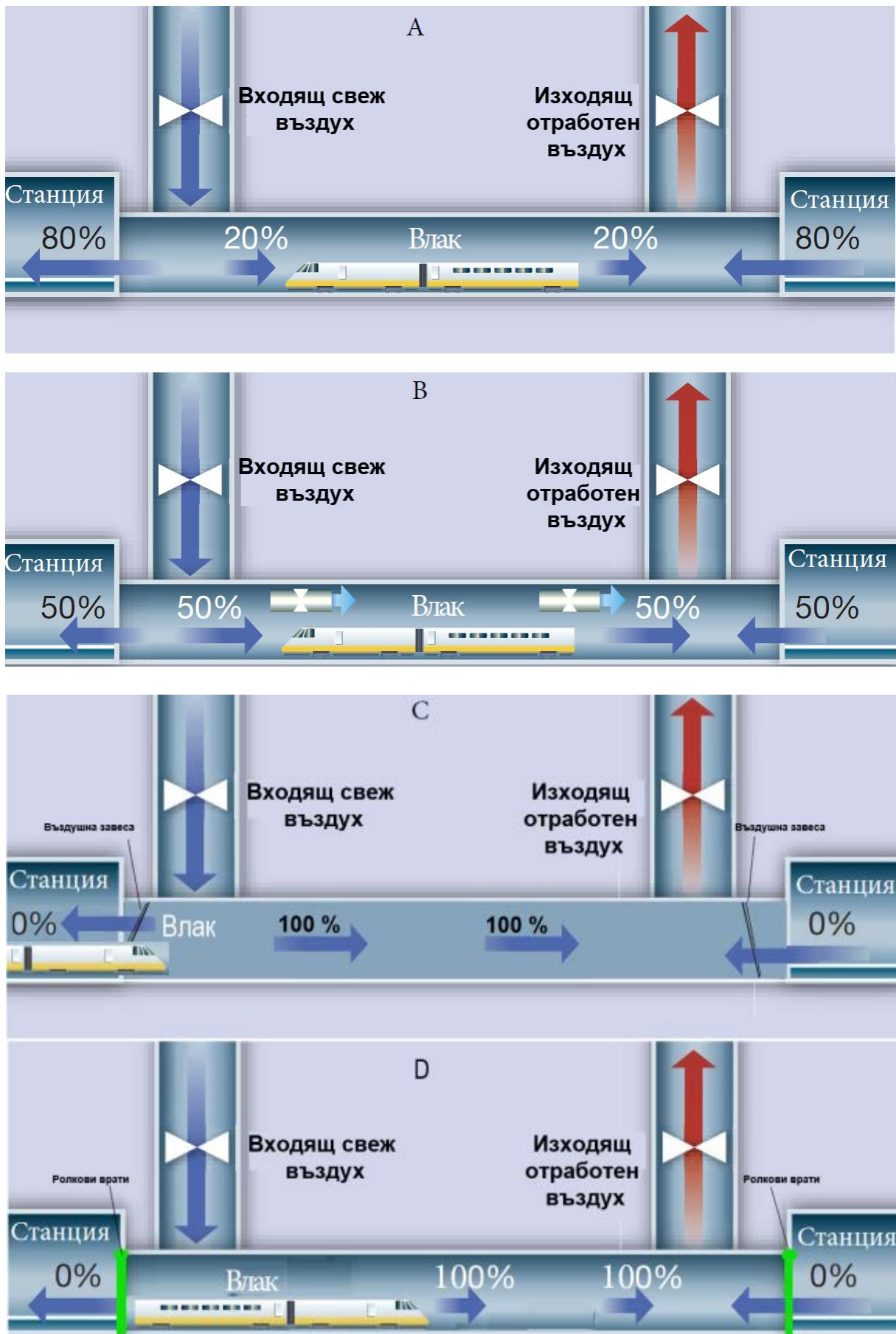
А – Вентилация - поток с оптимизация,

В - аксиални вентилатори /jet/ ,

С – въздушна завеса,

Д – ролкови врати/

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.



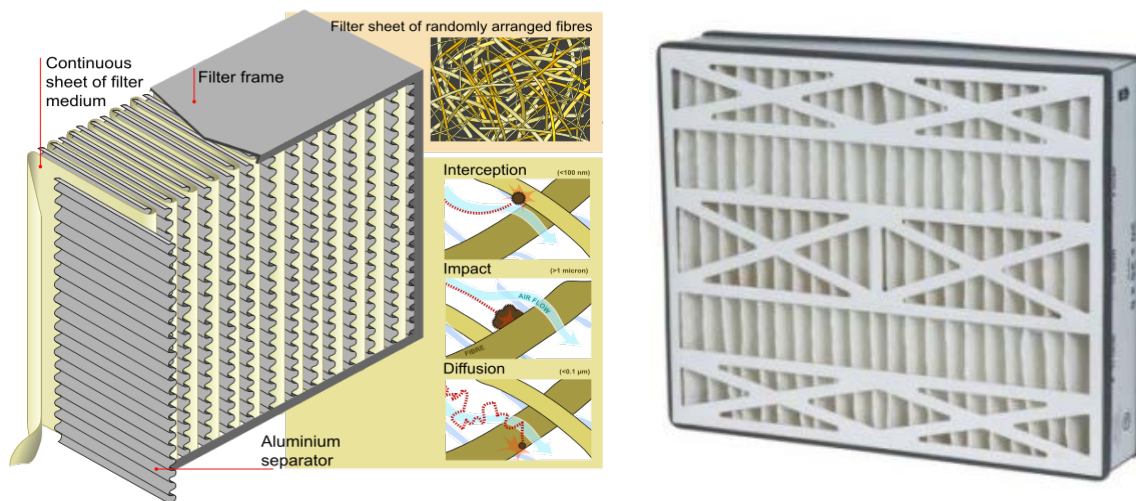
Фиг. 14. Типични конфигурации на вентилация на станция в метрото

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.

Филтрите MERV/HEPA/ULPA се използват за пречистване на въздух в лаборатории, индустриални помещения, чисти помещения, болници, в електроуреди и др., фиг. 15.



Фиг.15 Филтри MERV/HEPA/ULPA {41}

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

3.3. Ролкови врати

Едно съвременно решение за изолиране на закрити обема 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-NITE - фиг. 16.



Фиг. 16. Високоскоростна ролкова врата

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

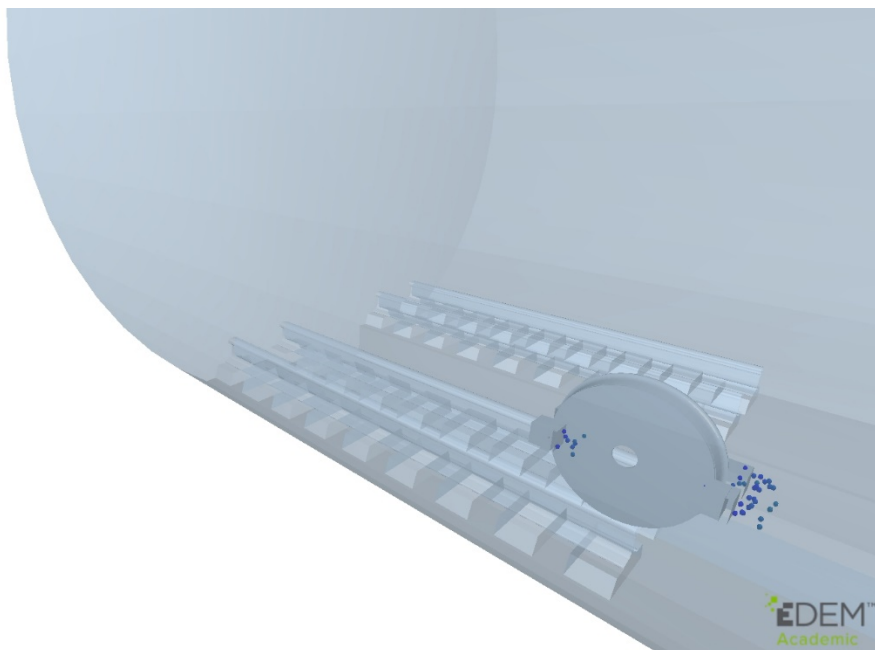
4.1 Начални експерименти

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.*

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

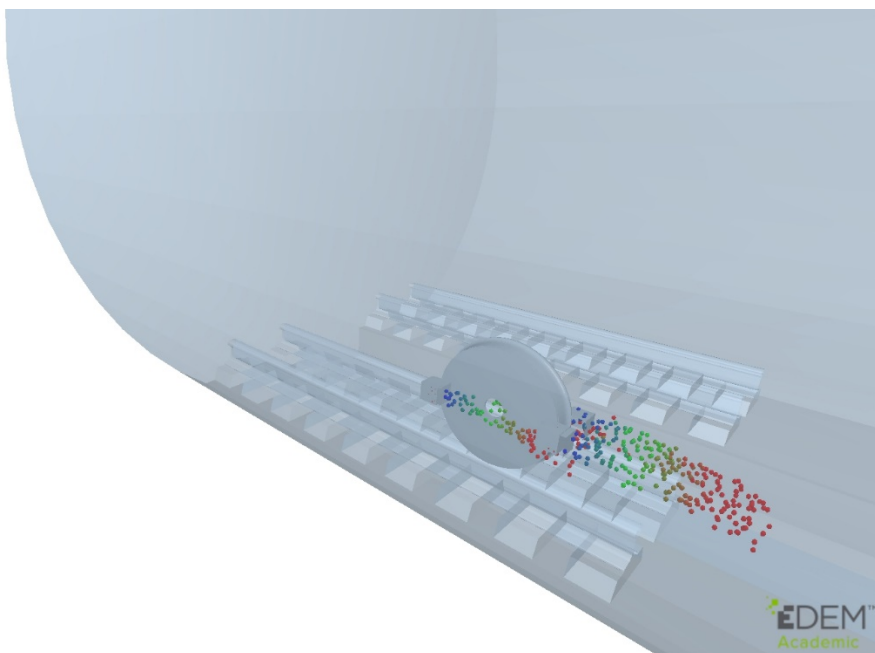
- Фиг. 17. Симулация на отделяне на ФПЧ при първоначално включване на спирачка, когато влакът навлиза в метростанцията,
- Фиг. 18. Симулация на изхвърляне на ФПЧ от колелото и спирачката при включена спирачка,
- Фиг. 19. Симулация на разпръскване на ФПЧ във въздуха на метростанцията,
- Фиг. 20. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията,
- Фиг. 21. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията след спиране на влака.

Time: 0.0200336 s
EDEM
Academic



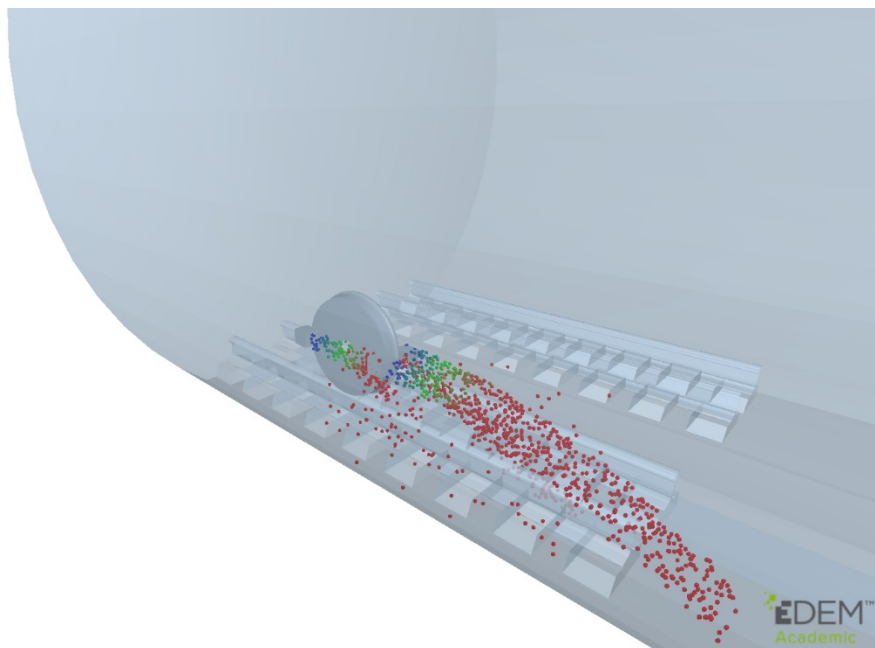
Фиг. 17. Симулация на отделяне на ФПЧ при първоначално включване на спиращка, когато влакът навлиза в метростанцията,

Time: 0.14003 s
EDEM
Academic



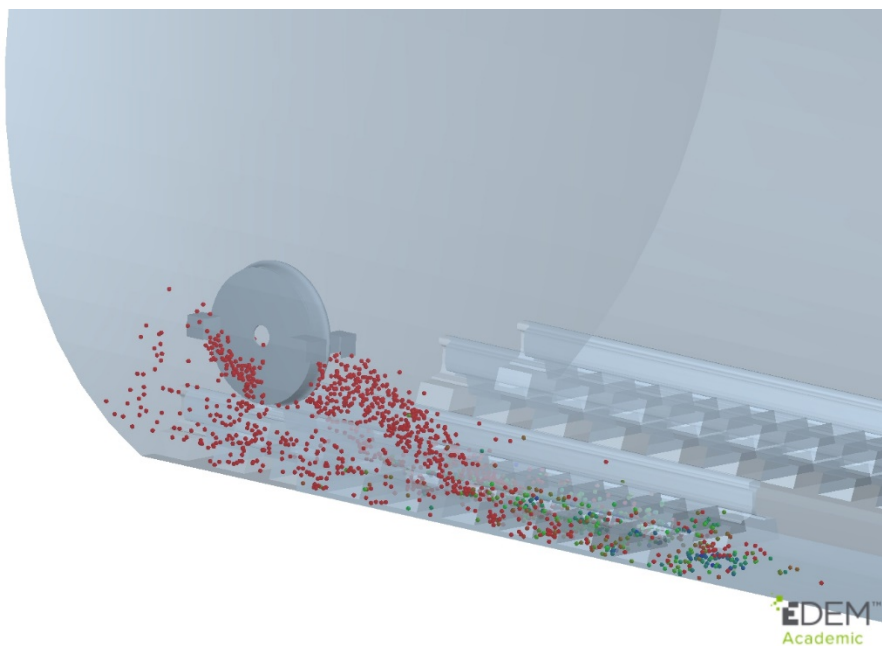
Фиг. 18. Симулация на изхвърляне на ФПЧ от колелото и спиращката при включена спиращка,

Time: 0.340006 s
EDEM
Academic



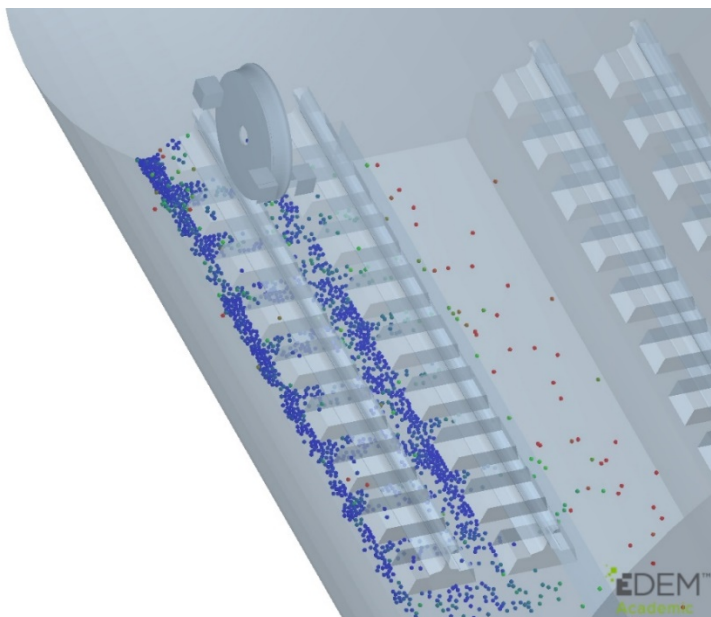
Фиг. 19. Симулация на разпръскване на ФПЧ във въздуха на метростанцията,

Time: 0.640048 s
EDEM
Academic



Фиг. 20. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията.

Time: 1.51002 s
EDEM
Academic



Фиг. 21. Симулация на отлагане на ФПЧ върху релсовия път и по терена на метростанцията след спиране на влака.

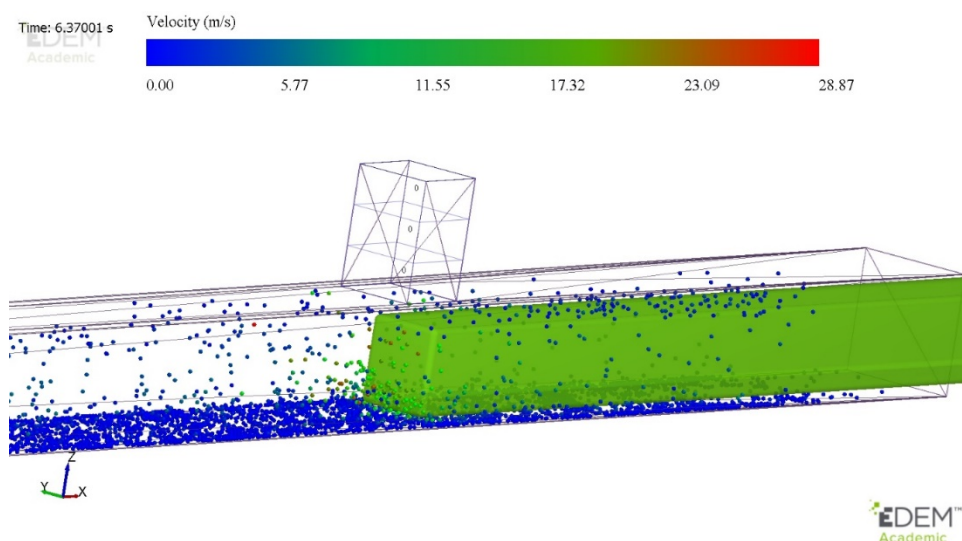
Със същият програмнен продукт **EDEM Software** бяха направени симулации на разпределението на ФПЧ при движение на влака в тунела както следва:

Фиг. 22. Разпределение на ФПЧ при навлизане на влак в тунела,

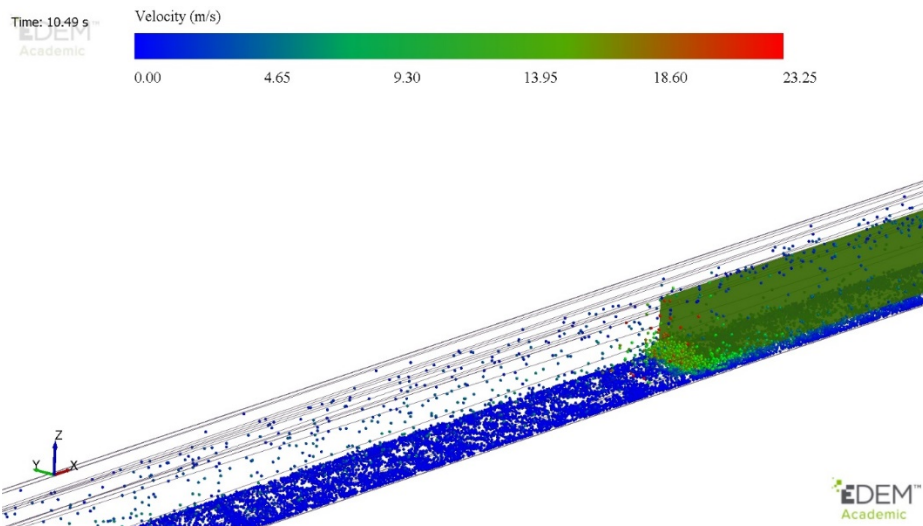
Фиг. 23. Разпределение на ФПЧ при движение на влак в тунела,

Фиг. 24. Натрупване на ФПЧ пред влака при движение в тунела,

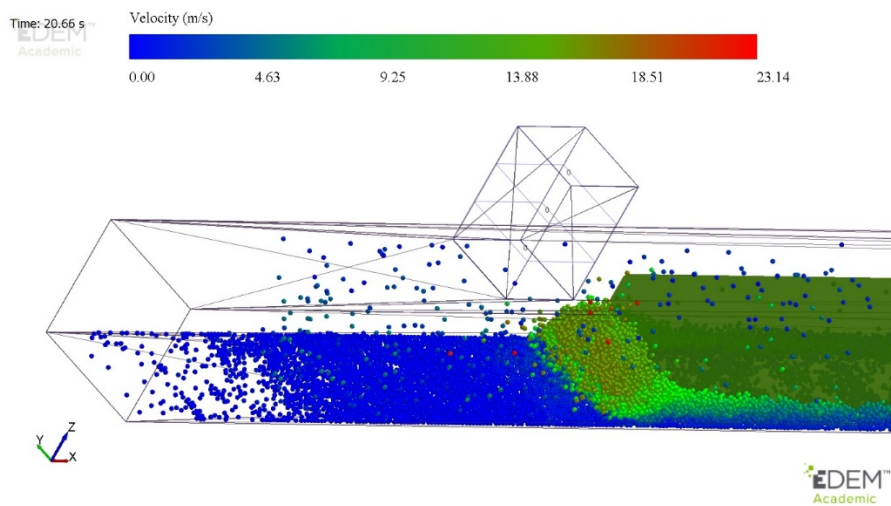
Фиг. 25. Отлагане обратно на ФПЧ след преминаване на влака



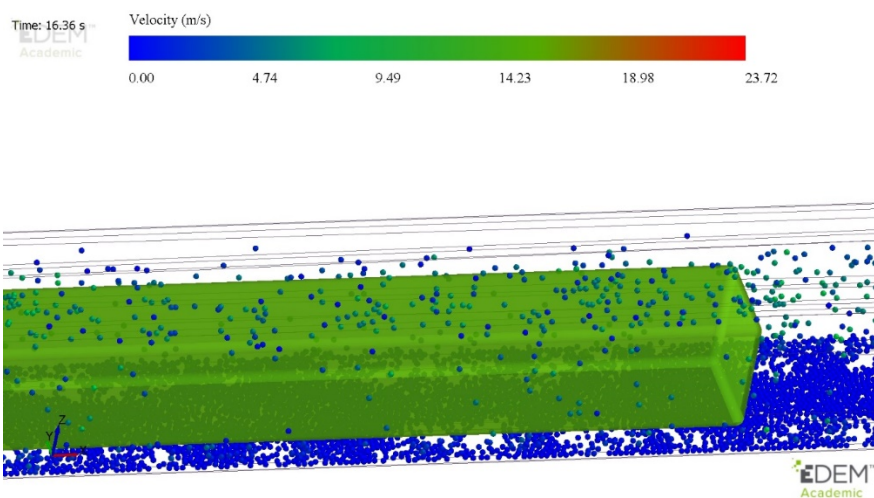
Фиг. 22. Разпределение на ФПЧ при навлизане на влак в тунела,



Фиг. 23. Разпределение на ФПЧ при движение на влак в тунела,



Фиг. 24. Натрупване на ФПЧ пред влака при движение в тунела,



Фиг. 25. 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.

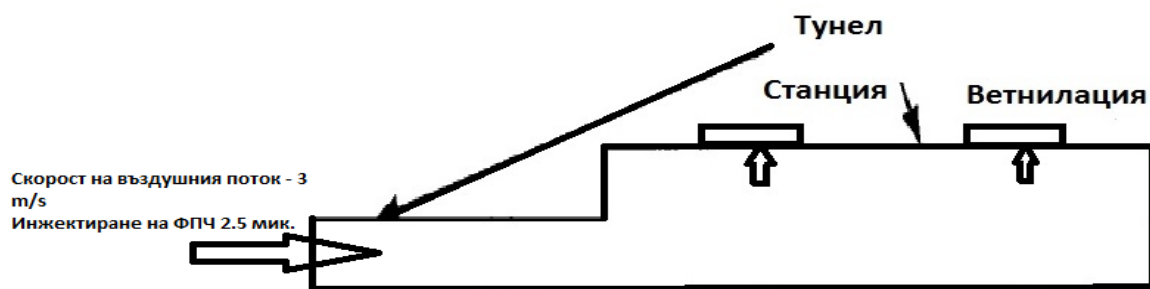
В Таб. 4.1. са дадени параметрите на модела.

Таблица 4.1. Параметри на численото изследване

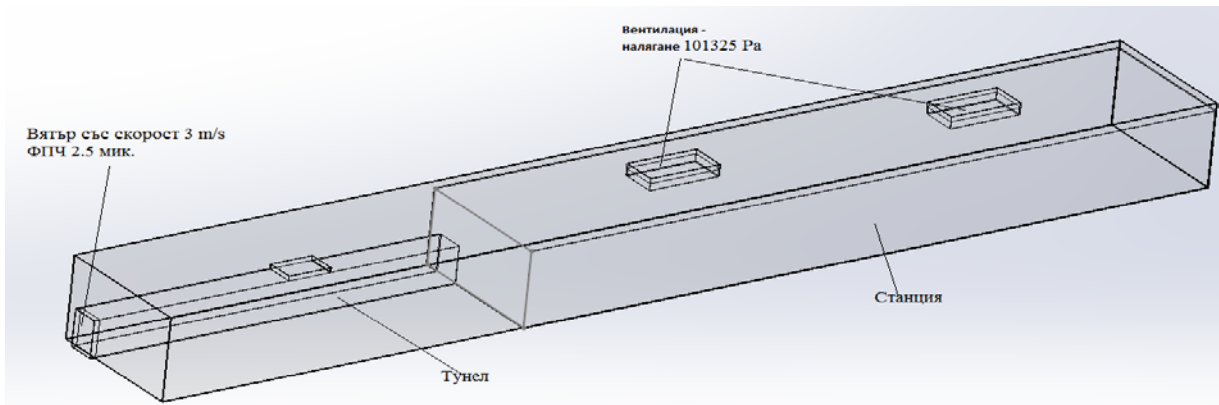
Площ на напречно сечение на тунела	24,395 m ² = 5,950 m×4,100 m {27}
Площ на напречно сечение на вентилационна шахта	24,395 m ² = 5,950 m×4,100 m
Площ на напречно сечение на влака	10,1 m ² = 3,12 m×3,25 m {27}
Площ на филтър	12,0 m ²
Площ врата	12,0 m ²
Скорост на въздушния поток при изход тунел след вентилационна шахта	3.0 m/s {26}
ФПЧ	2.5 микрона
Вентилатор	ВОМД-24, 55 m ³ /s {26}
Скорост на въздушния поток преди вентилационна шахта	8.7 m/s {6}

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 микрона. Фиг.26 а и б.. Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС.



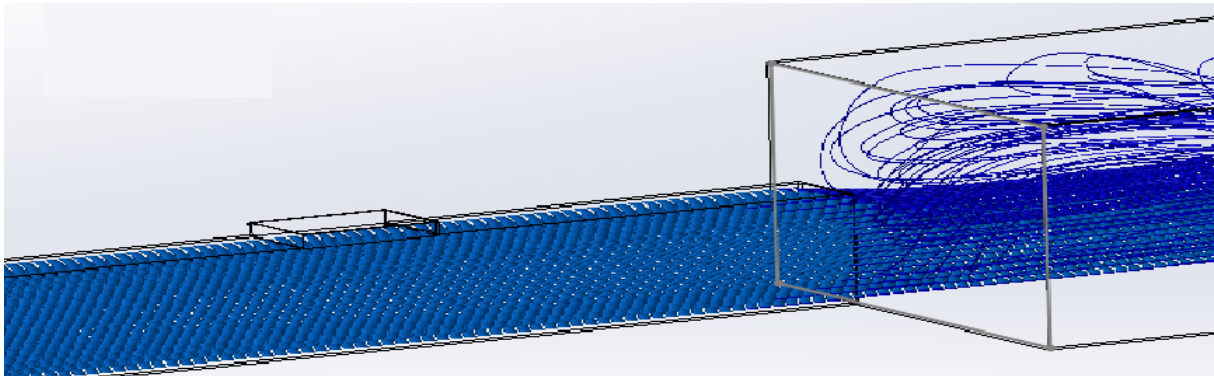
Фиг. 26 а



Фиг. 26 б

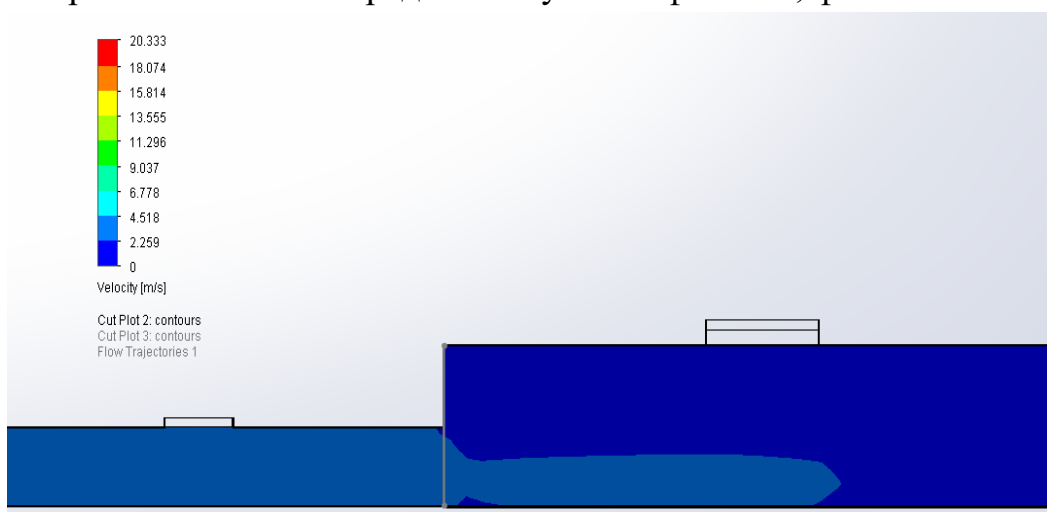
4.2.1 Резултати модел 1

- Траектория на потока - фиг. 27

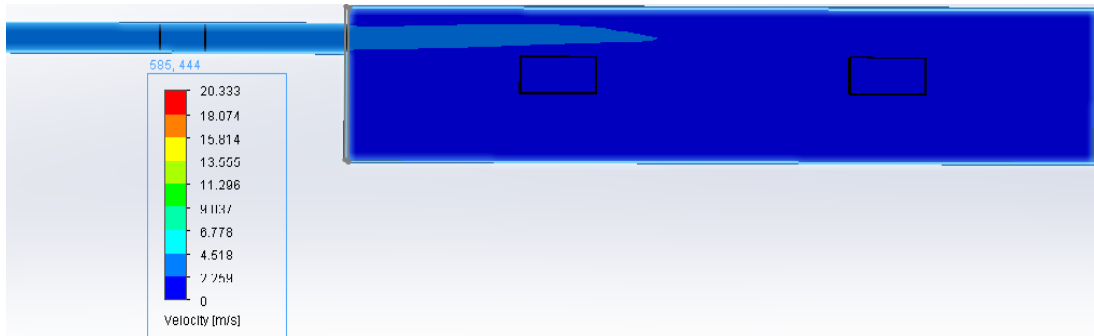


фиг. 27

- Скорост на потока /в средата на тунела - фиг. 28а, фиг. 28б

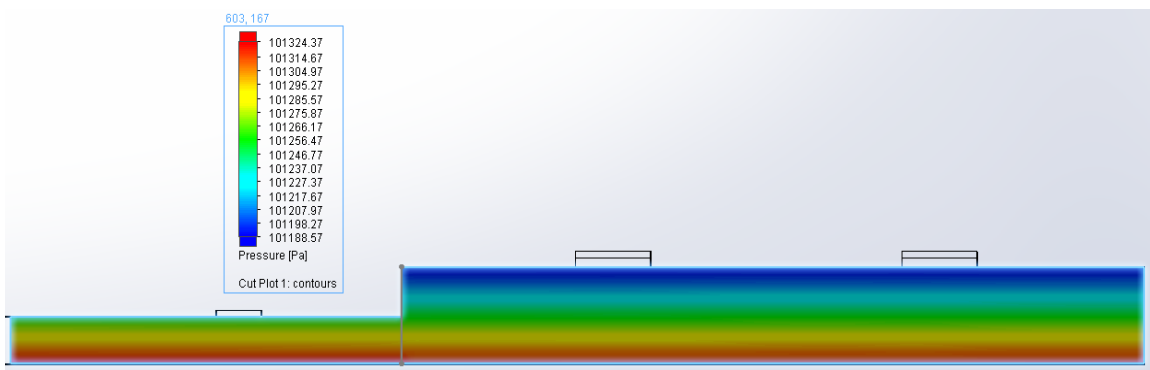


Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела Фиг. фиг. 28а



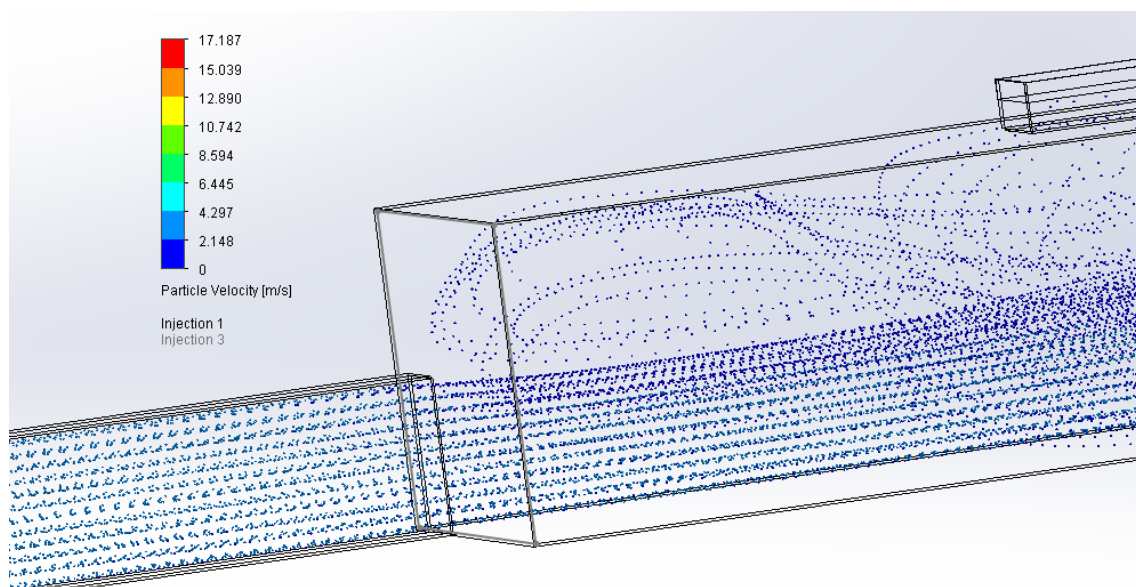
Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела фиг. 28б

- Налягане - фиг. 29



Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела фиг. 29

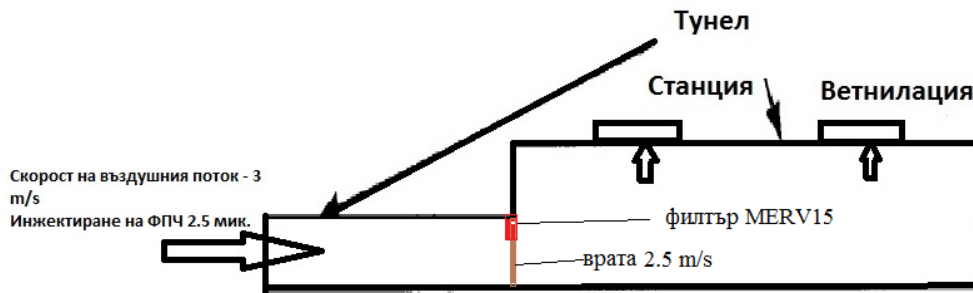
- Скорост на фини прахови частици 2.5 мик.



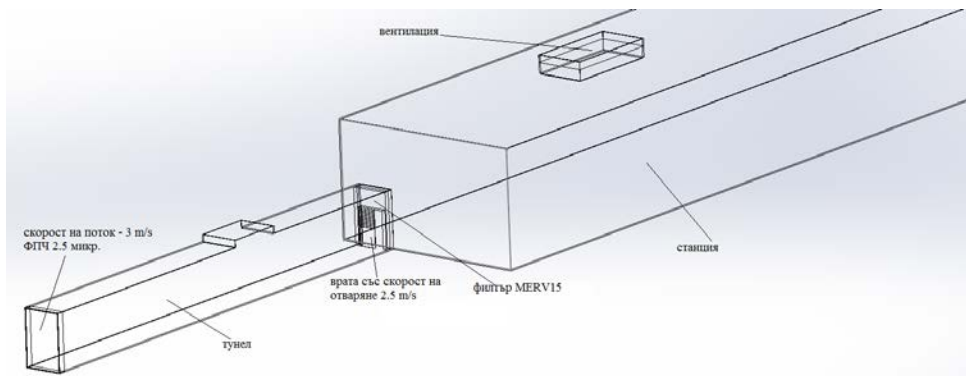
фиг. 29

4.3 Симулация с монтирана врата и филтри MERV15 – модел 2

Симулацията с монтирана врата и филтър е извършена с въздух със скорост 3 m/s {26} и инжектиране на ФПЧ 2.5 микрона. Фиг.30 а и 30 б.. Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС.



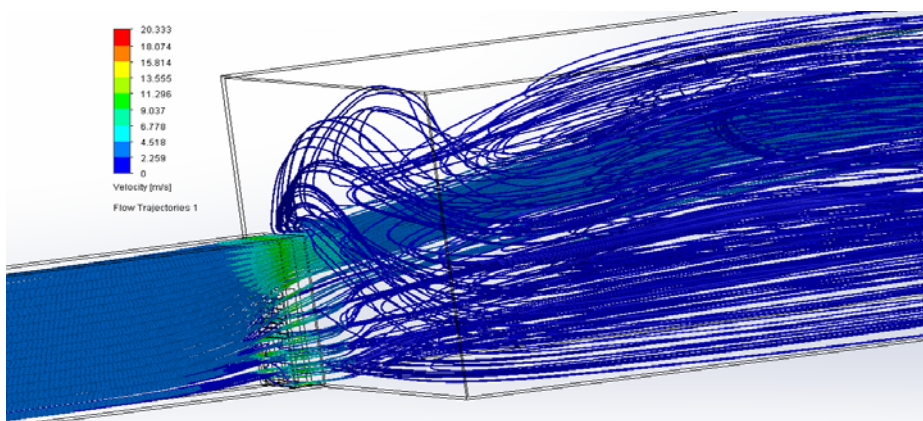
Фиг.30 а



Фиг.30 б

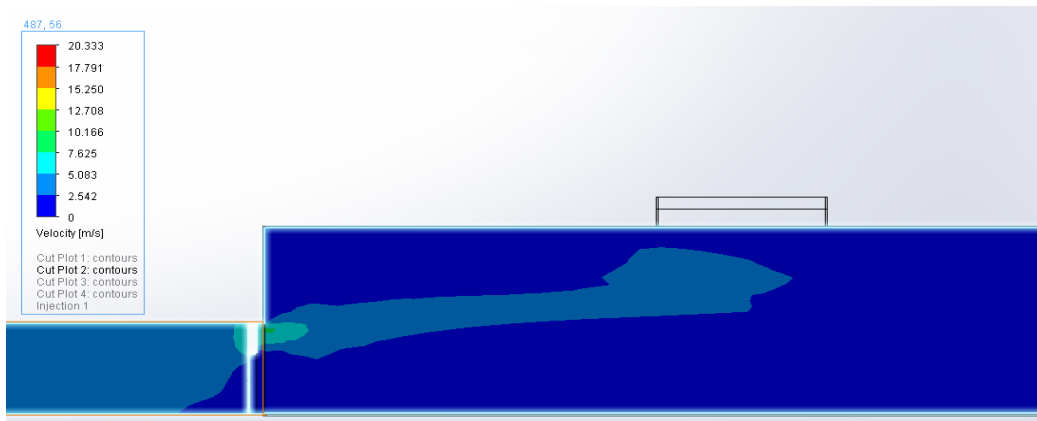
4.3.1 Резултати модел 2

- Траектория на потока - фиг. 31

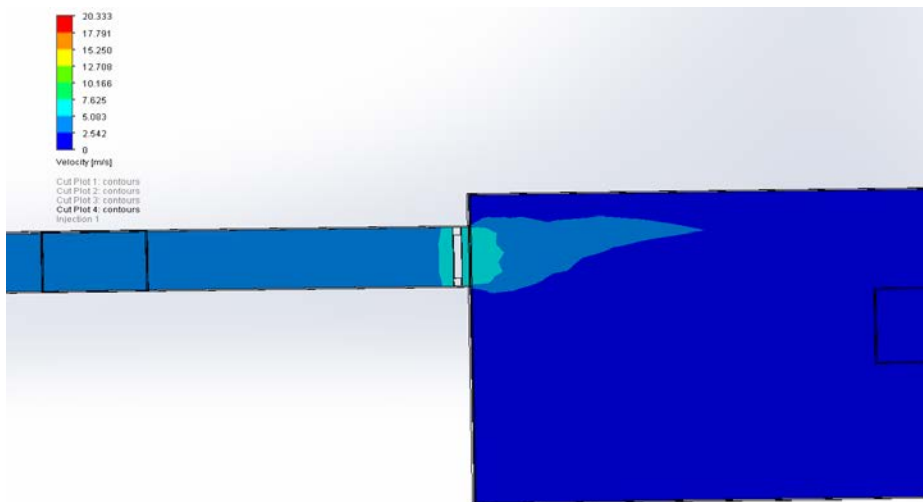


Траектория на потока фиг. 31

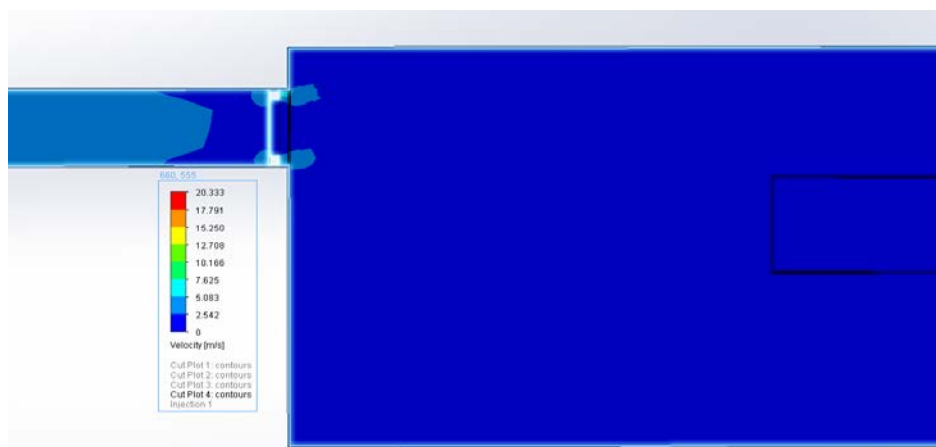
- Скорост на потока /в средата на тунела фиг. 32а/б/с



Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела фиг. 32а

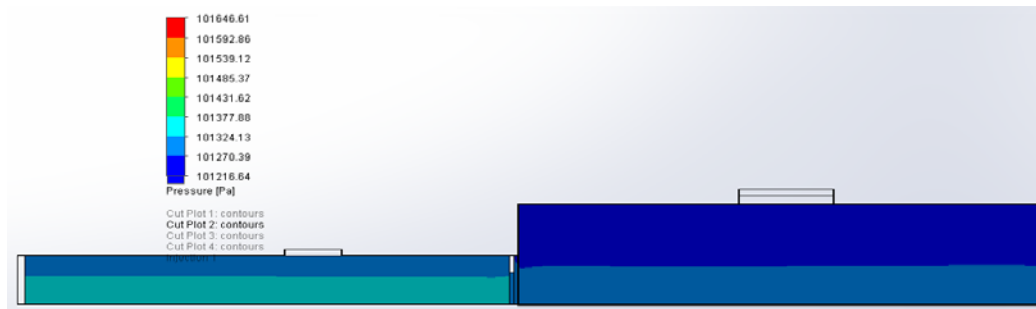


Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на филтъра фиг. 32б



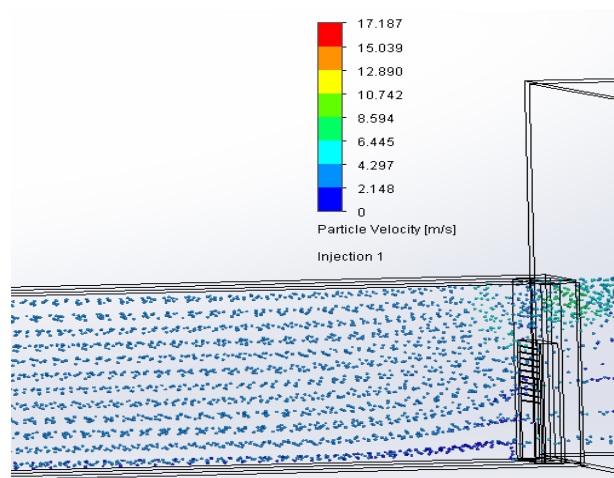
Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на вратата фиг. 32с

- Налягане - фиг. 33



Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела фиг. 33

- Скорост на фини прахови частици 2.5 мик. - фиг. 34



Скорост на фини прахови частици 2.5 мик. фиг. 34

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 микрона. Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС Фиг.35 а и 35 б... – модел 3

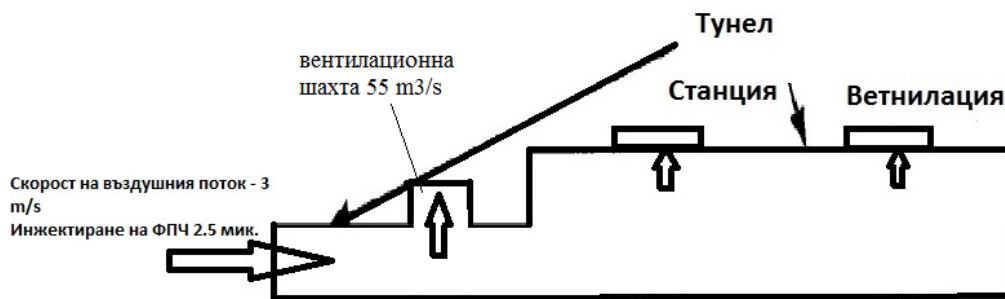


Схема на изследването Фиг.35 а

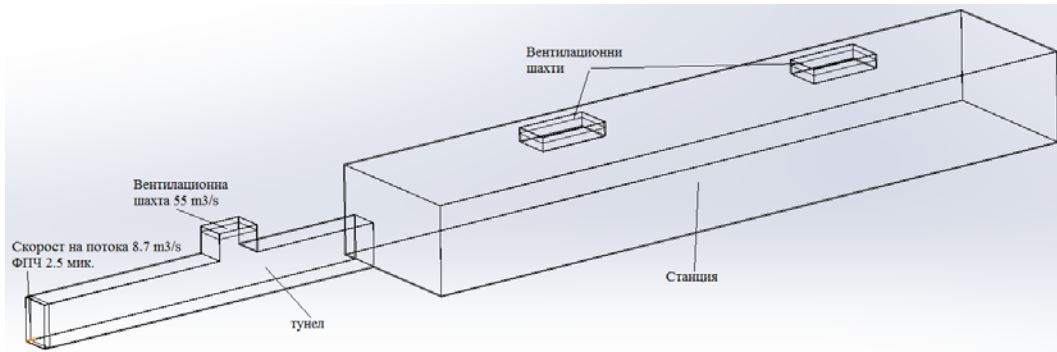
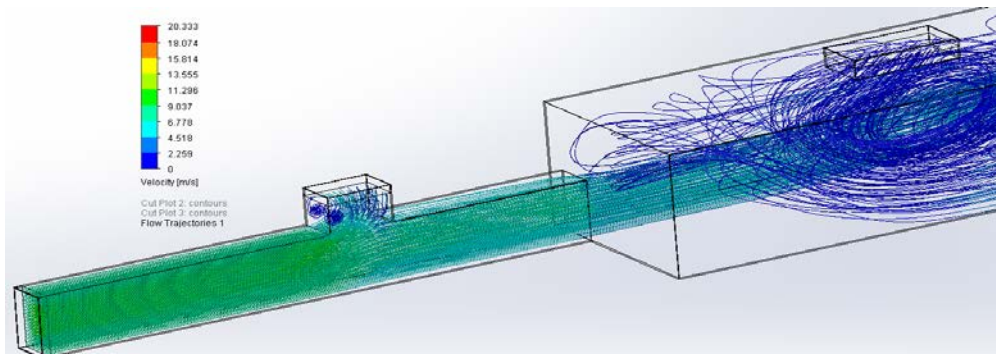


Схема на изследването Фиг.35 б

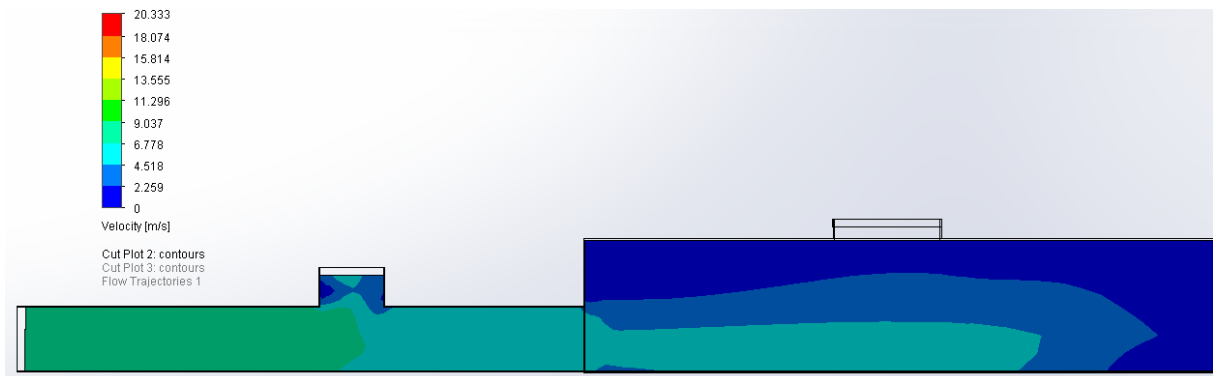
4.4.1 Резултати модел 3

- Траектория на потока - фиг. 36

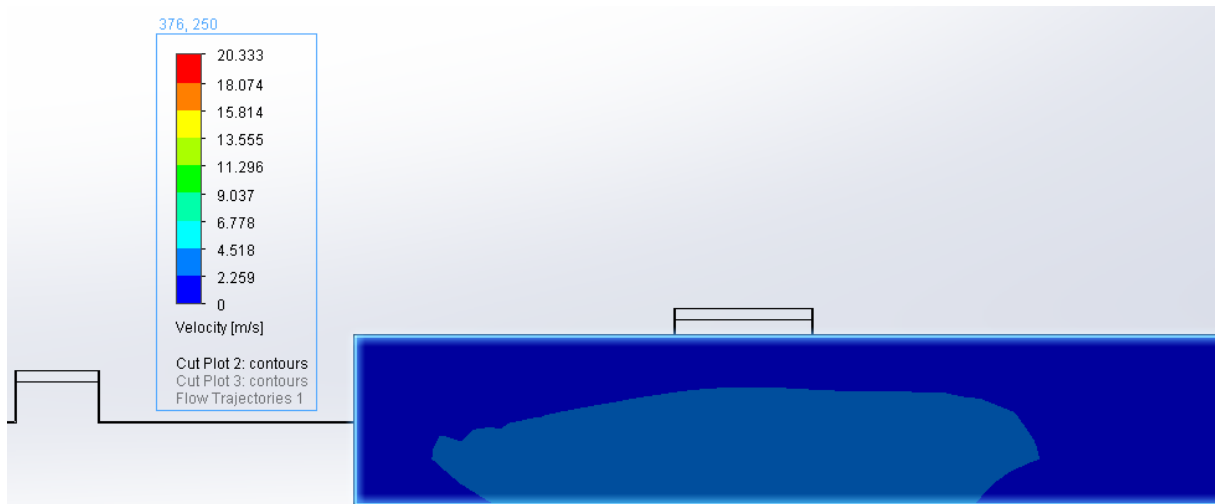


Траектория на потока фиг. 36

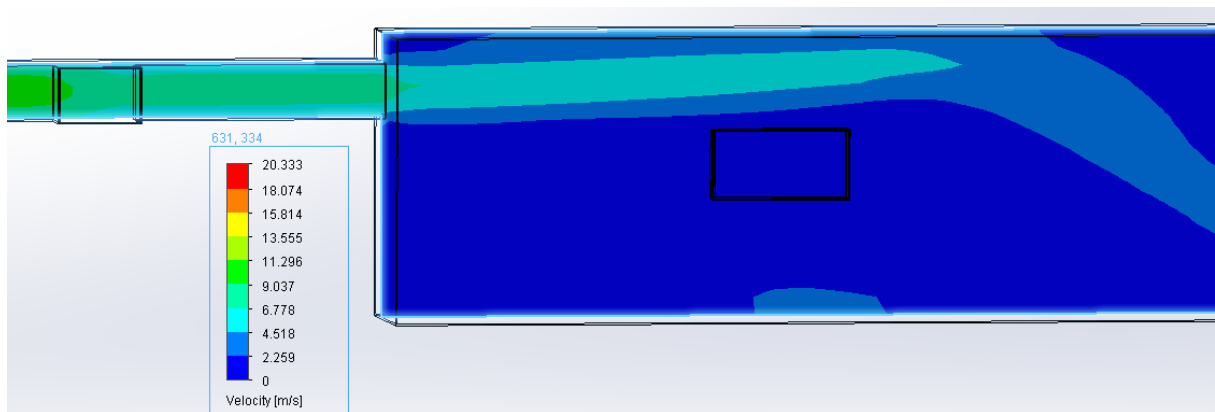
- Скорост на потока - фиг. 37а/б/с



Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела фиг. 37а

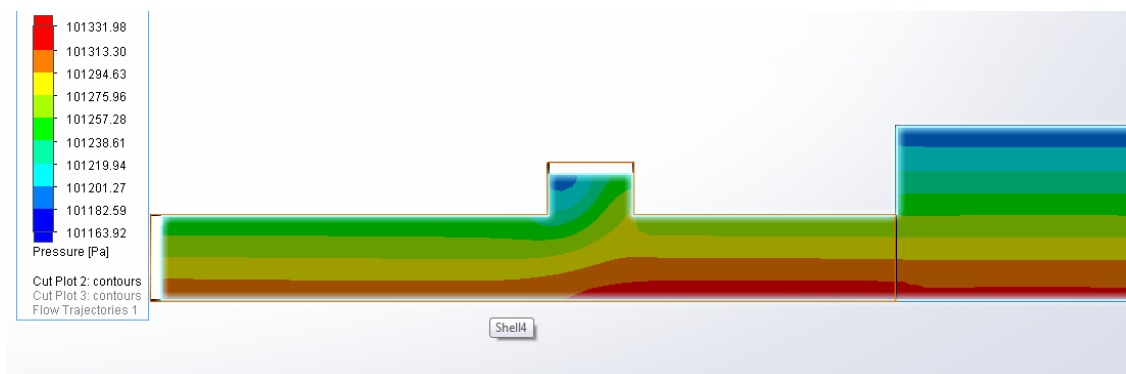


Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела върху платформата фиг. 37б



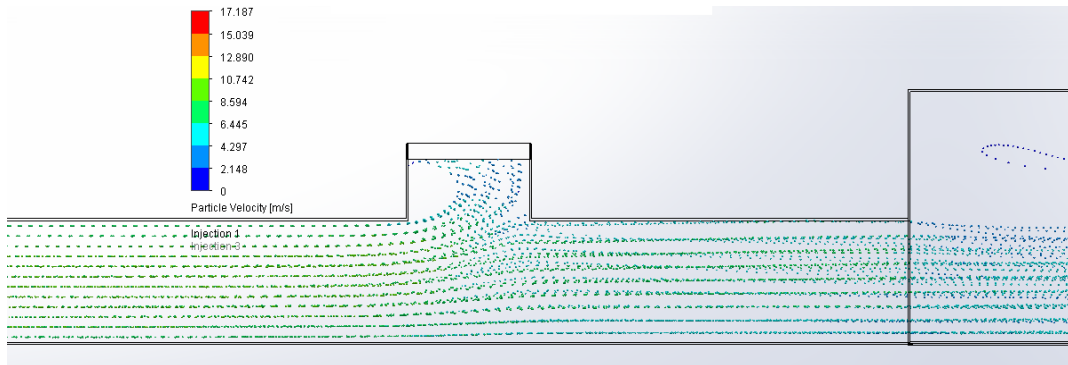
Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела фиг. 37с

- Налягане - фиг. 38



Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела фиг. 38

- Скорост на фини прахови частици 2.5 мик. - фиг. 39



- Скорост на фини прахови частици 2.5 мик. фиг. 39

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 микрона.

Налягането във вентилационната шахта в станцията е зададено на околната среда т.е. 101325 Pa, при 20.0 оС Фиг.40 а и 40 б...

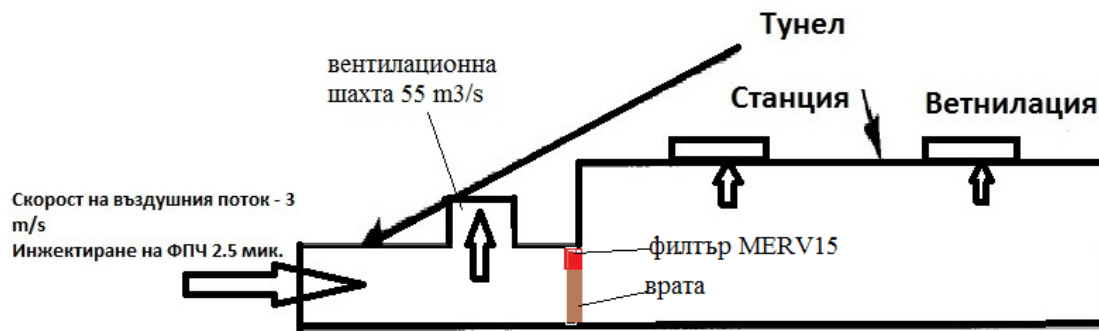


Схема на изследването Фиг.40 а

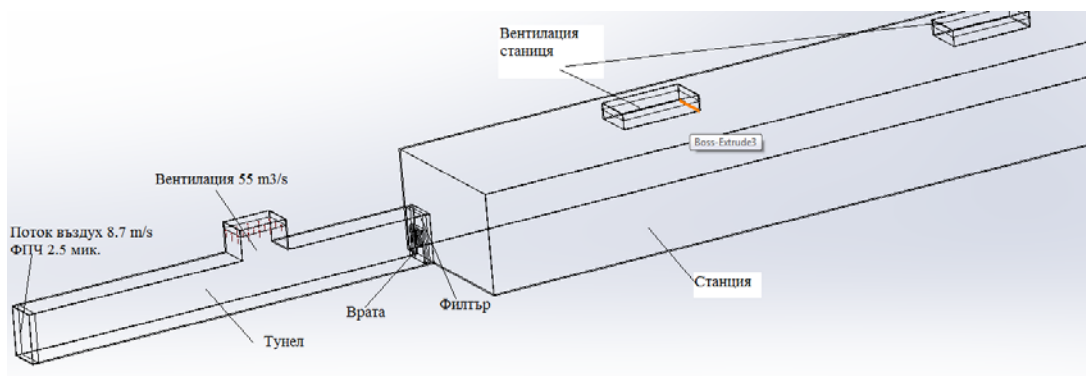
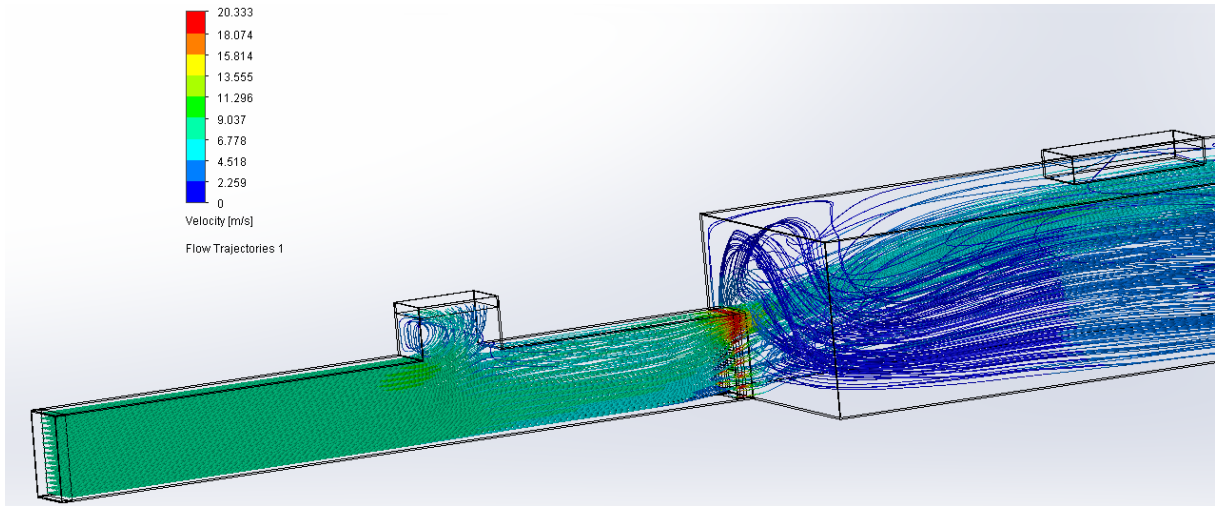


Схема на изследването Фиг.40 б

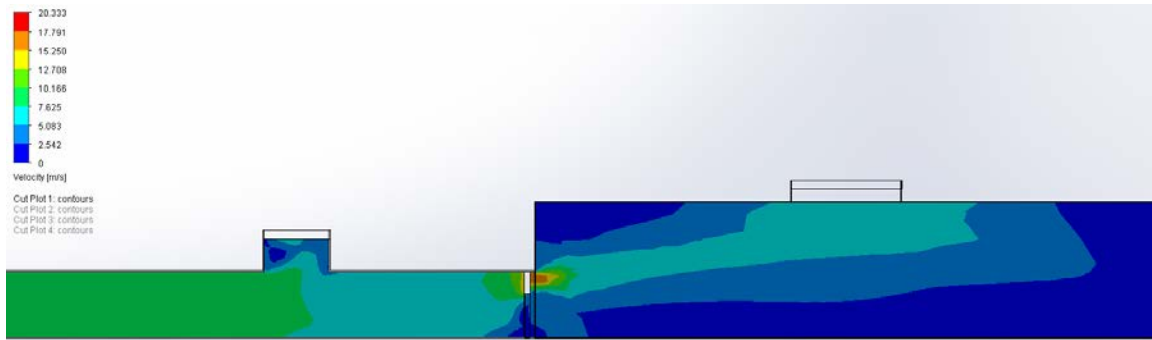
4.5.1 Резултати модел 4

- Траектория на потока - фиг. 41

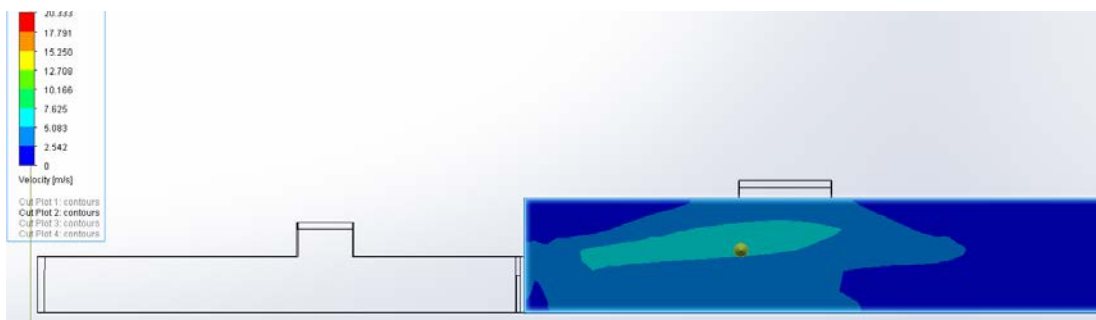


Траектория на потока фиг. 41

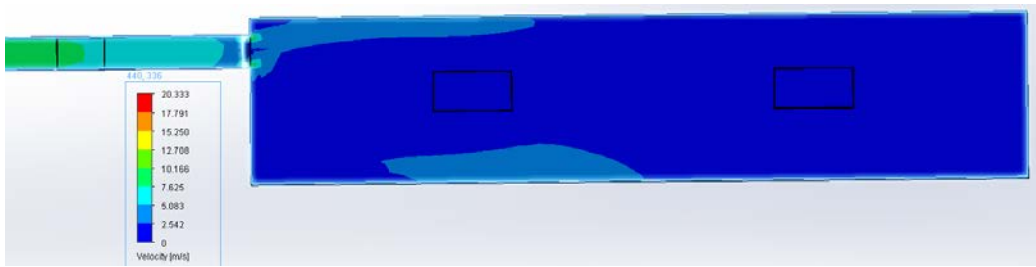
- Скорост на потока - фиг. 42 а/б/с/д



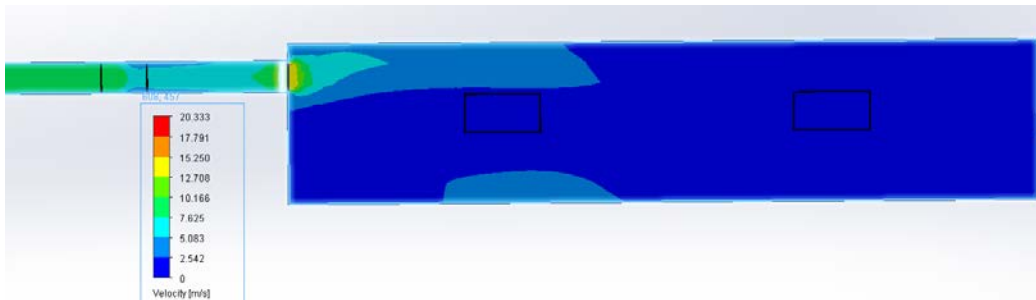
Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела измерена в средата на тунела фиг. 42а



Скорост на потока в плоскост перпендикулярна на пода на тунела върху платформата фиг. 42б

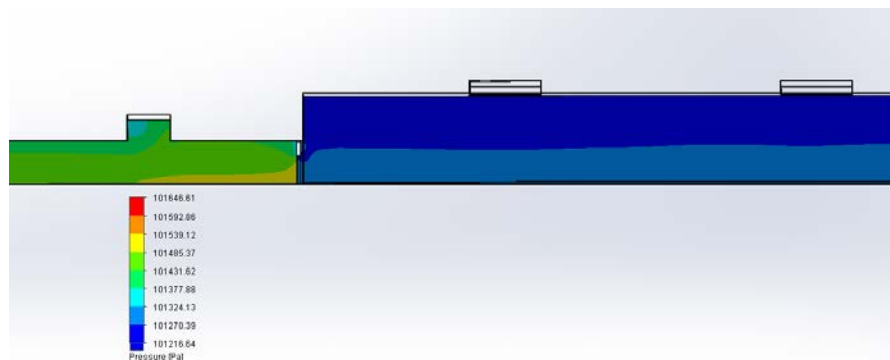


Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на вратата фиг. 42с



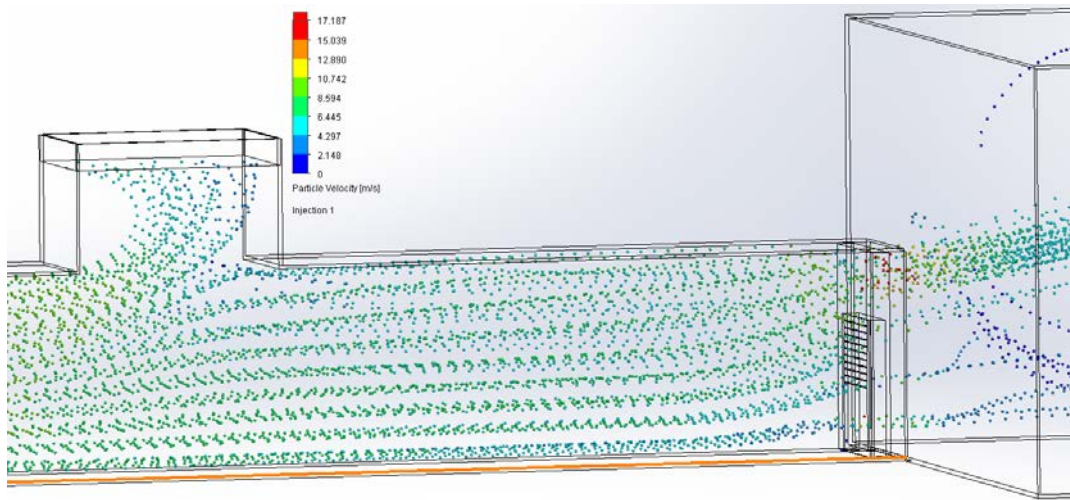
Скорост на потока в плоскост успоредна на пода на тунела на височината на филтъра фиг. 42d

- Налягане – фиг. 43



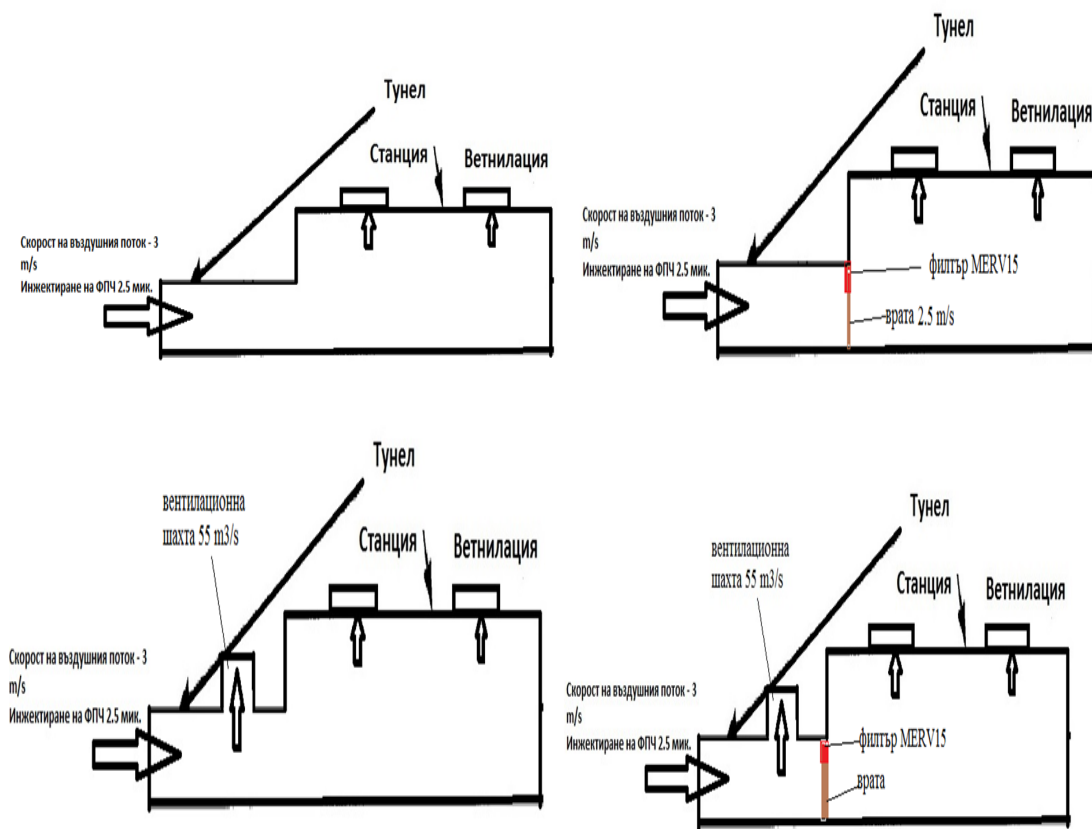
Налягане в плоскост перпендикулярна на пода на тунела фиг. 43

- Скорост на фини прахови частици 2.5 мик. - фиг. 44



Скорост на фини прахови частици 2.5 мик. фиг. 44

5. Сравнителен анализ на 4-те модела - фиг. 45, табл. 5



Сравнителен анализ на 4-те модела фиг. 45

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 m ³ /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 m ³ /s), и инжектиране на ФПЧ 2.5 микрона	55 m ³ /s	146 m ³ /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 m ³ /s), и инжектиране на ФПЧ 2.5 микрона	55 m ³ /s	146 m ³ /s	75% от частиците са филтрирани	25%

Табл. 5.

5.1 Извод: 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. Важните аспекти на

предложения дизайн разширяват своите възможности в областта на пожарната безопасност, защита от терористични атаки, намаляване на времето за реагиране, увеличава времето за осъзнаване на аварийната ситуация и подобаващо реагиране и вземане на важни решения от които зависи човешки живот.

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

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 вентилация в метрото и тунелите,
- Предложени са иновативни подходи с използването на осъвременени защитни системи подземния железопътен транспорт,
- Представени са експериментални резултати и симулационно моделиране с нови защитни системи, анализирани са различните модели.

ПУБЛИКАЦИИ

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, Vuyaga, 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.*

INVESTIGATION AND MANAGEMENT OF PROTECTION SYSTEMS FOR UNDERGROUND TRANSPORT

Nikola Sabotinkov

Institute of Information and Communication Technologies 1113 Sofia

Abstract:

In this study a new method for tunnel ventilation was developed using high-speed roller doors mounted at tunnel entrances and exits at each of the metro stations. The method will improve ventilation efficiency and reduce high concentrations of harmful fine particulate matter (FPM) in two ranges, with particle sizes of less than 10 microns and less than 2.5 microns polluting the air in tunnels and subway stations as a consequence the movement of trains and people. Additionally, it will contribute to increasing safety and reducing energy costs by maintaining a comfortable and secure environment for passengers and staff in stations and tunnels. The used method is simulation and modeling using computing techniques and software to determine airflows in tunnels and metro stations.

Subject of the dissertation

Research and optimization of various innovative approaches for management of underground public transport systems to improve air quality and passenger safety.