



Получена: 27.01.2020 г.

Приета: 26.05.2020 г.

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОБЛЕМА СЪС СНЕГОНАВЯВАНЕТО ПО АВТОМОБИЛНИТЕ ПЪТИЩА В БЪЛГАРИЯ. ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА СРЕЩУ СНЕГОНАВЯВАНЕ НА ВАРИАНТНИ РЕШЕНИЯ НА ЗАЩИТНИ КОНСТРУКЦИИ ОТ СЪОРЪЖЕНИЯ С ИНСТАЛАЦИЯ ОТ PV-ПАНЕЛИ

Е. Иванова<sup>1</sup>, Д. Марков<sup>2</sup>, С. Мижорски<sup>3</sup>

*Ключови думи:* снегонавяване, транспортна инфраструктура, съоръжение с PV-панели

### РЕЗЮМЕ

Снегонавяванията по транспортната мрежа и в частност по републиканската пътна мрежа на България са проблем, чието решение не следва работещи общи методически принципи. Екипът предлага формат и етапност на методологията за проследяване и превенция на риска от снегонавяванията по автомобилните пътища. Методологията е основана на действително заснемане на обекта за обявените климатични данни, които са интегрирани в работна среда на софтуер, симулиращ снежни виелици и основаващ се на изчислителна механика на флуидите. Симулации са проведени за предложените в научната тема идейни конструктивни варианти на снегозащитни съоръжения от стационарен тип с фотоволтаични панели.

---

<sup>1</sup> Евелина Иванова, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kiki1975@abv.bg

<sup>2</sup> Детелин Марков, доц. д-р инж., кат. „Хидроаеродинамика и хидравлични машини”, ТУ – София, бул. „Кл. Охридски“ № 8, 1000 София, e-mail: detmar@tu-sofia.bg

<sup>3</sup> Сергей Мижорски, д-р инж., „СофтСим Консулт ЕООД”, жк Малдост-4, бл. 438, 1715 София, e-mail: smijorski@softsimconsult.com

## **1. Анализ и коментар на проблема снегонавяване по транспортната инфраструктура**

### **1.1. Проблеми и специфика на експлоатацията на транспортната инфраструктура на Р България при зимни условия**

- В дългосрочен план годишните снеговалежи намаляват, но в краткосрочна и средносрочна перспектива има завишен риск от повторяемост на виелици и интензивни снеговалежи, което предполага затруднения в транспортния трафик при зимни условия [3];
- В редица региони равнинният релеф е предпоставка за снегонавявания, които затрудняват или блокират движението по пътищата, като тези ситуации остават устойчиви от няколко часа до няколко дни;
- В такива пътно-транспортни ситуации снегочистващата техника не е в състояние да осигури проходимостта на транспортните трасета и непрекъснатостта на трафика. Особено засегната се оказва пътната инфраструктура, където при тежки зимни климатични условия се налага системно спиране на движението в рамките на републиканската и общинската пътна мрежа за много области на България;
- Превенцията на заснежаването в участъци, при които е регистриран значителен снеготранспорт, се третира в регламентите, отнасящи се до зимното поддържане [1, 2], които не съдържат ресурсни решения за превенция в дългосрочен план. В резултат се констатира липсата на трайни решения чрез естествени и изкуствени противовеетрови бариери, което в перспектива ще увеличава честотата на нарушенията в транспортните услуги при екстремни метеорологични събития;
- Характеристиките на климата, особеностите на релефа, проектните елементи на трасетата, съчетани с неефективна или с липсата на постоянна снегозащита при пътищата и железопътните линии, водят до затруднения и загуби при всички видове сухоземен транспорт през зимния период. Проучванията показват, че особено засегната е пътната мрежа – републиканска и общинска.

### **1.2. Статистическа характеристика на снегонавяванията по територията на България**

Снежното навяване се проявява в резултат от неблагоприятна комбинация на настъпили метеорологични условия – обилен снеговалеж, придружен със силни пориви на вятъра, в резултат на което се реализира директен пренос на значителни по обем снежни маси върху пътното платно, което в повечето случаи води до затваряне на цели участъци от националната пътна мрежа (значителен процент от РПМ).

Публични данни за периода 2010 – 2019 година показват, че такава обстановка е предизвикала в редица административни области регулярен проблем със зимното поддържане поради снегонавявания. По-големите са Ловеч, Разград, Добрич, Шумен, Силистра, Варна, Велико Търново, Габрово, Русе, Разград, Хасково, Смолян, Бургас, Ямбол, Стара Загора, София, Благоевград, Кюстендил [4], което обхваща значителна част от мрежата на транспортната инфраструктура.

Направените проучвания от екипа на научната разработка на данни, достъпни в интернет за период от последните 9 години (януари 2010 г. – ноември 2019 г. – вж. т. 3), показват, че продължително и/или повтарящо се затваряне на републикански пътни отсечки (от автомагистрала до III клас) на територията на цяла България е имало през януари 2010 г., февруари и декември 2012 г., декември 2014 г., януари и декември 2016 г., януари 2017 г., ноември 2017 г., януари, февруари и март 2018 г.

В рамките на тези периоди прекъсване на трафика вследствие от снегонавяване е регистрирано и по железопътната мрежа на страната – по данни от НКЖИ [4].

### **1.3. Анализ на проблема и оценка на капацитета на действащите предпазни регламенти:**

В дългосрочен план годишните снеговалежи намаляват:

- недостатъчен капацитет на национално ниво за реална оценка на необходимостта от превенция;
- решаването на даден практически проблем, като снегонавяването, е комплексен процес. Съществуващите стандарти не обхващат съвместното взаимодействие между елементите на системата „ландшафт-линеен обект-климатични компоненти“;
- не съществува оценъчен алгоритъм за очакваната ефективност на конкретно прилагана снегозащита (временна или постоянна) за даден критичен участък в условията на разнообразни климатични комбинации;
- ефективността на преградите от различен тип, които са прилагани до момента в последните години, е минимална, защото капацитетът им е ограничен от редица фактори като: тип конструкция, местомонтаж, липса на място за развитие на системата от ограничители – зелени пояси и други.

По-важните от тях са:

- поставянето и ефективността на преградите от преместваеми щитове с временно предназначение са затруднени от следните ограничителни условия;
- щитовете не са разработени в рамките на регламентно определена продуктова гама;
- преместваемите щитове са потенциален обект на недобросъвестност – кражба, изместване, унищожаване, други;
- поставянето на временни снегозащитни съоръжения в повечето случаи е затруднено, защото разположението им е извън имотната граница на пътя и е съпроводено с отказ за ползване от собствениците или изисква тежки отчуждителни процедури с висока финансова рамка за обезщетения и значителна продължителност във времето.

Гореописаното илюстрира необходимостта от провеждането на широкообхватен научно-приложен инструмент, който да задава избора на типа снегозащитни съоръжения (постоянни или временни) и вида на конструктивната им система, и който включва цялостния процес на проектиране на защитната система за конкретното взаимодействие между средата, въздействието и приемника.

#### 1.4. Изводи и обосновка на необходимостта от научен подход за решаване на проблема в условията на участъкова нехомогенност на системата терен – път – климатична зона

В България през последните 10 години многократно са регистрирани случаи на затворени и блокирани пътни участъци от РПМ поради снегонавяване, което е предмет на анализ и в „Националната стратегия за адаптация към изменението на климата и план за действие“ / сектор „Транспорт“. В него се отправя препоръка към АПИ и НКЖИ за предприемане на дейности към усъвършенстване на стандартите за експлоатация и поддържане в отговор на АИК, като авторите предлагат варианти за адаптация (фиг. 1), с които да се обезпечи пътната инфраструктура с национално значение.

Анализът на екипа от научната разработка към ЦНИП при УАСГ по договор 210 от 2018 година и екипът, изготвил Приложение 7 [3], достигнахме до единно становище за необходимост от общообхватна методика за превенция на снежните наваявания по транспортната инфраструктура в условията на АИК.

III. Преглед и усъвършенстване на стандартите за експлоатация и поддържане				
<b>15. ИДЕНТИФИЦИРАНЕ НА ПЪТНИТЕ УЧАСТЪЦИ С ВИСОКА УЯЗВИМОСТ КЪМ ЕКСТРЕМНИ ЗИМНИ КЛИМАТИЧНИ СЪБИТИЯ</b>				
От значение за:	Пътница	Железници	Воден транспорт	Въздушен транспорт
Описание	Х			
Релевантност на опцията	Провеждане на проучване на участъците с висок риск от нарушаване на движението поради виелици и обилни снеговалежи. Потенциални участници: АПИ.			
Икономическа	Екологическа	Социална	++	
Възможности, които предоставя	Резултатите от проучването биха послужили като основа на регионалните подразделения на АПИ да подобрят превантивното поддържане и за насочване и приоритизиране на интервенциите в случай на екстремни събития.			
Въздействие извън този сектор	ДА	Човешко здраве, туризъм		
Обхванати рискове	Снеговалежи, виелици.			

Подотрасъл	Описание:	Потенциални участници
Пътница	Оценка на критичността на участъците на РПМ като се използва моделът на трафика, наличен в Института по пътища и мостове (част от АПИ) по съответната методика.	АПИ
Пътница	Провеждане на проучване на участъците с висок риск от нарушаване на движението поради <i>виелици и обилни снеговалежи</i> .	АПИ
Пътница	Въз основа на проучването за риск от виелици и снеговалежи и отчетайки проучването за критичността на пътните участъци, изготвяне и изпълнение на <i>програма за повишаване устойчивостта</i> на най-уязвимите участъци (напр. засаждане на растителност срещу снегонавявания, поставяне на снеgoзащитни съоръжения и т.н.).	АПИ
Железници	Оценка на критичността на отсечки от националната железопътна мрежа	НКЖИ
Железници	Провеждане на официално проучване за участъците с висок риск от нарушаване на движението поради <i>виелици и обилни снеговалежи</i> .	НКЖИ
Железници	На база проучването на риска от виелици и обилни снеговалеж, както и във връзка с обследването на критичността на железопътните отсечки, да се изготви и изпълни програма за повишаване устойчивостта на най-уязвимите отсечки (напр. засаждане на растителност срещу снегонавявания, поставяне на снеgoзащитни съоръжения и пр.)	НКЖИ

Фиг. 1. Извадка на опции за адаптация към изменението на климата – преглед и подобряване на стандартите за експлоатация и поддържане, публикувани в [3]

#### 1.5. Заключение и проектна цел на научната разработка

Решението на проблемите със снегонавяването в дългосрочен план да бъде базирано на създадена единна методика за оценка, която да се прилага индивидуално за всяко проектно задание, чиято защита да се оценява с параметричен анализ на променливи като:

- тип защитно съоръжение;
- посока и скорост на преобладаващите ветрове през зимния сезон;
- особености на ландшафта (наличие на материални препятствия);
- геометрични и технически параметри на пътното трасе;
- поведение на снежния трансфер и други.

Съчетанието на гранични параметри трябва да бъде проследено в условията на експеримент, чрез който в оценъчния алгоритъм ще се даде възможността за проследяване на пространственото поведение на снежните виелици със съвременни моделиращи софтуерни инструменти.

Целта на научната разработка е достигане на теоретична основа с практическо приложение, която дава възможност за ефективна превенция от снегонавяване по пътищата и възможна оптимизация на предлаганите вариантни решения.

## **1.6. Оформяне на принципите на алгоритъма за практическо прилагане на създадената методология. Въвеждане на първична процедура и анализ на необходимите бази с данни за нуждите на числените симулации за двата типа тестове**

### **1.6.1. Идентифициране на пътни (железопътни) участъци с висока уязвимост към снегонавявания по територията на страната**

Определяне на пътните участъци съобразно статистически данни за повторяемост на снежните наваявания. През втората година на проекта колегите от екипа проучиха възможностите за достъп до информация за затваряне на участъци в следствие от снегонавяване на националната пътна и железопътна мрежа на България. В процеса на търсене беше установено, че част от информацията се съдържа в „годишните планове за бедствия и аварии“ или в тези за „действия при снегонавявания и обледявания“ на общинската и областна администрация на Р България.

Сериозен недостатък е фактът, че само малка част от общините и областите публикуват публично този род ежегодни документи.

**Извод:** Сериозна липса на достъпни бази с данни в национален план.

### **1.6.2. Определяне на пътните участъци съобразно геометрични проектни параметри на трасетата**

Елементи на пътното тяло в напречен профил (изкоп, насип, смесен, права хоризонтална крива) в частност неблагоприятните случаи на ниски насипи с височина под 1,5 – 2,0 m.

### **1.6.3. Определяне на пътните участъци съобразно ландшафтната предразположеност на терените извън пътното платно**

В обхвата на настоящия научен проект бяха идентифицирани пътни участъци с висока уязвимост към снегонавявания по АМ „Тракия“ и АМ „Хемус“ (от km 387+200 до km 392+300), въз основа статистически данни за повторяемост на снежните явления в съчетание с проектните параметри на високоскоростнатните отсечки. За участъка от km 357+800 до km 358+800 от АМ „Тракия“ (при пътен възел „Айтос“) се направи параметричен анализ със симулации на снежни наваявания, като за оценката променливи бяха параметрите на защитните съоръжения. Той дава информация за възможностите за оценка на методологията. За двата участъка е направена оценка на фотоволтаичния потенциал, респективно сравнителен анализ за двете основни трасета в Южна и Северна България [5].

### **1.6.4. Обследване и заснемане на място на избраната пътна отсечка**

- геодезическо заснемане на пътя и терена на избрания подучастък;
- визуално заснемане на трасето и пространствените елементи върху терена.

### **1.6.5. Създаване на триизмерен числен модел на теренната повърхност на заснетата пътна отсечка**

Посредством софтуер за проектиране на линейни обекти се създават 3D числови модели на теренната повърхност за разглеждания обект в CAD-среда.

### **1.6.6. Окончателен триизмерен числен модел на теренната повърхност и пътното трасе**

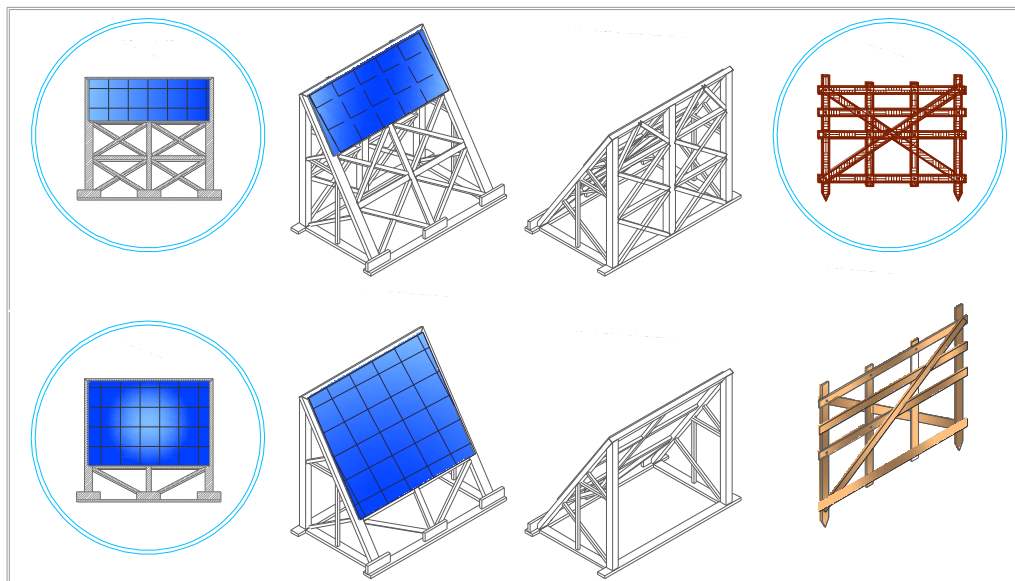
Създаване на подложка (или „изградена“ директно в съответния специализиран софтуерен продукт), необходима за основа на изследването на базата на изчислителна механика на флуидите (CFD).

### **1.6.7. Разработване на варианти на предварителна геометрия и степен на замреждане на съоръжения против снегонавяване – оценка на ефективност при търсена мултифункционалност [5]**

- Идейни предложения на вариантни решения, преместваеми и/или непреместваеми, с частична или смесена проницаемост.
- Избор на съоръжения, с които да се проследи ефективността на методиката, в каква степен тя дава информация за защитния потенциал на модификации на конструкциите.
- Идейни варианти – избор на монтажни схеми за снегозащитни съоръжения за нуждите на структурата на оценъчната методика – фиг. 2. Приложиха се принципи, които съдържаха задачи, на които да отговарят конструкциите, предмет на изследване от създадената методика. Идейните варианти се предложиха, като решение, отговарящо на следните обобщени от екипа показатели:
  - задачи, свързани с избора на степен на проницаемост (от 0 до  $n\%$ ) и на разположението в план на основните елементи на преградите;
  - задачи, свързани с избора на материал за реализиране на монтажните схеми;
  - задачи, свързани с ограничения при избора на крайните вариантни на конструктивни решения като типизиране на монтажните схеми, съчетаване на елементите, обезпечаване срещу повреди и унищожаване и други;
  - задачи, повлияващи на окончателния избор на конкретно решение – възможности за въвеждане на нови технологии (поставяне на PV-модули), оптимизиране на цената спрямо продукта, икономически инструменти за намаляване на себестойността и други.

### **1.7. Окончателно избрани идейни варианти, предмет на двата типа изследвания – фиг. 2 и [5]**

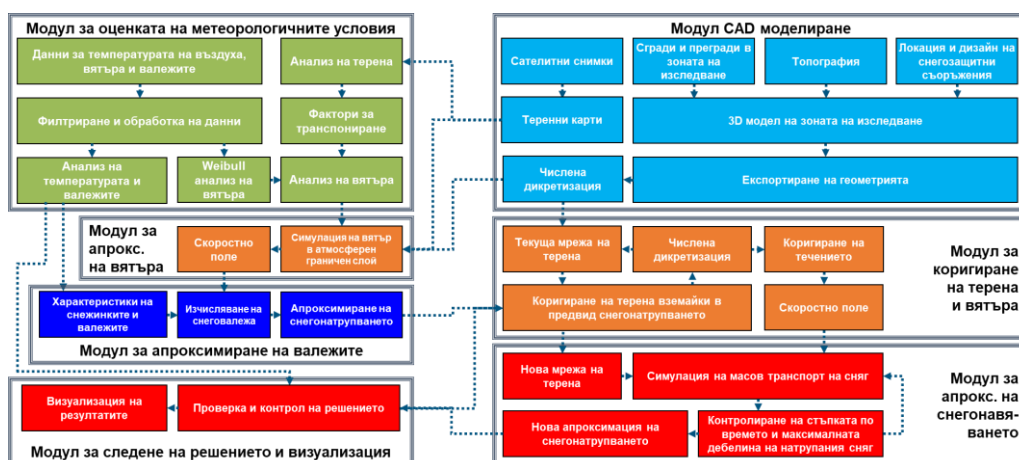
За нуждите на снегозащитния потенциал през първи етап се проектира идейно геометрично решение на преместваем щит, съгласно посоченото в българските наредби – фиг. 2. За параметричното изследване, което се проведе през втората година, се използваха постоянните снегозадържащи съоръжения с фотоволтаични панели – фиг. 2.



Фиг. 2. Окончателно избрани идейни варианти, предмет на двата типа изследвания

## 2. Проследяване на методологията за защита от снегонавяване чрез оценка на ефективността на мерките за противодействие при реални условия на проблема

### 2.1. Идеен подход за оценка на ефективността на снегозащитни съоръжения – фиг. 3



Фиг. 3. Диаграма на предложените програмни модули

Предложеният идеен подход за оценка на ефективността на снегозащитни съоръжения се базира на мултимодулно моделиране на натрупване и пренос на снежна маса в зоната на изследване. Той включва различни числени методи за моделиране, разпределени в седем взаимно свързани модула: за САD моделиране; за оценката на метеорологичните условия; за апроксимиране на локалната посока и скорост на вятъра с метода на Изчислителна Механика на Флуидите (ИМФ); за апроксимиране на снеговалежа с метода на Лагранж за проследяване на траекториите на частици; за коригиране на терена и вятъра (след снеговалеж и снегонавяване); за апроксимиране на снегонавяването с метода на крайните елементи; за следене на решението и визуализация на числените резултати фиг. 3.

## 2.2. Цел, обхват и задачи на численото изследване

Таблица 1. Етапи на научната разработка

Етап на научната разработка	Числени резултати	Анализ
Параметрично числено изследване на ефективността срещу снегонавяване на преградна стена от два типа преместваеми щитови конструкции.	Скоростно поле при три референтни стойности на вятъра, по големина и посока, и при 2 типа преградни стени (общо 9 конфигурации).	Визуализиране и оценка на ефективността на преградните стени при изследваните референтни стойности на вятъра.

## 2.3. Разположение на изследваната отсечка от АМ „Тракия“ и метеорологичната станция

На този етап от изследването е предвидено извършването на параметричен числен анализ на ефективността срещу снегонавяване на преградна стена, изградена от два типа преместваеми щитови конструкции в зона от АМ „Тракия“.



Фиг. 4. Разположение на изследваната отсечка от АМ „Тракия“ и метеорологичната станция в зоната на летище „Сарафово“, Бургас

Задачата в изследването е получаване на резултати относно скоростното поле на вятъра в приземния граничен слой върху терена при отчитане на взаимодействието му с наземните обекти (топография на терена, сгради, съоръжения, растителност и др.) и локализиране (визуализиране) на зоните с по-голям риск от осъществяване на процес на ерозия на снега или от снегонавяване.

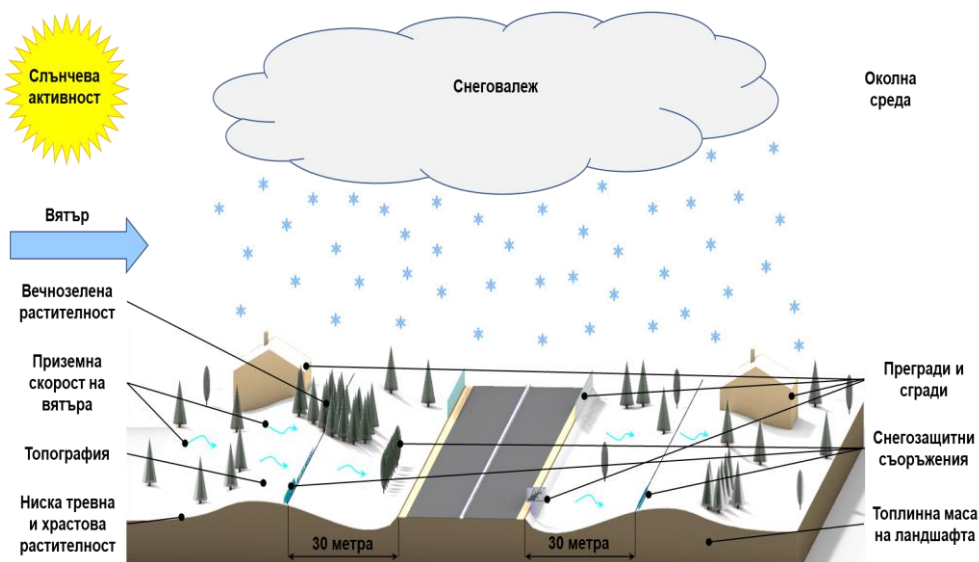
Численото моделиране е извършено от екип под ръководството на доц. д-р инж. Детелин Марков (кат. „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“ на Технически университет – гр. София). Числените симулации са извършени от фирма „СофтСим Консулт“ ЕООД, София, от д-р инж. Сергей Мижорски.

За постигане на поставената цел е:

- извършена статистическа обработка на данните за вятъра в период от 10 години (01.2008 – 12.2018) измерени в метеорологична станция, разположена на площадката на летище Сарафово, град Бургас, която е около 12 km в посока юг-югоизток от изследвания участък от АМ „Тракия“;
- създадена изчислителна процедура за апроксимиране на скоростното поле на вятъра в приземния атмосферен граничен слой в зоната на изследвания участък от АМ „Тракия“;
- извършено числено моделиране по отношение на скоростното поле при три референтни условия на посоката и скоростта на вятъра в изследвания участък от АМ „Тракия“ при липса на снеготъйни съоръжения и при снеготъйно съоръжение, изградено от два типа прегради.

## 2.4. Фактори, влияещи на снегонатрупването – библиографско проучване

Процесът на натрупване и пренос на снежна маса в дадена област е комплексен физичен феномен, зависещ от множество разнородни фактори. На фиг. 5 схематично са представени факторите, които оказват влияние върху процеса на снегонатрупване.



Фиг. 5. Графично представяне на факторите, влияещи на снегонатрупването

Основните параметри са следните:

- климатични условия – атмосферно налягане, влажност и температура на въздуха;
- ветрови условия – скорост и посока на вятъра, турбулентна интензивност, тип на вятъра – постоянен вятър или вятър с пориви;
- процес на снеговалеж – интензивност и продължителност, тип на снежинките;
- топлинна маса на ландшафта в изследваната област и околностите – обем на отделните обекти, плътност, коефициент на топлопроводност, специфичен топлинен капацитет;
- наличната растителност в изследваната област;
- състоянието на изследваната област и околностите в началото на снеговалежа – температура на повърхността, влажност на повърхността, налична снежна покривка;
- взаимодействието на вятъра с приземните обекти – топография, сгради, съоръжения, растителност;
- слънчева активност.

Основите за изследването на натрупване и пренос на сняг в резултат на взаимодействието с вятъра в приземния слой са поставени през 1972 година. Първото детайлно експериментално изследване е завършено и публикувано от Kobayashi [6]. На базата на значителен брой тестове при различни климатични условия са оценени и измерени депонирането и ерозията на сняг, като са изведени емпирични зависимости, обвързващи снегонавяването със скорост на вятъра в приземния слой на 1 метър височина над снежната повърхност.

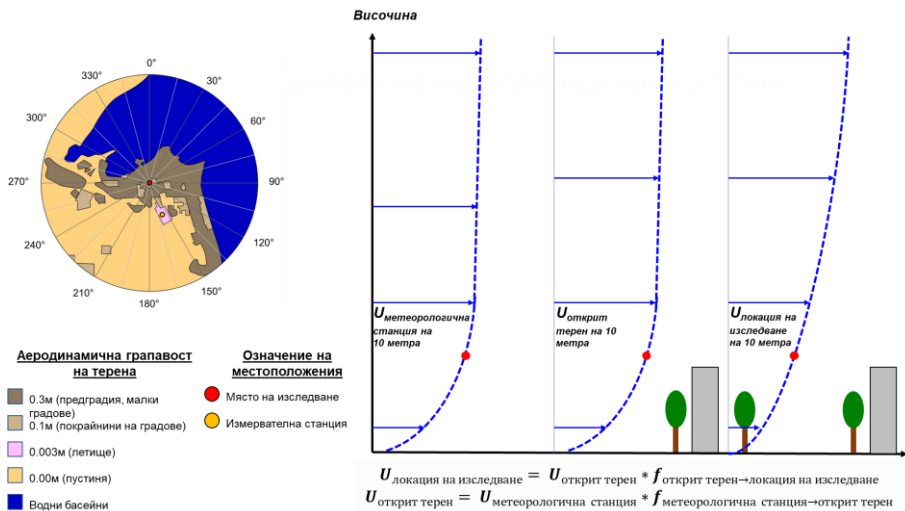
Въз основа на литературното проучване е прието, че за скорост на вятъра под 5 m/s на височина от 1 m над снежната повърхност, вероятността за ерозия на снега и хоризонтален пренос на сняг е пренебрежимо малка. Така могат да се очертаят зони около изследваната отсечка от магистралата и снегозащитните съоръжения с по-ниска или по-висока скорост на вятъра и съответно с по-висок риск за снегонатрупване, както и да се изчисли вероятността зададената критична стойност на приземния вятър да бъде превишена в зависимост от локалните параметри на въздействието.

#### **2.4.1. Анализ на данните за вятъра в изследвания участък**

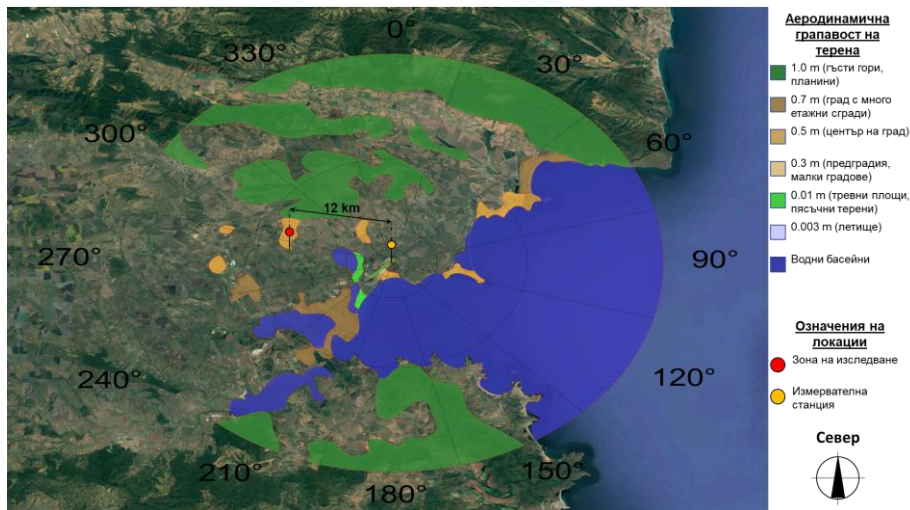
Входните данни за анализа включват скорост и посока на вятъра, измерени за представителен период от време. В текущия анализ са използвани данни за период от 10 години (01.2008 – 12.2018), като общият брой на записите за зимните дни в този период е 77250.

За обвързване на информацията за вятъра, измерена в станцията с информация за вятъра в изследваната зона от АМ „Тракия“, е използвана изчислителната програма ESDU 01008 (2019). С нейна помощ са изчислени транспозиционни фактори (вж. фиг. 6).

На фиг. 7 са маркирани различните типове терен в зависимост от аеродинамична грапавост, както и местоположението на зоната около изследвания участък от АМ „Тракия“ и на метеорологичната станция.



Фиг. 6. Параметри, влияещи на оценката на метеорологичните условия



Фиг. 7. Теренна карта

#### 2.4.2. Числен модел и симулации

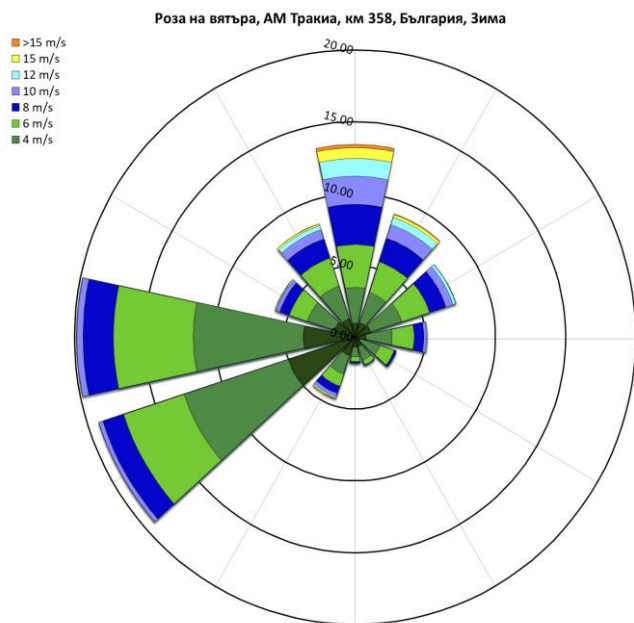
Анализът на вятъра е базиран на разпределението на Weibull (Carrillo et.al., 2014), като резултатната роза на вятър на 10 метра височина за периода от 2008 г. до 2018 г. за зимен сезон – фиг. 8.

Извършена е симулация на разпространението на вятъра в зоната около участък „358 km” от АМ „Тракия”. Този участък е с ориентация Изток-Запад, с преобладаващ вятър през зимния период с посока Север-Юг и скорости над 15 m/s (фиг. 8). За нуждите на експеримента са проведени симулации на разпространението в изследваната зона на северен вятър със скорост 5 m/s, 10 m/s и 15 m/s. Симулациите са проведени при три случая на снегозащитни съоръжения, избрани от идейните решения, предложени в [5] – фиг. 9:

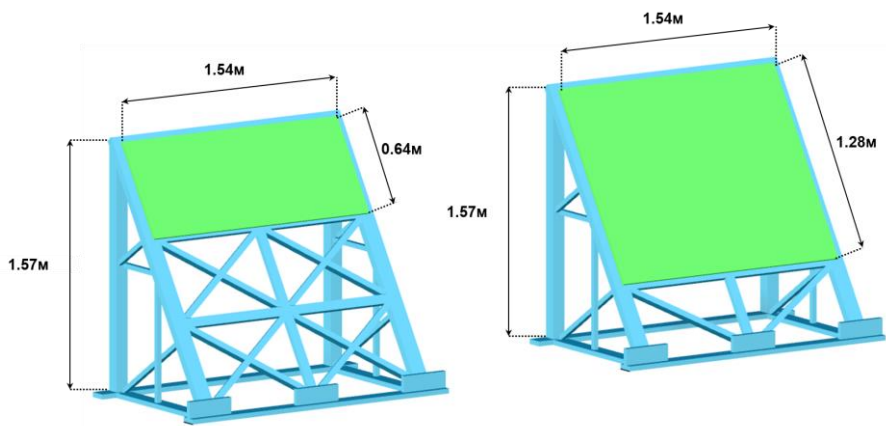
- а) конфигурация без снегозащитни съоръжения;
- б) конфигурация с малък панел на снегозащитни съоръжения (фиг. 9);
- в) конфигурация с голям панел на снегозащитни съоръжения (фиг. 9).

При конфигурации б) и в) панелите са разположени плътно по дължината на трасето на разстояние 30 m в посока север от северния край на асфалтовото покритие.

На базата на тези симулации (общо 9 случая) е извършен параметричен анализ на ефективността срещу снегонавяване на преградни стени от постоянни щитови конструкции в зоната на участък „358” km от АМ „Тракия“ при северен вятър.



Фиг. 8. Роза на вятъра, АМ „Тракия“, km 358+000, България, зимен сезон (2008 – 2018)

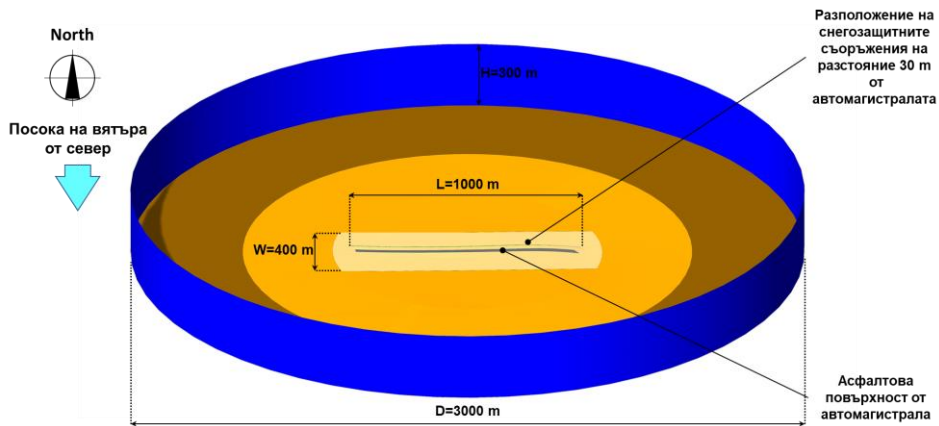


Фиг. 9. Тествани конфигурации на снегозащитни съоръжения, идейни варианти с малък и голям PV-панел, предмет на двата типа изследвания

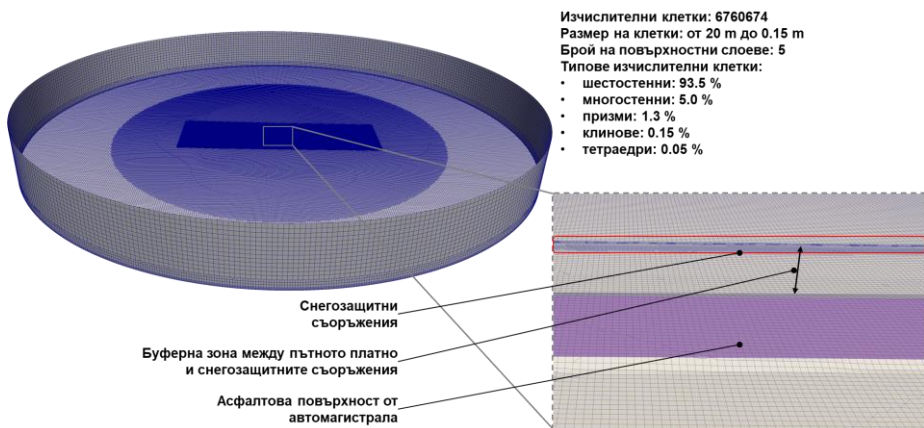
Основните параметри са следните:

- Числени модели: проведени са три стационарни симулации за всяка от конфигурациите на преградните стени, като е използван софтуерен продукт OpenFoam® [7]. Численият модел, приложен за стационарните симулации е базиран на метода с усреднени Рейнолдсови напрежения (RANS), в комбинация със SST  $k-\omega$  турбулентен модел (Shear Stress Transport  $k-\omega$ ). За достигане на сходимост на стационарните решения са проведени 1000 итерации с изчислителния модул simpleFoam [8];
- Геометричен модел и пространствена дискретизация: изчислителната област включва целия изследван участък от магистралата с дължина от 1 km (фиг. 10). Изчислителната област е с цилиндрична форма с диаметър 3 km и височина 300 m. Центърът на основата на изчислителната област съвпада със средата по дължина и ширина на изследвания участък.

Изчислителната област е дискретизирана с помощта на модула snappyHexMesh [9] за трите изследвани конфигурации.

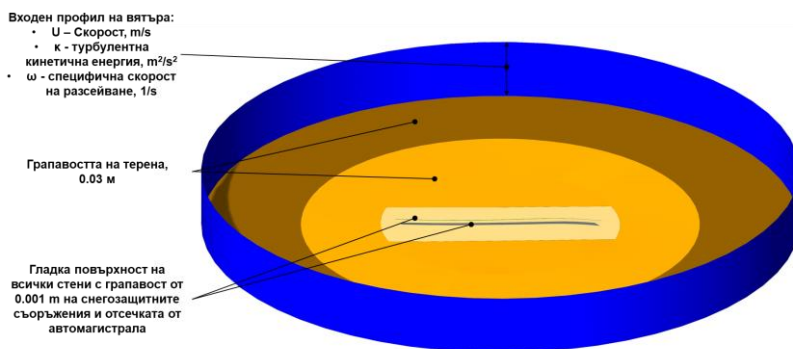


Фиг. 10. Модел за апроксимиране на локалната посока и скорост на вятъра



Фиг. 11. Пространствена дискретизация на изчислителната област – конфигурация с голям панел на снегозащитни съоръжения

- Гранични условия – дефинирани са за стационарните симулации за апроксимиране на локалната посока и скорост на вятъра и са представени на фиг. 12.



**Фиг. 12. Гранични условия на модела за апроксимиране на локалната посока и скорост на вятъра**

### 2.4.3. Резултати и дискусия

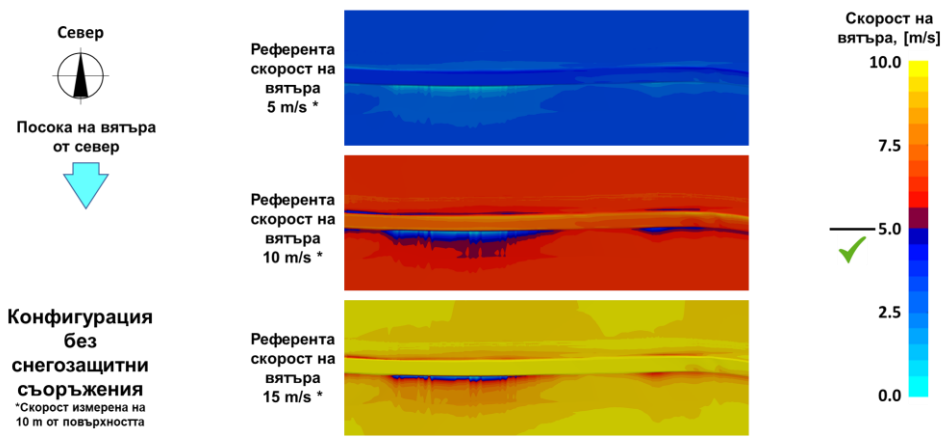
Числените резултати от сравнителния анализ за трите конфигурации на снегозащитни съоръжения (а, б и в) в зоната на участък „358 km” от АМ „Тракия“ са представени чрез визуализация на скоростното поле на вятъра и продължителност на интервала от време през зимата, в който е превишена критичната скорост на вятъра от 5 m/s на 1 m височина от повърхността:

- конфигурация без снегозащитни съоръжения – фиг. 13;
- конфигурация с малък панел на снегозащитни съоръжения – фиг. 14;
- конфигурация с голям панел на снегозащитни съоръжения – фиг. 15;
- времето през зимата, за което е превишена критичната скорост на вятъра от 5 m/s на височина 1 m при ветрове, идващи от север за различни конфигурации на снегозащитни съоръжения – фиг. 16.

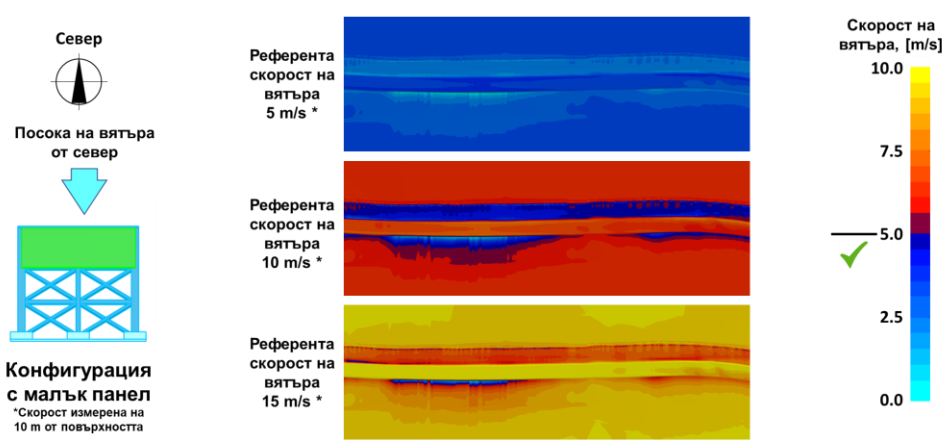
На фиг. 13, 14 и 15 е визуализирано скоростното поле на височина 1 m от повърхността в правоъгълник с дължина 1 km (дължина на изследвания участък) и ширина 300 m (по 150 m в посоки север и юг от централната линия на трасето). Влиянието на снегозащитните съоръжения върху големината на скоростта в буферната зона между преградата и северния край на пътното платно е демонстрирана при различни референтни скорости на 5 m/s, 10 m/s или 15 m/s.

На фиг. 16 се наблюдава значителното намаляване на времето през зимата, за което е превишена критичната скорост на вятъра от 5 m/s в 30-метровата зоната преди пътната настилка при ветрове, идващи от север за конфигурациите с преградни стени. Вариантът с голям панел намалява значително времето, през което би трябвало да се наблюдава ерозия на натрупания сняг в буферната зона.

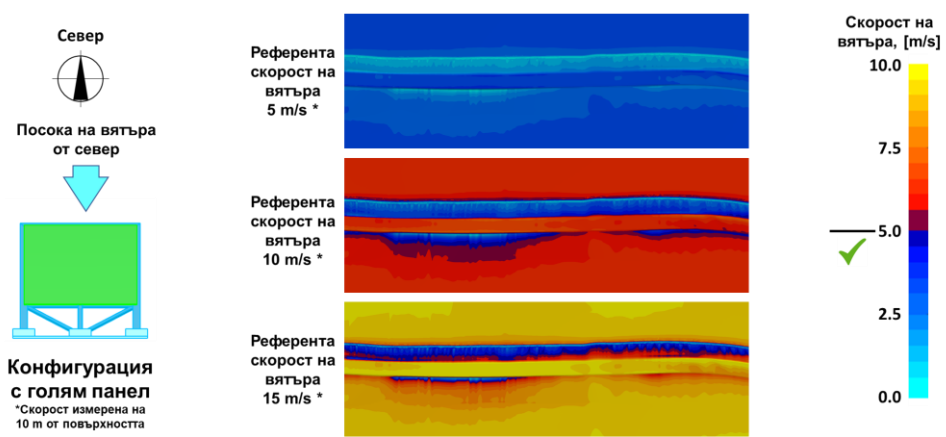
Снегозащитните съоръжения от двата типа (с малък панел и с голям панел) намаляват големината на скоростта в буферната зона. Този ефект е много по-изразен при конфигурация с голям панел. Разстоянието между снегозащитните съоръжения и автомагистралната отсечка се явява като буферна зона, в която би трябвало да се осъществява процесът на „утаяване” на снежните частици и депониране на сняг при настъпване на снегонавяване.



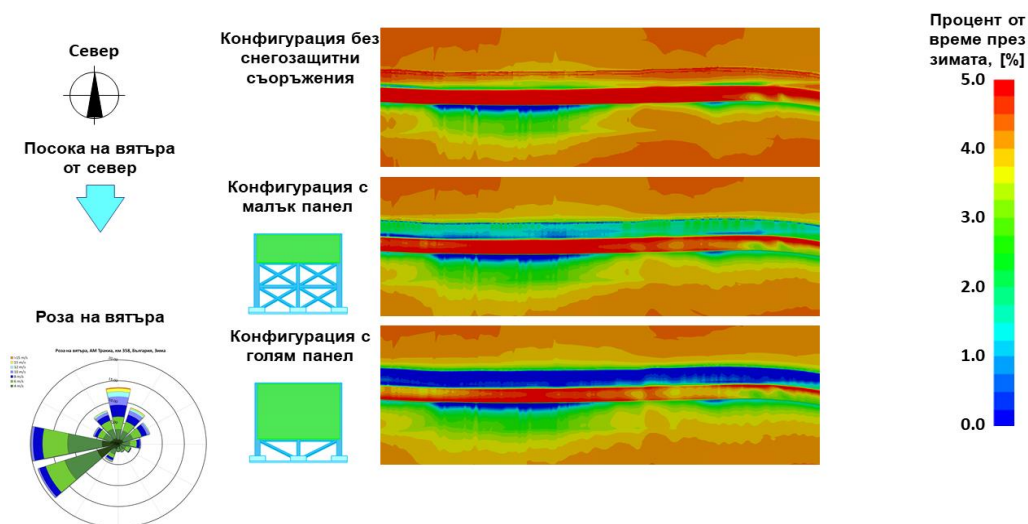
Фиг. 13. Скоростно поле на вятъра – конфигурация без снегозащитни съоръжения



Фиг. 14. Скоростно поле на вятъра – конфигурация с малък панел на снегозащитни с-я



Фиг. 15. Скоростно поле на вятъра – конфигурация с голям панел на снегозащитни с-я



**Фиг. 16.** Времето през зимата, за което е превишена критичната скорост на вятъра от 5 m/s при ветрове, идващи от север за различни конфигурации на снегозащитни съоръжения

Сравнителният анализ между различните тествани конфигурации показва, че за съоръжение на прегради с голям панел трябва да се очаква по-значителна редукция на скоростта на вятъра в буферната зона, респективно при настъпване на снегонавяване, същата би била по-ефективна в процеса на утаяване на снежните частици и депозирането на сняг.

Представените числени резултати еднозначно демонстрират, че превенцията от снегонавяване е възможна с преградни стени, изградени от непреместваеми щитови конструкции. За осигуряване на най-ефективна защита от снегонавяване (случай на практическо приложение) за различни участъци от АМ „Тракия“, чрез конкретизиране на височината на снегозащитните съоръжения и/или ширината на буферните зони ще са необходими допълнителни параметрични анализи, базирани на методите на ИМФ.

### **3. Оценка на фотоволтаичните системи като елемент на снегозащитните съоръжения от стационарен тип [5]**

Ориентацията и на двете автомагистрала „Тракия“ и „Хемус“ в посока изток-запад прави подходящо съчетаването на снегозащитни съоръжения, разположени на север от нея, с фотоволтаични панели, ориентирани на юг. За решаване на вече описаната задача са изследвани конкретните соларни ресурси на два терена, които са съседни на високоскоростните отсечки при следните данни: АМ „Тракия“ в близост до с. Ветрен и пътен възел „Айтос“, на 350 m северно от АМ – ГК: г.ш. 42,597° и и.д. 27,386° и АМ „Хемус“ до с. Габърница, на 350 m северно от АМ – ГК – г.ш. 43,259° и и.д. 27,491°.

### **3.1. Цел и методика на изследването за оценка на фотоволтаичния потенциал на терена през различните годишни сезони**

За оценка на ефективността при различни схеми на разположение на снегозащитните съоръжения беше използван софтуерният пакет SOLARES [10]. Той ползва часови соларни данни от PVGIS [11], база данни SARAH, организирани в т.нар. ТМУ (Typical Meteorological Year), които са генерирани на основата на сателитни наблюдения в периода от 2005 до 2014 година, вж. [5].

### **3.2. Изчисляване на сумарна слънчева радиация върху PV-панел за избраната геометрия на снегозащитното съоръжение**

Съчетаването на изискванията за снегозащитна функционалност с производителност на фотоволтаичните панели, която да е близка до максималната, (оптималният PV наклон [12] за терена край с. Ветрен е  $34^\circ$ , за с. Габърница –  $35^\circ$ ), определи наклон на монтажната повърхност, респективно на PV-панелите от  $53^\circ$  при височина 1,57 m на съоръжението и наклонен размер на панела 1,28 m. При него се гарантира по-бързо свличане на снега по повърхността на панелите към основата като добра превенция срещу снежни навявания [5]. За тази избрана геометрия, по методология за изчисляване на лъчист топлообмен между повърхности под ъгъл, по метода на крайните елементи беше определено с колко нараства отразената радиация при полагане на светла ивица в южна посока пред съоръжението. Тестваните ивици бяха с ширини от 1, 2, 3, 4 и 5 m, като за всяка от тях беше определен изгледният фактор от PV-панела и процентът, който представлява отразената радиация от сумарната хоризонтална слънчева радиация. Подробно представяне на изследването е представено в [5].

## **4. Потенциална икономическа обосновка и екологичен ефект от експлоатацията на предлагания тип системи**

Мерките по зимното поддържане у нас притежават редица слаби страни, което е причина за недостатъчен предпазен капацитет срещу климатичните процеси в студеното полугодие и в дългосрочен план това води до икономически загуби. Важни от тях са:

- прогнозната финансова рамка на АПИ за зимно поддържане на РПМ се оказва недостатъчна или се изчерпва за кратък период при екстремни климатични въздействия през студения период на годината;
- теоретичният годишен модел на заложените средства не се коригира чрез внедряване на решения с постоянни превантивни съоръжения и мероприятия за участъците, при които повторемостта на снегонавяването е значителна (Карнобат – Бургас от АМ „Тракия“);
- непълн анализ на значителните финансови загуби от прекъсването на трафика. Те не се анализират, но трябва да се отчитат в рамките на:
  - 1) обществената значимост (индивид/общност): нарушаване на нормалния ритъм на живот и задоволяване на потребностите на засегнатото население – директни и индиректни загуби;

- 2) в рамките на пропуснати ползи и/или спиране на производствените цикли в индустрията – директни и индиректни загуби;
- 3) в транспортния сектор, който като ресурсна система за пренос на стоки и услуги е пряк носител на директните загуби при невъзможност за реализиране на спедицията. Особено засегнати са двете направления – транспорт на пътници и тежкотоварното движение за пренос на стоки;
- 4) ПТП вследствие от снежни наваявания. Безопасността на движението и застрахователната стойност на изплатените полици по признатите щети на автомобилния парк е финансова загуба за съответното направление в икономиката.

#### **4.1. Устойчива транспортна инфраструктура**

Постига се с внедряването на екоефективни технологии и мероприятия, обхващащи всичките ѝ елементи – проектиране, изпълнение, експлоатация, поддръжка, възстановяване. Тук мерките срещу снегонавяванията по линейните обекти ще генерират екологичен ефект, следствие от редуцията на индиректните въздействия върху елементите на околната среда. По-важните от тях са следните:

- Запазва зависимостта от конвенционалния автомобилен транспорт. Непроходимостта на високоскоростните отсечки намалява приноса на обществените превози (железопътни и автобусни), ограничава възможността за въвеждане на „зелени“ данъци и такси. Влияе негативно върху ползването на електромобили (зависими от пробег до следващо зареждане).
- Намаляването на ресурсното участие на дейностите по осигуряване на непрекъснатостта и безопасността на трафика влияе върху екологична отнемопечистваща механизация на конвенционално гориво, от химически вещества и опесъчаване, от аварирани товари с опасни субстанции и други.
- Директен екологичен ефект е генерираната фотоволтаична енергия при съоръженията. Индиректен е, че елементите на преградите ще са част от индустриалните ниши в екологичните производства на ЕС.

#### **4.2. Икономическите ефекти също може да се разглеждат като индиректни и директни.**

Към първата група се включват всичките редуции на финансови средства от:

- заложените и използваните за зимно поддържане на транспортната инфраструктура;
- липсата на загуби за националната икономика, което ще се гарантира от непрекъснатостта на трафика по територията на цялата страна;
- национално тарифиране и застрахователна дейност – обезпечаване на ТОЛ-системата по автомагистралите и намалени разходи по изплащането на обезщетения при ПТП-та.

Директните икономически ефекти са в откриването и развитието на дейности по сектори, в които ще произвеждат типовите конструкции на снегозащитните прегради.

## **5. Изводи и оценка на предложената методология**

За да се избере подходяща преграда срещу снегонавяване, трябва да се следва единна методология за оценка, която да се прилага индивидуално за всяко проектно задание. В такава методика трябва да залегне оценка на редица променливи като посока и скорост на преобладаващите ветрове, особености на ландшафта (наличие на материални препятствия), геометрични и технически параметри на пътното трасе, поведение на снежния трансфер и други.

Въвеждането на оценъчен алгоритъм изисква възможност за проследяване на пространственото поведение на снежните виелици със съвременни моделиращи софтуерни инструменти. Поредиците от времеви симулации, които могат да бъдат реализирани в подходяща програмна среда, превръщат дизайна на снегозащитните съоръжения в многокомпонентна задача, която трябва да съвместява ефективен пакет от параметри. По-важните от тях са изброени по-горе: направление на снегозащитното съоръжение спрямо посоката на вятъра и направлението на пътя, разстояние от границите на пътното платно съобразно топографията на съседния терен, необходимост от повтораемост (припокриване) на инсталираните елементи, геометрични размери на контактната повърхност и наклон на конструкциите спрямо терена, степен на поръзност и проницаемост, геометрия и конфигурации на елементите като функция на избрания материал, конкурентност от гледна точка на изграждане (монтаж при заложен параметри за пътна безопасност [13]), поддръжка, откупуване на инвестицията (тук трябва да се отчита и намаляването на вложените средства по „зимно поддържане“ по РПМ [1, 2]) и внедряване в посока на устойчива инфраструктура.

Основна цел на научния проект е разработването на методика за проектиране на временни и постоянни снегозащитни съоръжения за България, чието прилагане да гарантира ефекта на мероприятията по зимното поддържане. Предложената концептуална методология предоставя възможност за оценка и избор на оптимален вариант на снегозащитни съоръжения за конкретни участъци от РПМ на България. Прилагането ѝ ще осигури възможност за изготвяне на нормативно определени изисквания (стандарт), които да третират минимални изискуеми конструктивни, експлоатационни и екологични параметри на конструкциите при заложена висока степен на защита за възможно най-неблагоприятните очаквани условия на околната среда.

## **Благодарности**

Благодарности към ЦНИП при УАСГ за финансиране на проекта „Изследване на проблема със снегонавяването по автомобилните пътища в България. Оценка на ефективността на вариантни решения на защитни конструкции. Анализ на приложимостта на постоянни снегозащитни с-я с инсталация от PV-панели“ – БН 210/18.

## ЛИТЕРАТУРА

1. МРРБ, Наредба № РД-02-20-19 от 12 ноември 2012 г., ДВ, бр. 91 от 2012.
2. НАПИ, ЦЛПМ, Технически правила и изисквания за поддържане на пътища, 2009.
3. Приложение 7: Оценка на сектор „Транспорт“, Република България, Консултантски услуги по Национална стратегия и план за действие за адаптация към изменението на климата – Номер на проекта: P160511, [www.eufunds.bg](http://www.eufunds.bg), 17.08.2018.
4. *Иванова, Ев. и кол.* ОД „Изследване на проблема със снегонавяването по автомобилните пътища в България. Оценка на ефективността на вариантни решения на защитни конструкции. Анализ на приложимостта на постоянни снегозащитни с-я с инсталация от PV-панели“, БН210/2018 етап 2, ЦНИП при УАСГ, София, 12.2019.
5. *Иванова, С., Митева, Д.* Изследване на проблема със снегонавяването по автомобилните пътища в България. Оценка на ефективността на инсталация от PV-панели при вариантни решения на защитни непреместваеми съоръжения. // Годишник на УАСГ, ISSN 2534-9759, 2020, 53 (3): 715-731.
6. *Kobayashi, D.* Studies of Snow Transport in Low-Level Drifting Snow, The Institute of Low Temperature Science, July 1972.
7. <https://openfoam.org/>, посетен 08-10.2019.
8. <https://www.openfoam.com/documentation/user-guide/standard-solvers.php>, посетен 08-10.2019.
9. <https://openfoam.org/release/2-3-0/snappyhexmesh/>, посетен 08-10.2019.
10. *Ivanova, St., Gueymard, Ch.* Simulation and applications of cumulative anisotropic sky radiance patterns. *Solar Energy* 178 (2019), pp. 278-294.
11. PVGIS. 2017. Photovoltaic Geographical Information System – main page: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html).
12. *Иванова, С.* Определяне на оптимален наклон на плосък фиксиран соларен панел. – В: Сборник доклади, Втора научно-приложна конференция с международно участие „Управление на проекти в строителството“, 2015, София, България: 194–203.
13. *Мартинов, Д.* Влияние на пътните елементи при автомагистрала върху действителната скорост на движение, Ро принт ЕАД, 2019, ISBN 978-619-90373-0-0.

# INVESTIGATION OF THE PROBLEM OF SNOWDRIFTS ON AUTOMOBILE ROADS IN BULGARIA. EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS AGAINST SNOWING OF VARIANT SOLUTIONS OF PROTECTIVE CONSTRUCTIONS WITH INSTALLATION OF PV PANELS

E. Ivanova<sup>1</sup>, D. Markov<sup>2</sup>, S. Mijorski<sup>3</sup>

*Keywords: snowdrifts, transport infrastructure, facility with PV panels*

## ABSTRACT

Snowdrifts on the transport network and in particular on the national road network of Bulgaria are a problem whose decision does not follow common methodological principles. The team offers a format and methodology for tracking and risk prevention of snowdrifts on the roads. The methodology is based on the actual capture of the object for the declared climatic data, which are integrated into a working environment of software simulating snow blizzards and based on fluid computational mechanics. The simulations are conducted for the proposed in the scientific theme conceptual constructive variants of snow protection facilities of stationary type with photovoltaic panels.

---

<sup>1</sup> Evelina Ivanova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kiki1975@abv.bg

<sup>2</sup> Detelin Markov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Hydroaerodynamics and Hydraulic Machines", Technical University-Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd., Sofia 1000, e-mail: detmar@tu-sofia.bg

<sup>3</sup> Sergey Mijorski, Dr. Eng., "SoftSim Consult Ltd.", Mladost-4, bl. 438, Sofia 1715, e-mail: smijorski@softsimconsult.com