



Получена: 20.03.2019 г.

Приета: 29.07.2019 г.

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

Е. Иванова<sup>1</sup>, И. Сулай<sup>2</sup>, В. Кацарова<sup>3</sup>, Д. Митева<sup>4</sup>, И. Стайков<sup>5</sup>,  
С. Иванова<sup>6</sup>, С. Господинов<sup>7</sup>, Д. Бояджиева<sup>8</sup>, С. Бояджиев<sup>9</sup>

*Ключови думи: снегонавяване, път, съоръжение, PV-панел*

### 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 методология за проследяване и пре-

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

<sup>2</sup> Ирена Сулай, гл. ас. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: irenasulay@abv.bg

<sup>3</sup> Ванина Кацарова, гл. ас. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: porova.vanina@gmail.com

<sup>4</sup> Десислава Митева, ас. инж., кат. „Транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: des.miteva@gmail.com

<sup>5</sup> Илиян Стайков, инж. докторант, кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ilian.staikov@gmail.com

<sup>6</sup> Стоянка Иванова, доц. д-р арх., „Автоматизация на инженерния труд“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: siva\_fce@uacg.bg

<sup>7</sup> Славейко Господинов, проф. д-р инж., кат. „Висша геодезия“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: sgospodinov@mail.bg

<sup>8</sup> Деляна Бояджиева, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: delianab@yahoo.com

<sup>9</sup> Симеон Бояджиев, инж., кат. „Строителни материали и изолации“, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: sbojadjev@yahoo.com

венция на риска от снегонавяванията по автомобилните пътища на страната, която може да се развие в ефективна система с практическо приложение. 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. Симулациите се провеждат за предложени в научната тема идейни конструктивни варианти на снегозащитни съоръжения от стационарен тип с фотоволтаични панели.

## 1. Зимно поддържане по Републиканската пътна мрежа (РПМ) на Р България – текущо състояние на проблема

### 1.1. Зимно поддържане по Републиканската пътна мрежа (РПМ) на Р България в условията на изменението на климата

Към момента са налични редица изследвания в световен мащаб и предстои да се провеждат още в посока на изменението на климата, респективно за установяване на фактическите климатични промени. Анализите на статистическите данни и на климатичните промени за нашата страна [8] показват, че:

- в дългосрочен план годишните снеговалежи намаляват, но в краткосрочна и средносрочна перспектива се оформя завишена повтаряемост на виелиците и интензивните снеговалежи. Последните, очаквано, ще доведат до затруднения при всички видове транспорт през зимния период на годината;
- наредбите за планиране и проектиране на транспортната инфраструктура не разглеждат въпроси, свързани с въздействието на изменението на климата (валежни количества, снегозащита, отчитане на топлинния стрес и други);



Фиг. 1. Карта на Р България с обозначени пътни участъци, затваряни през зимния период поради снегонавяване [картна основа – Google maps], [3]

- в редица региони равнинният релеф и профилът на пътя са предпоставки за снегонавявания, които затрудняват или блокират движението по пътищата, като това е с продължителност от няколко часа до няколко дни. В тази път-но-транспортна ситуация снегопочистващата техника не е в състояние да осигури проходимостта на пътните трасета и се налага спиране на движението по пътищата от републиканската и общинската пътна мрежа в много области на Р България (вж. фиг. 1);
- превенцията на непрекъснатостта на трафика при зимни условия е ограничена поради липсата на трайни решения чрез естествени и изкуствени противовеетрови бариери.

В заключение може да се обобщи, че в дългосрочна перспектива комбинацията на изредените фактори ще увеличава честотата и продължителността на нарушенията в транспортните услуги при екстремни метеорологични събития.

## **1.2. Анализ на проблема в условията на настоящите регламентни възможности**

Анализът на проблема с обезпечаването на трафика по РПМ при зимни условия в случаите на обилен снеговалеж при силен вятър показва следните по-важни слаби пунктове в:

- недостатъчен капацитет за реална оценка на транспортната мрежа, респективно доказване на необходимостта от превенция;
- решаването на даден практически проблем като снегонавяването е комплексен процес, водещ до индивидуално решение, който е ограничен от съществуващите регламенти, в които се наблюдават и редица слабости, като липса на конкретни насоки за подбор на вида на защитата;
- не съществува оценъчен алгоритъм за очакваната ефективност, на приложена в конкретен случай, временна защита чрез щитове;
- поставянето и ефективността на преградите от преместваеми щитове с временно предназначение са затруднени от следните ограничителни условия: 1) щитовете не са разработени в рамките на регламентно определена продуктова гама; 2) преместваемите щитове са потенциален обект на недобросъвестност – кражба, изместване, унищожаване и 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 обезщетителна финансова рамка и значителна продължителност във времето.

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

Подобна процедура, която предвижда висока степен на превенция и обосновава разнообразието на вариантите решения в световен мащаб, е предмет на научни изследвания, предвид комбинирането на множество фактори, които влияят върху противодействието на неблагоприятни климатични условия, формиращи снегопrenoса.

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

Решението на проблемите със снегонавяването в дългосрочен план изискват разработване на съвкупност от методически принципи за избор на снегозащитна концепция, които ще станат идейна основа за създаване на научна методология за оценка на ефективността на снегозащитни съоръжения. Такава методика трябва да предоставя оценка, приложима за индивидуално проектно задание. Тя трябва да предоставя възможност за анализ на редица променливи като:

- посока и скорост на преобладаващите ветрове;
- особености на ландшафта (наличие на материални препятствия, предполагащи степен на засенчване);
- геометрични и технически параметри на пътното трасе (аналогично на железопътното);
- поведение на снежния трансфер без и при заложените системи за защита и други.

Съчетанието на граничните параметри изисква имплементирането им в условията на експеримент, чрез който в оценъчния алгоритъм ще се даде възможност за проследяване на пространственото поведение на снежните виелици със съвременни моделиращи софтуерни инструменти.

Целта на научната разработка е създаване на насоки и методически принципи, които да предоставят възможност за ефективна превенция на снегонавяването по пътищата и възможности за оптимизация на предлаганите вариантни решения.

## 2. Снегозащита при пътищата

### 2.1. Основен принцип при снегозащитата

За да се предпази платното за движение от заснежаване, снегът трябва да се задържа преди линейния обект. Това най-често се постига чрез материални прегради, които спират свободното движение на снежинките в посока към пътното трасе. Възможни третиращи мерки са [1 – 3]:

- зелени пояси – ефективни при класически снежни виелици. Най-удачни са дървесни видове с голяма височина и прегради с гъсто разположени дървета. Поредицата от насаждения трябва да включва храстовидна и високоствелена растителност, които да оформят стъстени многоредови зони с широчини от порядъка на  $\geq 100$  m встрани от границата на пътя;
- непроницаеми прегради – пред и зад тях се образуват така наречените „зони на затишие“, като по-голяма част от снега се натрупва пред стената, което отлагането на сняг се реализира преди преградата;
- прегради с процентна проницаемост – при вертикални решетъчни прегради се оформя „зона на затишие“ преди оградата, където се натрупва ограничена част от пренасяния сняг, а останалото количество преминава през отворите на конструкцията с по-висока скорост от тази до препятствието. След отворите скоростта и налягането на потока рязко намаляват, което води до отлагане на снежните количества в рамките на няколко метра от терена.

- смесен тип прегради – при тях горната част от конструкцията е непроницаема, а до нивото на терена се оставя незамрежена зона или замрежването е само в рамките на конструктивното решение, така че се постига разслояване на снега, както при прегради с растерно замрежване за цялата площ на напречното сечение.

## 2.2. Обзор на извършената работа от екипа на научната тема. Дейности и резултати

### 2.2.1. Идентифициране на пътни участъци с висока уязвимост към снегонавявания по АМ „Тракия“

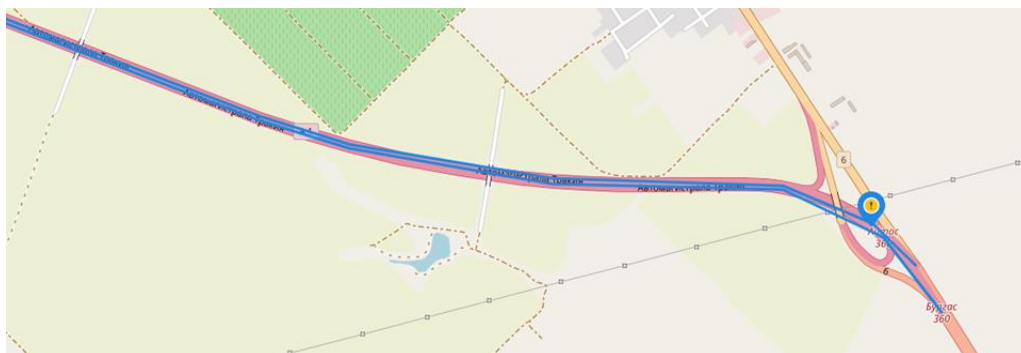
В обхвата на настоящия научен проект бяха идентифицирани пътни участъци с висока уязвимост към снегонавявания по АМ „Тракия“, въз основа статистически данни за повтораемост на снежните явления в последните 3 години в съчетание с проектните параметри на високоскоростната отсечка (вж. табл. 1) [4].

**Таблица 1. Част от проучените (вкл. избрания) пътни участъци от АМ „Тракия“ с опасност от снегонавяване в зависимост от проектните елементи на трасето**

| № п.у. | От km   | До km   | Дължина, m |
|--------|---------|---------|------------|
| 5/7    | 327+400 | 329+800 | 2400       |
| 6/7    | 355+900 | 357+700 | 2400       |
| 7/7    | 357+700 | 358+900 | 1200       |

### 2.2.2. Избор на участъци

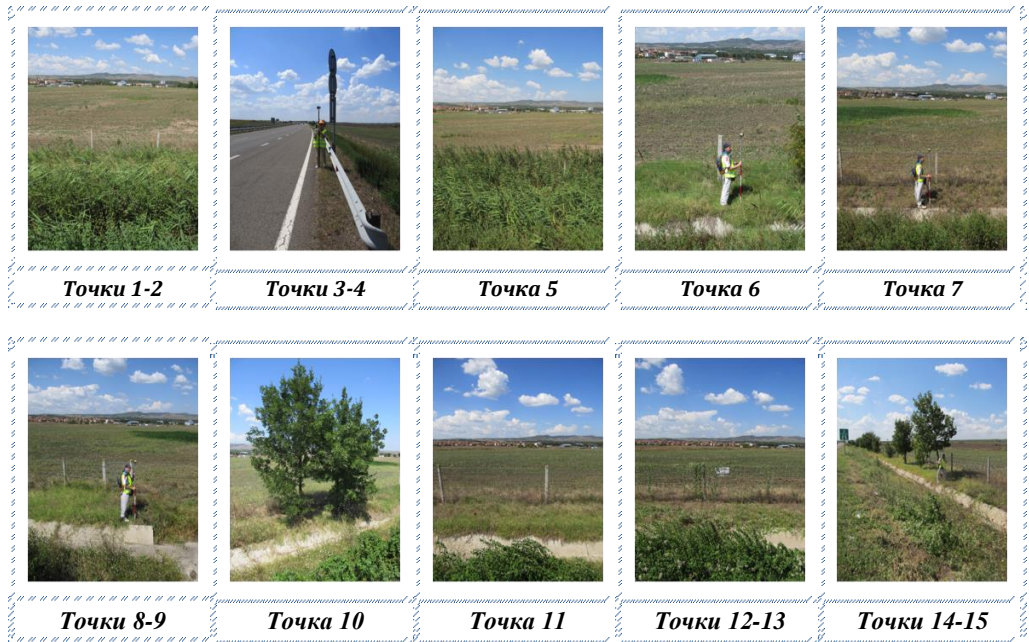
След наслагване на статистическото проучване и визуалното заснемане, екипът локализира и избира един подучастък за обследване и имплементиране в числов модел, с който да се илюстрира формата и потенциалните възможности на проектната методология за снегозащита – пътен участък от км 357+800 до 358+800 (АМ „Тракия“ при пътен възел „Айтос“ – вж. фиг. 2) [4].



**Фиг. 2. Участък 7 от км 357+700 до км 358+900, в рамките на който е избран подучастъкът, който е заснет за нуждите на проекта [картна основа – Google maps]**

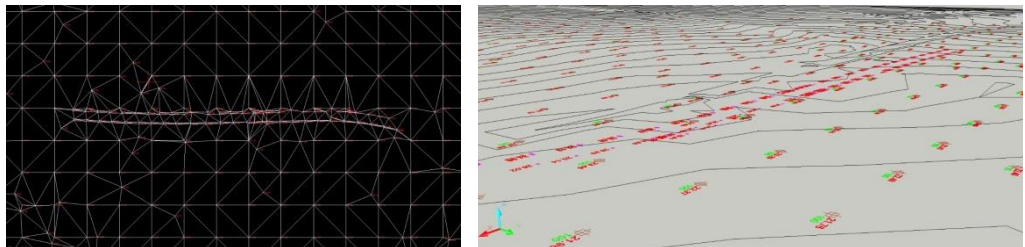
Продуктът, с който беше проведено численото изследване на избрания подучастък, изискваше цифров триизмерен модел на теренната повърхнина на района и обхвата на пътя, както и визуално заснемане с позициониране на всички елементи на терена и трасето, които са с височина над половин метър, за да се оценят като елемент на потенциално замреждане на ветровия поток.

Екипът фоторегистрира и извърши геодезическо заснемане на пътя и терена на избрания подучастък (вж. фиг. 3). На базата на получените данни бе създаден триизмерен числен модел на теренната повърхност на заснетата пътна отсечка от АМ „Тракия“.



**Фиг. 3. Геодезическо и визуално заснемане на проектния пътен участък от АМ „Тракия“**

Бяха генерирани два 3D числови модела на теренната повърхност за разглеждания пътен участък: в CAD-среда, която се използва за база на втора подложка („изградена“ директно в съответния специализиран софтуерен продукт), необходима за основа на изследването на базата на изчислителна механика на флуидите (CFD).



**Фиг. 4. Теренна повърхност на проследявания пътен участък от АМ „Тракия“**

### 2.2.3. Формулиране на обобщени принципи за подход при избор на монтажни схеми за снегозащитни съоръжения в рамките на избраната структура на оценъчната методика

Въз основа на направения обзор и проследяването на досегашните практики, за нуждите на предлаганата методика, обобщихме пакет от принципи, с които да се дефинира изборът на конструктивно решение на снегозащитните съоръжения. Изхождаме от принципа, че системите от предпазни конструкции трябва да са конфигурирани при съчетаване на редица изисквания, произтичащи от интердисциплинарността при оценка на функционалността им [18].

За целта, проектантите трябва да заложат параметри на идейните варианти, които да са решение на:

- 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 и изпълнение на монтажните схеми;
- задачи, свързани с ограничения при избора на крайните вариантни конструктивни решения;
- ограничения от проектно монтажно и/или експлоатационно естество, относими към жизнения цикъл на съоръжението, повлияващи крайния вариант на конкретно решение;
- задачи, произтичащи от устойчивото развитие, повлияващи окончателния избор на конкретно решение: въвеждане на нови технологии и повишаване на степента на екологичност;
- задачи, произтичащи от финансовата рамка, повлияващи окончателния избор на конкретно решение: определяне на оптимална цена от гледна точка на съчетание между ефективност, себестойност и експлоатационна годност; възможности за редукция на цената от въвеждане на икономически инструменти, които определят срок на откупуване на системата конструкции (пр-р: намаляване на вложените парични потоци при зимното поддържане; обезпечаване на пътната безопасност през зимния период; прилагане на възможностите на „виртуал нетметъринг“ и други).

Виртуален нетметъринг [5] е финансов инструмент, при който „зелена енергия“, произведена на едно място и подадена към националната енергийна мрежа, може да бъде ползвана от производителя или собственика на земята по-късно на друго място, като лицето заплаща само такса за услугата „пренос и съхраняване“. Това дава възможност част от електрическата енергия, произведена от PV панели, монтирани върху снегозащитни съоръжения в земеделски земи край магистралата, да бъде доставяна по местоживееене на техните собственици, като при това не се налага изкупуване на терена в непосредствена близост до магистралата. Задействането на такъв принцип би позволило изграждане на 2 или 3 реда инсталации, което е търсена възможност при конфигуриране на снегозащитните прегради при равнини ландшафти.

Композирането на идейните решения се основа на извършения анализ на теоретичната основа, на съществуващи предпазни елементи (преместваеми проницаеми дървени щитове) и беше съобразен с ключови моменти, отнасящи се до целесъобразността за монтиране на фотоволтаични панели в непроницаемата зона на конструкцията.

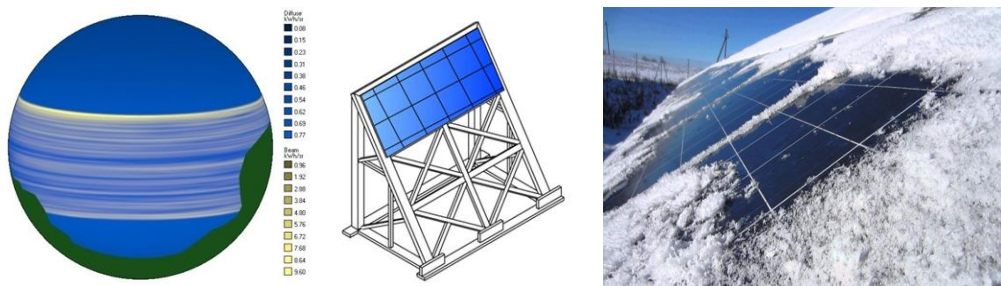
За да се обезпечи производство на слънчева енергия в по-голямата част от годината, с изключение на периодите с тежки снегонавявания, при проектирането на монтажните схеми на такива предпазни постоянни елементи трябва допълнително да се осигурят следните основни параметри, свързани с:

- използването на падащата слънчева енергия върху монтираните панели (ориентация и наклон спрямо хоризонта/терена);
- поръзността (проницаемостта) на съоръженията, която е обратно пропорционална на плътността от монтираните соларни модули върху тях и съответно определя добива на слънчева енергия.

→ Ориентация и наклон на PV панели върху снегозащитни съоръжения:

Оптималният ъгъл за соларни модули за максимално производство на електроенергия от слънце за територията на Р България варира от  $30^\circ$  до  $35^\circ$  в зависимост от географското положение, изчислен при средногодишно албедо 0.2. Обикновено се търси южно изложение, но има фактори, които могат да променят тази препоръка.

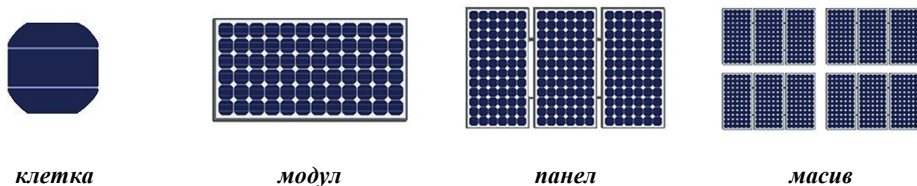
Факторите, които трябва да се вземат под внимание, са (вж. фиг. 5): местни соларни климатични дадености; топографски особености на местността (засенчвания); ориентация на оста на пътя (АМ „Тракия“ има много благоприятна ориентация); свличане на снега по повърхността на PV модулите (желателен е по-голям ъгъл –  $53^\circ$ ); по-висока производителност на PV модулите при ниски температури; посока и скорост на ветровете.



Фиг. 5. Ориентация и наклон на PV панели

→ Порестост (проницаемост) на PV панели върху снегозащитни съоръжения

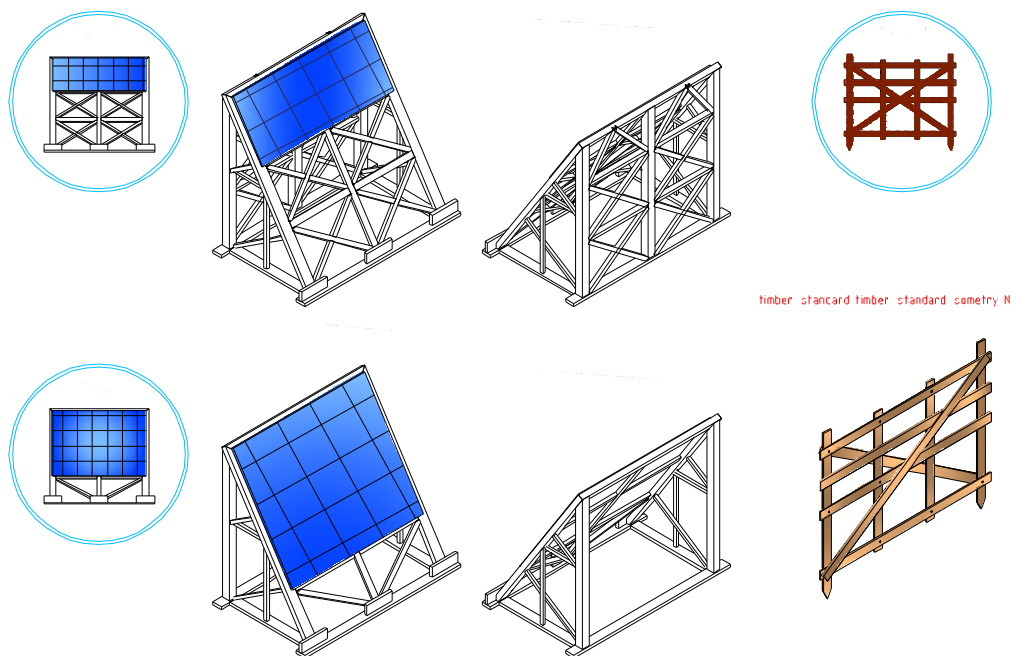
Порестостта (проницаемостта) е обратно пропорционална на гъстотата на монтаж на PV модули, която от своя страна е свързана и с възможността за окрупняване на PV клетки (cells) в по-едри структури – модули (modules), панели (panels) и масиви (arrays) (вж. фиг. 6). PV клетката е основната неделима фотоволтаична структура с размер  $6 \times 6$  инча, вж. [13].



Фиг. 6. Видове PV структури [13]

## 2.2.4. Идеини варианти на предварителна геометрия и степен на замреждане на съоръжения против снегонавяване с цел оценка на ефективността им при търсена мултифункционалност

Във връзка със залегналите задачи на разработката екипът ни предложи идейни вариантни решения от тип преместваеми с процентна замреженост и непреместваеми със смесена проницаемост. Схемите на избраните съоръжения се използваха, за да се проследи ефективността на методиката (посредством степента ѝ да тества и информира за защитния потенциал на модификации от конструкции при съответната повърхност и климатични условия). Предварителната геометрия и степента на замреждане на идейни решения на непреместваеми щитове беше изградена във вид на 3d-обекти (фиг. 7), за тях се извършиха симулациите в работното пространство на числения модел [4].



Фиг. 7. Идеини вариантни конструкции на непреместваеми със смесена проницаемост, след анализ на съществуващи предпазни елементи (преместваеми проницаеми дървени щитове) [4]

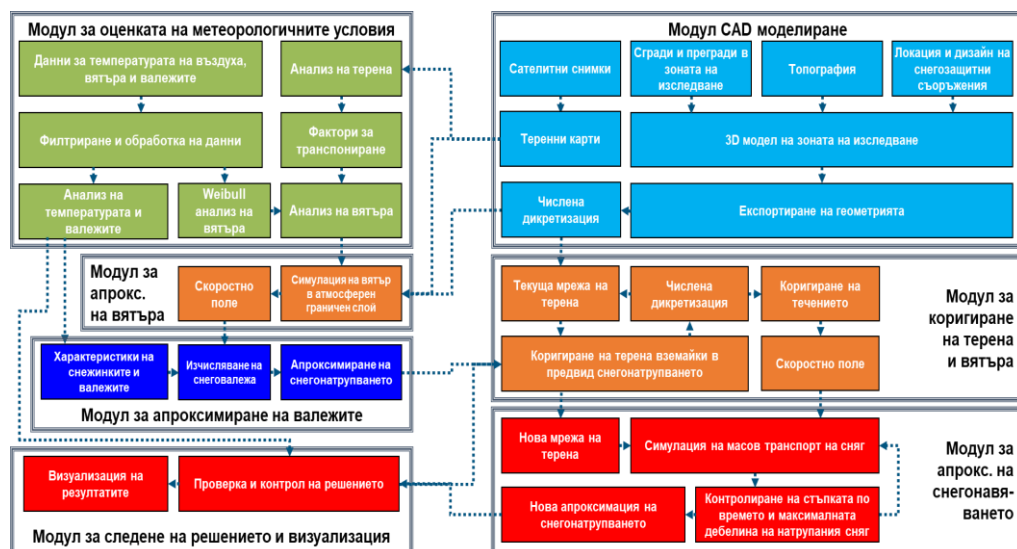
## 3. Създаване на принципна методология за защита от снегонавяване чрез оценка на ефективността на мерките за противодействие при реални условия

### 3.1. Идеен подход за оценка на ефективността на снегозащитни съоръжения

Заедно с екип от Техническият университет – гр. София, в лицето на доц. д-р инж. Детелин Марков от кат. „Хидроаеродинамика и хидравлични машини” (e-mail: detmar@abv.bg) и д-р инж. Сергей Мижорски (СофтСим Консулт ЕООД, e-mail:

smijorski@softsimconsult.com), беше създадена принципна методология за защита от снеговавяване, чрез оценка на ефективността на мерките за противодействие за публикуваните климатични данни, отнасящи се за натурно заснетия участък от автомагистралата.

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 CAD 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 снеговавяване); за апроксимиране на снеговавянето с метода на крайните елементи; за следене на решението и визуализация на числените резултати, фиг. 8 [4].



Фиг. 8. Диаграма на предложените модули [4]

## 4. Изследване на пространственото поведение на снежните виелици с моделиращи софтуерни инструменти

### 4.1. Снежни явления: снежно натрупване, снеготранс, снеговавявания

#### 4.1.1. Снежни явления – възприето е да се разделят в четири групи:

- снеговалеж и високи снежни виелици – равномерно площно заснежаване;
- приземни снежни виелици – снеговалеж и пренос от съседни участъци;
- комбинирани снежни виелици – състояние, при което се наблюдава съчетание на първите два случая, характеризира се с максимални области със снеготранс и значителни снежни отлагания;

- лавини – единични снежни натрупвания.

При развитието на снежни бури (виелици) снежните частици основно се транспортират наблизко до повърхността на натрупания сняг, следователно при открити площи във времето може да се пренесат значителни количества сняг на големи разстояния, което допълнително да забави и усложни пътно-транспортната обстановка. При снежни виелици снегопреносът има два основни вида поведение [7]:

- случай на класическа снежна виелица – при скоростни ветрове се получава издухване на частици от повърхностния слой сняг (снеговалежен облак), като откъснатите частици се разпространяват на височина над 2 метра и значително намаляват хоризонталната видимост;
- снежна виелица с класическо снегонавяване – изразява се във вихрово движение на обема от снежни частици, които се издигат на височина под 2 метра и под действието на вятърните течения се „плъзгат“ по снежната повърхност. Този тип снегопренос е основен причинител на снегонавявания по пътищата.

#### 4.1.2. Емпиричен подход за механиката на пренос на сняг

Транспортирането на снежен обем върху образуваната покривка в условията на ветрови поток се извършва посредством салтация (скокообразно откъсване на частици, издигане във височина, последващо падане и откъсване на нови частици вследствие на контакта).

Заснежаванията зависят от редица параметри: интензивност на снеговалежа, скорост на вятъра над определена стойност, температура и влажност на въздуха, вид на снега (сух несвързан, по-лек или мокър с по-висока плътност и тегло). Сухият сняг се транспортира на по-голяма височина и количеството пренесена маса е повече в сравнение с плътния сняг. Съответно, тежкият сняг предполага трансфер на по-малки разстояния и движението му е непосредствено по повърхността на снежната покривка. Снегът, който се носи в граничния слой при заснежената повърхност, всъщност контактува с нея, играе основна роля във формирането на отлагателните и/или ерозионните ѝ характеристики [7].

Снегозадържането се свежда до степен и начин на отлагане на сняг на безопасно отстояние преди застрашения приемник (проследяването на развитието във времето на интензивен снегопренос при равнинни терени, показва, че трансфер може да се наблюдава от десетки метри до няколко километра). Снегозащитата се проектира с поставянето на материални бариери. При тях теоретичната постановка третира основните начини на отлагане на сняг около обтекаеми форми (плътни-непроницаеми или решетъчни – с %-на проницаемост). В обзорната част на [16] е разгледана теоретичната постановка за поведението на въздушен поток през преграда с процентна порьозност. Това е динамичен процес, който включва взаимодействие между оградата, въздушния поток и пренасяните частици от вятъра. В същия източник се цитира, че най-важният проектен параметър, влияещ върху характеристиките на въздушния поток зад растерна ограда, е общата порьозност на същата:

$$\beta = A_{open} / A_{total}, [16], \quad (1)$$

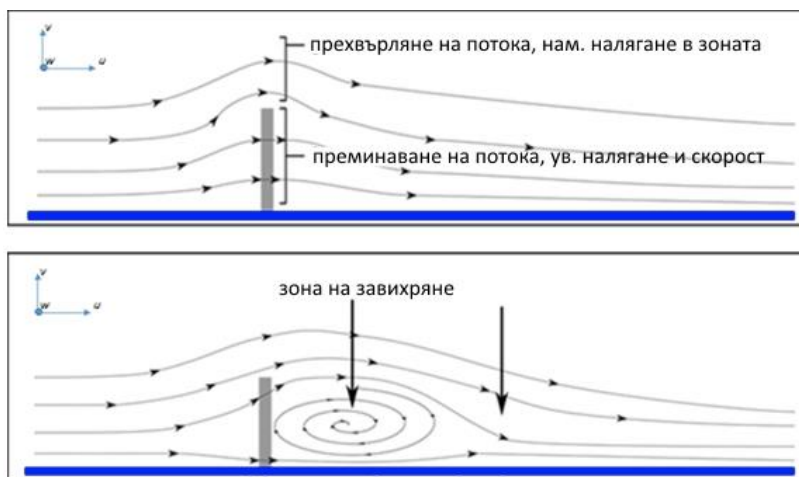
където  $A_{open}$  е площта на отворите в оградата;

$A_{total}$  – общата площ на оградата.

Критично ниво на решетъчност – ст.  $\beta$  :

Когато поръзността е над критично ниво (сг.  $\beta$ ), изтичащият поток доминира и въздушният поток в подветрената страна на оградата обикновено е в същата посока, както и наветрената струя (фиг. 9 – отгоре) – поведение при проницаеми прегради.

Когато поръзността е под това критично ниво, подветреният въздушен поток директно зад оградата се обръща, което води до област на рециркулиращия въздух, формира се вихрова зона (фиг. 9 – отдолу) – приближава се до поведение при непроницаема преграда. Фиг. 9 илюстрира разликата на профилите на въздушния поток зад огради с различен процент на поръзност [16].



**Фиг. 9.** Разлика в профилите на въздушните течения след прегради с различна проницаемост (пропускливост): (горе)  $\beta > \beta_{cr}$ . / (долу)  $\beta < \beta_{cr}$ . (Tabler, 2003) [базирана на 16]

Характерът на отлагане на снежни маси и съпротивлението на защитата върху ветровия поток пряко зависят от проницаемостта на преградата, просвета в основата, височината на преградата, наклона спрямо хоризонта.

Един от оценъчните параметри за снегозадържането е коефициентът на проницаемост –  $k$  :

$$k = V_m / V_0, \quad (2)$$

където  $V_m$  е постоянната скорост на вятъра зад преградата;

$V_0$  – постоянната скорост на вятъра пред преградата.

Височината на бариерата пряко влияе на зоната на продухване след нея, това може да се види на фиг. 10.



**Фиг. 10.** Потенциално отлагане на снежни маси при предпазна ограда от преносими инвентарни щитове (Германия) [3]

#### **4.1.3. Подходи за оценка на индивидуални климатични ситуации, задаващи възможност за намиране на оптимална система от снегозащитни съоръжения**

→ Методи за превенция на снегонавяването по пътищата. Подходи за оптимизиране на мерките и конструктивните решения на преградите

Съществуващите емпирични насоки са с ограничена приложимост, когато се търси оптимизиране на дизайна на огради със специфично предназначение и конкретно ландшафтно местоположение. Валидирането на данни от проследяване на място е практически невъзможно в годините до момента, а е свързано и с включването на значителни икономически ресурси и време. Използването на полевата работа на място, за да се определи оптималната конструкция на оградата, включва въпроси, свързани с изменемостта на вятъра по посоки, подробни данни за снега, измервателна апаратура и създаване на значително количество бази данни и внедряването на значителен финансов и човешки ресурс.

→ Библиографско проучване

Основите за изследването на натрупване и пренос на сняг в резултат на взаимодействието с вятъра в приземния слой са поставени в далечната 1972 година. Първото детайлно експериментално изследване е завършено и публикувано от Kobayashi [7]. На базата на значителен брой тестове при различни климатични условия са оценени и измерени депозирането 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.

→ Библиографска основа за дефиниране на методиката от точка 3

Развитието на софтуерните продукти предложи численото симулиране на климатичните процеси за всеки потенциален терен и пространствена защита като алтернатива на класическите подходи за превенция на снегонавяването. В [16] се посочва, че са извършили потвърдителна експериментална работа за оценка на надеждността и достоверността на цифровите модели. Численото моделиране има предимството, че може да симулира разнообразни сценарии (дизайн, ориентация, разположение в топографията) въз основа на информация за местоположението и предназначението на оградата. В [11] е проведен пилотен проект, с който се илюстрира, че числено моделиране, основано на изчислителна механика на флуидите (CFD), е ефективен инструмент в процеса на проектирането. Числените симулации дават достатъчно достоверен и бърз анализ за пренасянето на снега при типовете конструкции на оградите. И в двата източника се изяснява, че моделирането при такива изследвания разчита на опростени модели при конструирането на топографията, вятъра и снега, което позволява много на брой числени симулации при оптимално време за получаване на резултатите. Това прави цифровите модели основна връзка между научната основа на софтуерния и практическия инструмент за оценка на оптималния дизайн на снегозащитните съоръжения.

Въпросът за числена оценка на ефективността на снегозащитни прегради и съоръжения е разгледан детайлно в [17, 19] от Wakes в 2014 и Tomimaga в 2018, като ясно са очертани основните елементи, които да се отчетат при прилагането на ИМФ:

- потенциалът на ИМФ за обследване и предварителен дизайн на съоръженията;

- оценката на влиянието на различните параметри (състоянието на изследваната област, процесът на снеговалеж, ветровете и климатичните условия и други);
- възприемането на инженерен подход за анализ и оценка;
- липсата на ръководства и насоки за оценка на снегонавяване, базирани на ИМФ;
- значителните трудности за верифициране и валидиране на числените модели и резултати;
- трудностите при събирането на полеви данни.

В труда си Tomiŋaga [19] е наблегнал на детайлен анализ на текущата ситуация на моделирането на снегонавяването около сгради и прегради, базирано на ИМФ. Извършен е обзор на публикуваните изследвания и бъдещите перспективи за прилагане на ИМФ в тази сфера. В [19] са анализирани предназначенията, различните конфигурации, използваните гранични условия и методите за моделиране на снегонавяване при множество числени изследвания. Така авторът е очертал основните насоки за оценка на снегонавяване, базирани на ИМФ. В заключение Tomiŋaga е посочил необходимостта от развиването на нови модели, база с данни за валидация на изследванията, практически ръководства и представяне на нови и по-напреднали числени анализи. Според него, ИМФ разполага с необходимия потенциал за коректно моделиране на процеса на снегонавяване, но със завишено внимание на изследователите към теорията и приложението.

## **4.2. Оценка на идейната методология с числен модел на база ИМФ**

Разработеният идеен подход за оценка на ефективността на снегозащитни съоръжения в точка 3 беше приложен на практика от колегите в екипа доц. д-р инж. Детелин Марков и д-р инж. Сергей Мижорски в етапа на фактическото числено моделиране, с което се илюстрира възможността за обезпечаване на проблема с предложената методология. С изредените модули се извърши интегрирано моделиране на процесите, предлагащо консервативно апроксимиране на условията на снеговалежа и снегонавяването за оценка на ефективността на идейните варианти на системи от стационарни конструкции с PV панели. За нуждите на числените симулации се дефинира целият пакет от елементи като топография на терена, материални прегради, над земната повърхност, геометрията, растерността и местоположението на идейните варианти на конструкциите на стационарни снегозащитни съоръжения).

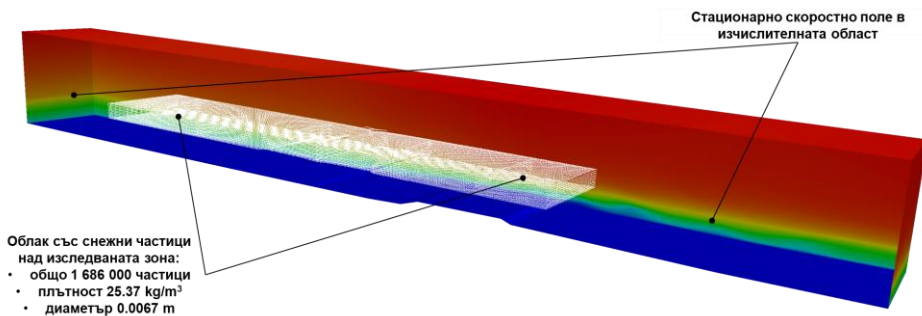
## **4.3. Резултати и дискусия [4]**

Числените резултати от сравнителния анализ за трите конфигурации срещу снегонавяване (с или без преградна стена от постоянни щитови конструкции) за участъка от АМ „Тракия“ са представени чрез визуализации, както следва:

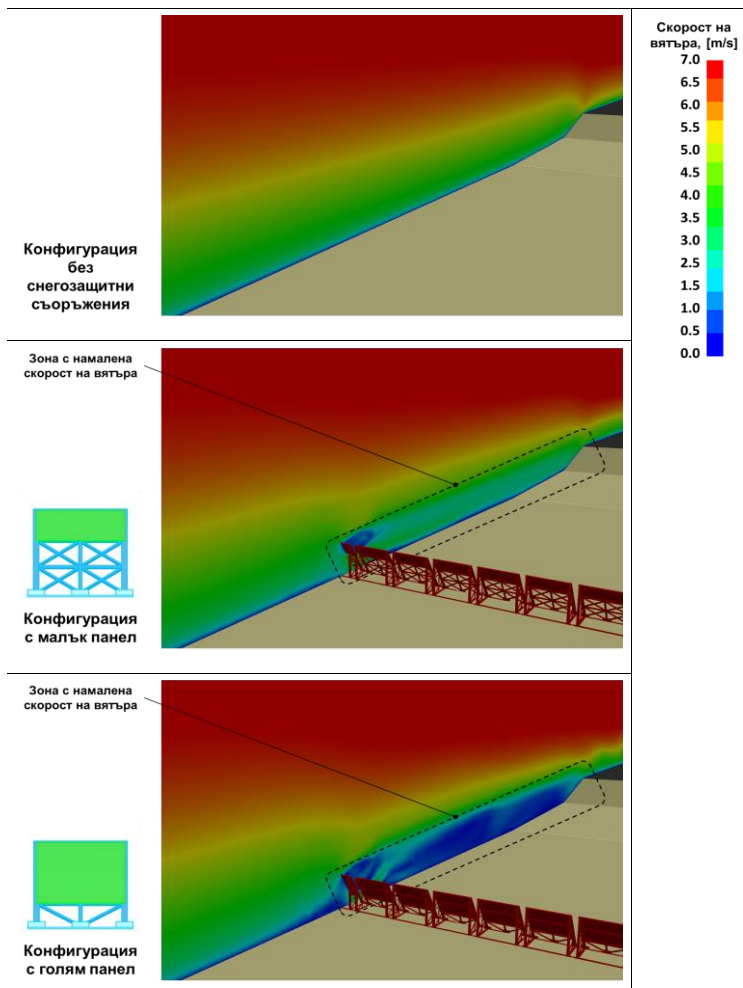
- скоростно поле на вятъра – фиг. 12;
- повърхности на снежната покривка – фиг. 13.

Резултатите на фиг. 11 и фиг. 12 показват директното влияние на преградните съоръжения върху скоростното поле на вятъра в 30-метровата зона преди пътната настилка. Разстоянието между снегозащитните съоръжения и отсечката от автомагистралата

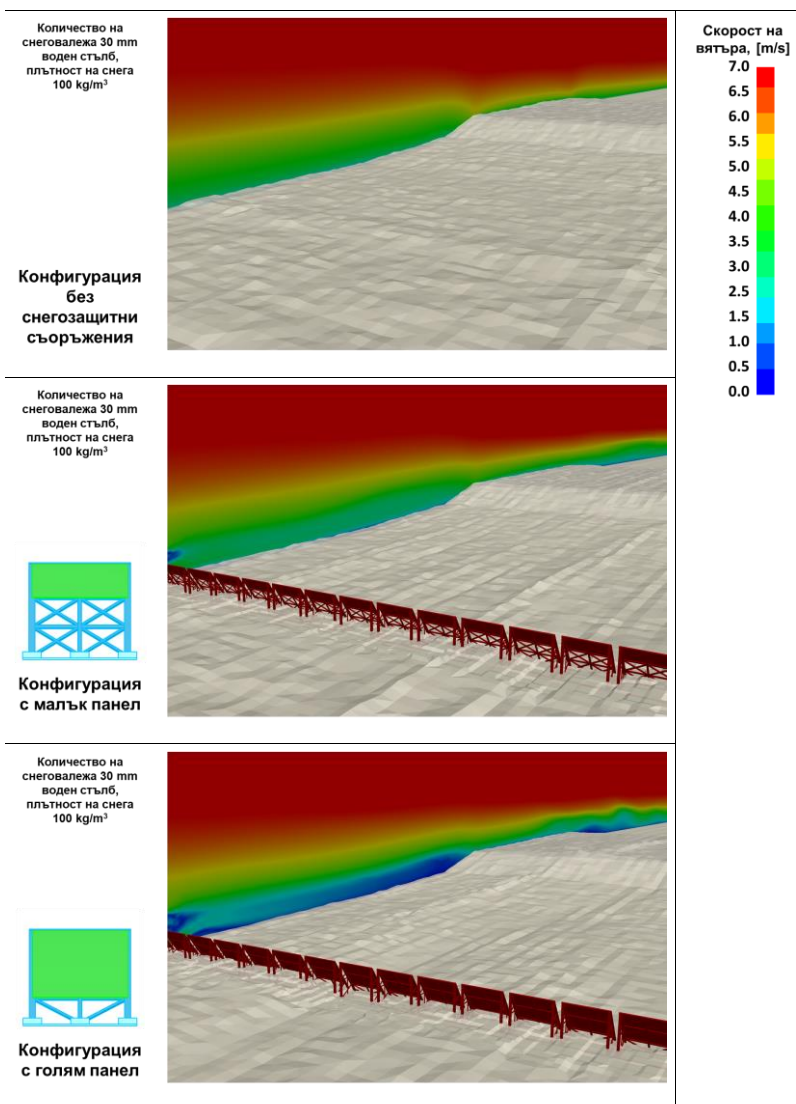
се явява като буферна зона, в която би трябвало да се осъществява процес на утаяване на снежните частици и депозиране на сняг при настъпване на снегонавяване.



Фиг. 11. Начални и гранични условия на модела за апроксимиране на снеговалежа [4]



Фиг. 12. Скоростно поле на вятъра [4]



Фиг. 13. Повърхност на снежната покривка [4]

Сравнителният анализ между различните тествани конфигурации демонстрира, че системата, състояща се от преградните стени с голям панел би предоставила по-значимо намаление на скоростта на вятъра в буферната зона. Така, при настъпване на снегонавяване, буферната зона би била по-ефективна в процеса на утаяване на снежните частици и депонирането на сняг.

Численото изследване на ефективността на преградни стени от преместваеми, постоянни щитови конструкции в зоната на реален участък от АМ „Тракия“ срещу снегонавяване, предоставя предварителна качествена оценка на различни предложени конфигурации. За да се изведат заключителни становища за ефективността на преградните стени, ще е необходим детайлен количествен анализ, който да следва предложената в Секция 2.2 методология за оценка на ефективността на снегозащитни съоръжения.

## Заклучение и изводи

Изграждането на съвременен и мултифункционален по приложимост продукт, който оценява разнообразието от системни решения за защита на пътната и железопътна инфраструктура от снегонавяване при отчитане на редица гранични условия (терен, геометрия на пътя, елементи на повърхността, климатична конкретика, геометрия и разположение на съоръженията за защита и други), трябва да се базира на:

- единна методология за съответната държава;
- прилагане на инженерни подходи за оценка, при използване на научната основа;
- прилагане на съвременни подходи (използване на потенциала на ИМФ и изградените на основата ѝ софтуерни продукти) на дефиниране на климатични ситуации за реални обекти;
- създаване на бази данни за проблемните участъци и повторемостта на затваряне на отсечките;
- създаване на база данни с необходимите климатични характеристики, която да позволи дефиниране на конкретни природни фактори;
- създаване на екипи, които да напишат софтуерните пакети (да използват готови) и да верифицират и валидират числените модели;
- да се търсят финансови инструменти за понижаване на ценовата себестойност на изградените снегозащитни съоръжения, успоредно с въвеждането на иновации и екологичност, които да повишат вариантите за приложимост на същите.

## Благодарности

Авторите изказват благодарност на доц. д-р инж. Детелин Марков и д-р инж. Сергей Мижорски за съвместната работа по проекта и постигнатите резултати.

Авторите и екипът изказват благодарност на 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 съоръжения с инсталация от PV-панели“ (Договор БН 210/18).

## ЛИТЕРАТУРА

1. МРРБ, Наредба № РД-02-20-19 от 12 ноември 2012 г., обнародвана в ДВ, бр. 91 от 2012.
2. НАПИ, ЦЛПМ, Технически правила и изисквания за поддържане на пътища, 2009.
3. *Иванова, Е., И. Сулай, И. Стайков.* Снегозащита на автомобилните пътища. Оценка на проблема в Р България, Международна юбилейна научна конференция, том 51, брой 7, 2018, стр. 15-34.

4. *Иванова, Ев. и колектив.* Отчетен доклад по тема „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 съоръжения с инсталация от PV-панели“, БН210/2018 етап 1, ЦНИП при УАСГ, София, 12.2018.

5. *Иванова, С., Иванова, Е.* Снегозащитни съоръжения с PV-панели край пътната мрежа на Р България. Сборник доклади от VI Международна научна конференция – Техника. Технологии. Образование. Сигурност – 2018, 30.05–02.06.2018, В. Търново, стр. 249-252.

6. *Tabler, D.* Snow fence guide Strategic, HRP, Washington, DC 1991.

7. *Kobayashi, D.* Studies of Snow Transport in Low-Level Drifting Snow, The Institute of Low Temperature Science, July 1972.

8. 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.

9. *Josiah, S., M. Majeski.* Living Snow Fences, Minnesota Department of Transportation, 1999.

10. ФДА, Методическите рекомендации по защите и очистке, Москва 2008.

11. *Basnet, K. Constantinescu G., Muste M., H. Ho,* Method to Assess Efficiency and Improve Design of Snow Fences, ASCE, 05.2015.

12. *Иванова, Е., Мутева, Д.* Вариантни решения за стационарни снегозащитни съоръжения – ефективност и мултифункционалност. В: Сборник доклади от XVIII Юбилейна международна научна конференция ВСУ – 2018, 18-20 октомври 2018, София, стр. 530-535.

13. *Иванова, С., Иванова, Е.* Принципи монтажни схеми на PV панели върху магистрални снегозащитни съоръжения – 1 част. В: Сборник доклади от XVIII Юбилейна международна научна конференция ВСУ – 2018, 18-20 октомври 2018, София.

14. <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-solar-panel-a-solar-module-and-solar-arrays>, 01.2019.

15. [www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system](http://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system), 09.2018.

16. *Yizhong Xu,* Wind Shielding Analysis for Cold Regions Using Experimental and Numerical Techniques, February 2016.

17. *Wakes S. J.,* Use of CFD in the initial design of a snow fence, 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego, CA, USA, Daniel P. Ames, Nigel W. T. Quinn And Andrea E. Rizzoli (Eds.), <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2014-proceedings>, 2014.

18. *Иванова, Е., Иванова, С.* Принципи монтажни схеми на PV панели върху магистрални снегозащитни съоръжения – 2 част. В: Сборник доклади от XVIII Юбилейна международна научна конференция ВСУ – 2018, 18-20 октомври 2018, София.

19. *Y. Tominaga* (2018). Computational Fluid Dynamics Simulation of Snowdrift Around Buildings: Past Achievements and Future Perspectives. Cold Regions Science and Technology 150 (2018) 2–14.

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

**E. Ivanova<sup>1</sup>, I. Sulay<sup>2</sup>, V. Katsarova<sup>3</sup>, D. Miteva<sup>4</sup>, I. Staykov<sup>5</sup>, S. Ivanova<sup>6</sup>,  
S. Gospodinov<sup>7</sup>, D. Boyadzhieva<sup>8</sup>, S. Boyadzhiev<sup>9</sup>**

## 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 by snowdrifts on the roads, which can be developed in an effective system with practical application. 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 conceptual constructive variants of snow protection facilities of stationary type with photovoltaic panels, proposed in the scientific theme.

---

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

<sup>2</sup> Irena Sulay, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: irenasulay@abv.bg

<sup>3</sup> Vanina Katsarova, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: popova.vanina@gmail.com

<sup>4</sup> Desislava Miteva, Eng. PhD student, Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: des.miteva@gmail.com

<sup>5</sup> Iliyan Staykov, Eng. Doctoral student, Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ilian.staikov@gmail.com

<sup>6</sup> Stoyanka Ivanova, Assoc. Prof. Dr. Arch., Dept. "Computer-Aided Engineering", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: siva\_fce@uacg.bg

<sup>7</sup> Slaveyko Gospodinov, Prof. Dr. Eng. Dept. "Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: sgospodinov@mail.bg

<sup>8</sup> Delyana Boyadzhieva, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: delianab@yahoo.com

<sup>9</sup> Simeon Boyadzhiev, Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: sbojadjiev@yahoo.com