



Получена: 09.12.2022 г.

Приета: 23.12.2022 г.

## ВЛИЯНИЕ НА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ ВЪРХУ ТРАНСПОРТНАТА ИНФРАСТРУКТУРА В БЪЛГАРИЯ

Е. Иванова<sup>1</sup>, С. Матев<sup>2</sup>, С. Иванова<sup>3</sup>

*Ключови думи:* климатични промени, транспортна инфраструктура, повишаване на температурите, екстремни климатични явления

### РЕЗЮМЕ

Климатичните промени засягат по много начини сградите и съоръженията, построени от хората. Това важи и за транспортната инфраструктура, чиято работна повърхност е в постоянен контакт с атмосферните фактори. Нейното състояние зависи от промените в температурата, влажността, честотата на екстремните климатични явления, количеството и интензивността на валежите, снегонавяванията и фазовите преходи на водата върху пътната настилка. Климатичните изменения през последните години оказват влияние върху елементите на климата в различна степен през всички сезони. Настоящата публикация е фокусирана върху изменението на основните климатични елементи за последните 30 години в България и тяхното влияние върху състоянието и перспективите на транспортната инфраструктура. Проектирането и поддръжката на пътищата трябва да отчита настъпващите и очакваните изменения на климата, за да се гарантира експлоатационната им годност. Това налага взаимодействието между климатичните промени и пътната инфраструктура да бъде изследвано, анализирано и вземано предвид.

---

<sup>1</sup> Евелина Иванова, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [altera1979@abv.bg](mailto:altera1979@abv.bg)

<sup>2</sup> Симеон Матев, гл. ас. д-р, СУ „Св. Климент Охридски“, София 1000, бул. „Цариградско шосе“ 15, e-mail: [smatev@gea.uni-sofia.bg](mailto:smatev@gea.uni-sofia.bg)

<sup>3</sup> Стоянка Иванова, проф. д-р арх., кат. „Автоматизация на инженерния труд“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [siva\\_fce@uacg.bg](mailto:siva_fce@uacg.bg)

## 1. Увод

Изменението на климата, проявяващо се чрез глобалното затопляне, увеличаването на честотата на екстремните явления, повишаването на морското ниво, топенето на ледниците вълнува и занимава все по-често както научните среди, така и цялото общество. Климатичните промени са обект на проучване и изследване от все повече заинтересувани институции поради голямото им влияние върху редица социални и икономически процеси.

Промените, настъпващи в атмосферата, океаните, криосферата и биосферата, недвусмислено показват, че светът се е затоплил. Последният доклад на Междуправителствения панел по климатичните промени (IPCC, 2021 [1]) посочва, че средната глобална температура се е повишила с около 1,09 °C от края на XIX век до днес. Последното десетилетие (2011 – 2020 г.) е най-топлото, откакто се водят системни метеорологични наблюдения. По-голямо е затоплянето на сушата, където средната температура се е повишила с 1,59 °C, докато над океаните повишението е по-малко – с 0,88 °C. Изменението на температурата на въздуха, както на средната, така и на някои нейни показатели – минимални и максимални стойности, краткосрочните им колебания и многогодишните им тенденции, както и някои индекси за екстремни температури, като ледени дни, тропични нощи, горещи вълни, са най-често използвани показатели при изследване на изменението на климата в регионален и глобален мащаб [2 – 8].

По отношение на годишната сума на валежите се наблюдава увеличение, започващо от средата на миналия век, като темпът на нарастване се е увеличил от 80-те години на XX век [1]. Тази тенденция не е за целия свят, като има региони, в които се наблюдава значително намаление на валежите и зачестяване на сушите. В много части на Земята се регистрира увеличение на интензивните валежи, водещи до разрушаване на инфраструктурата, включително и пътната.

От началото на XX век морското ниво се е покачило с около 20 cm. Скоростта на покачване се увеличава, а през миналия век тя е по-голяма от всяко изминало столетие за последните 3 хилядолетия.

Редица елементи на климата и свързаните с тях показатели през последните 50 години се променят със скорост, която е безпрецедентна за последните поне 2000 години [1]. Неминуемо това оказва различно влияние върху социално-икономическия живот и към съществуващата инфраструктура. Изучаването на тези промени и връзката им с различни сектори на икономиката ще даде отговори на редица въпроси, свързани с това, какво можем да очакваме в бъдеще. Това налага и нуждата от повече изследвания на настъпващите климатични промени и тяхното влияние, не само в природен, но и в социално-икономически план.

Целта на статията е да илюстрира влиянието на някои климатични елементи в извънпланинската част на България върху части от транспортната инфраструктура на страната и готовността на последната за адекватна реакция. За целта ще бъдат разгледани настъпилите климатични промени при средните минимални и максимални температури, както и в броя на дни със снежна покривка, ледените дни и дните с валеж над 1,0 mm и каква потенциална инфраструктурна уязвимост предизвикват тези промени.

## 2. Климатични изменения в България

### 2.1. Методи на изследване

Изходната информация за настъпилите климатични изменения е под формата на сурови данни от метеорологичните наблюдения в осем синоптични станции от първи клас в България с подаване на данни на всеки три часа в международния обмен. Станциите, които участват в изследването, трябва да изпълняват два критерия: 1) възможност за публичен достъп до метеорологична информация, и 2) да отразяват в максимална степен физикогеографското разнообразие на страната ни. В този смисъл са подбрани осем станции, четири от които в Северна България – Видин, Ловеч, Разград и Варна и четири в Южна – Сливен, Кърджали, Сандански и София (фиг. 1) [9].



Фиг. 1. Географско положение на използваните станции [9]

Надморската височина на тези станции е от 31 m във Видин до 586 m в София, като повечето от тях са разположени в хипсометричния пояс между 200 и 500 m. Географските координати на избраните наблюдателни пунктове от метеорологичната мрежа ги поставят между крайните (южна и северна, западна и източна) точки на страната.

Станциите Видин (низина в Дунавската равнина), Ловеч (хълмист район на Предбалкана), Разград (изпъкнала релефна форма в Лудогорието) и София (висока котловина) попадат в границите на умереноконтиненталната климатична област. Метеостанцията във Варна е в северната част на черноморската климатична област. Станция Сливен е разположена в преходната климатична област [10], в Сливенската котловина. Метеорологичните станции Сандански и Кърджали са разположени в континентално-средиземноморската климатична област, съответно в котловина и долинно разширение.

За анализиране на получените данни са използвани основни статистико-математически методи, като средна стойност, тренд-анализ, отклонение от нормата, екстремни събития по 10-ти и 90-ти перцентил, рекордни стойности, като за техническа обработка на данните са използвани програмите AnClim и MS Excel. За установяване на настъпилите промени са сравнени два 30-годишни периода: 1961 – 1990 г. и 1991 – 2020 г.

## 2.2. Резултати от изследването на климатичните изменения

За установяване на настъпилите климатични промени за територията на България в настоящата статия ще бъдат разгледани някои показатели на температурата на въздуха, като средна максимална и средна минимална температура, както и индикаторът брой на ледени дни. Също така елементът валежи ще бъде представен от показателя брой на дни с валеж над 1,0 mm. Изброените показатели и индикатори не са от най-изследваните в климатологията, някои автори ги определят като второстепенни [11], но дават добра представа за някои екстремни прояви на основните климатични елементи температура и валежи.

### 2.2.1. Средни минимални температури

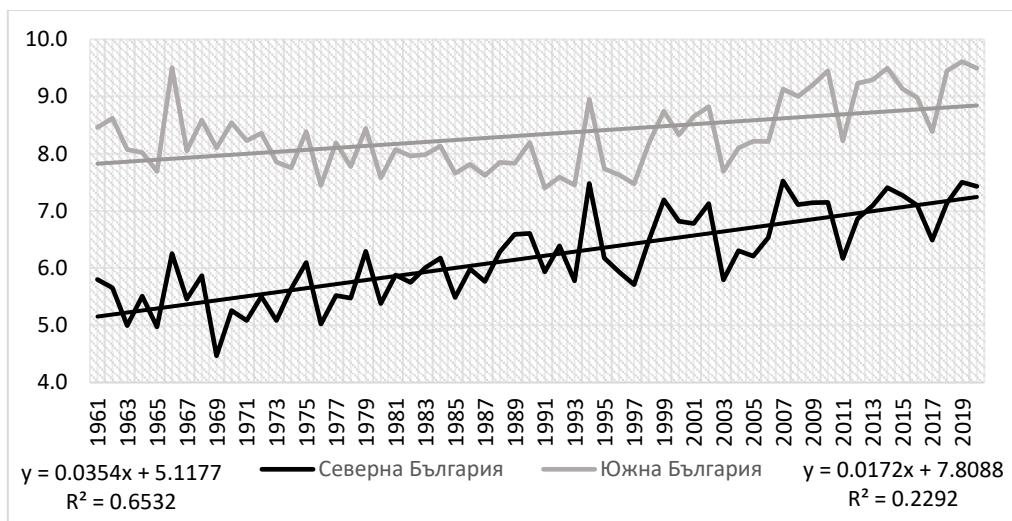
Минималната денонощна температура най-често се регистрира преди изгрев слънце, когато сумарните стойности на радиационното изстиване на земната повърхност са най-големи. Изключение е възможно при преминаване на атмосферни смущения, обикновено студени фронтове, и тогава минимумът може да се случи по-всяко време на денонощието. Средната месечна и годишната минимална температура дава представа за средните граници, до които се понижава температурата на въздуха.

След направените изчисления и сравнения се установи, че средната годишна минимална температура в географски аспект е претърпяла по-големи изменения в районите с умереноконтинентален климат в сравнение с тези с преходен климат, с континентално-средиземноморски и с черноморски климат. Повишението на средногодишната минимална температура в местата с умереноконтинентален климат е 1,1 °C, докато в останалите три климатични области – с 0,5 °C. Повишенията на минималните температури през 1991 – 2020 г. спрямо 1961 – 1990 г. са по-големи в хълмистите райони в сравнение с равнинните (табл. 1). В София освен някои циркулационни фактори, причина за сравнително голямото повишение на минималните температури, въпреки негативната форма на релефа, има най-вероятно и градският топлинен остров.

Таблица 1. Средногодишни минимални температури на въздуха (°C)

Станция/територия	1961 – 1990 г.	1991 – 2020 г.	Разлика (°C) между 1991 – 2020 г. и 1961 – 1990 г.
Видин	6,0	6,5	0,5
Ловеч	6,1	7,2	1,1
Разград	5,5	7,2	1,7
Варна	8,6	9,3	0,7
София	5,1	6,0	0,9
Сливен	8,0	8,8	0,8
Сандански	8,8	9,2	0,4
Кърджали	7,1	7,0	(-)0,1
Северна България и София			1,1
Южна България и Варна			0,5

Осреднените стойности на годишните минимални температури през периода 1961 – 2020 г. за всички станции показват тенденция към повишаване (фиг. 2). Многогодишният ход на разглеждания показател се характеризира с по-голяма амплитуда на колебанията след 90-те години на XX в. С по-ниски от средните стойности се отличава периодът от 1968 г. до 1988 г., след което започват колебания с по-голяма амплитуда.



**Фиг. 2.** Многогодишен ход и линеен тренд на средногодишната минимална температура на въздуха за Северна и Южна България за периода 1961 – 2020 г.

Уравнението на линейната регресия за целия период показва повишение с около  $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$  на десетилетие за Южна България и  $0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  за Северна. Много по-голяма скорост на повишение се наблюдава през годините от новия век. За всички станции трендът на повишение от 2001 до 2020 г. е  $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$  на десетилетие, а за последните 10 години повишението е още по-голямо и достига  $0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$  на десетилетие, което недвусмислено показва, че измененията през последните години настъпват много бързо.

Във вътрешно годишно разпределение най-голяма промяна е настъпила през месеците август и юли, когато при сравнение на средната минимална температура за периода 1991 – 2020 г. спрямо 1961 – 2020 се наблюдава промяна, достигаща до  $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  в Разград.

Съответно по сезони най-голяма промяна закономерно е настъпила през лятото (фиг. 4), докато през зимата промяната е най-малка. Причините за такова разпределение на настъпилите промени по сезони трябва да се търсят основно в циркулационните условия, като за такава промяна се говори и в проучвания на Велев, 2010 [2] и на Рачев и Филипов, 2016 [12]. Интересно е да се отбележи, че циркулационните условия се проявяват по различен начин в едни и същи климатични зони.

### 2.2.2. Средни максимални температури на въздуха

Максималната температура на въздуха дава представа за горните граници на изменение на температурата и представлява по-консервативен и по-представителен белег на термичното състояние на дадена територия [13]. Максималната температура се влияе в по-малка степен от формата на релефа, отколкото средната денонощна и средната минимална температура, защото тя се случва обикновено, когато турбулентният въздухообмен е най-голям, най-често в часовете около и след зенита на слънцето.

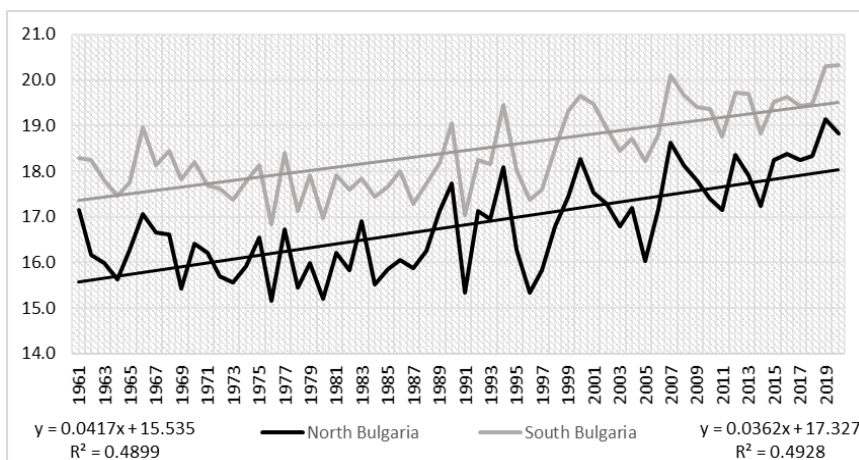
Повишението на средногодишните максимални температури е в границите от  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Разград и Кърджали) до  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Ловеч) (табл. 2). Средногодишните максимални температури на въздуха се повишават при всички изследвани станции, за разлика от измененията на средногодишните минимални температури (табл. 1).

В географски аспект не се установяват различия в размера на увеличението на средногодишните максимални температури между Северна и Южна България (табл. 2). Малко

по-голямо повишение се отчита в районите с умереноконтинентален климат в сравнение с останалата част на страната, като Разград се явява изключение.

**Таблица 2. Средногодишни максимални температури на въздуха (°C)**

Станция/територия	Период на наблюдение			Разлика между 1991 – 2020 г. и 1961 – 1990 г.
	1961 – 2020	1961 – 1990	1991 – 2020	
Видин	17,5	16,8	18,2	1,4
Ловеч	17,5	16,7	18,2	1,5
Разград	16,5	16,1	16,8	0,8
Варна	17,2	16,6	17,7	1,1
София	15,8	15,1	16,5	1,4
Сливен	17,7	17,2	18,5	1,3
Сандански	20,1	19,5	20,9	1,4
Кърджали	18,5	18,1	18,9	0,8
Северна България и София				1,3
Южна България и Варна				1,2



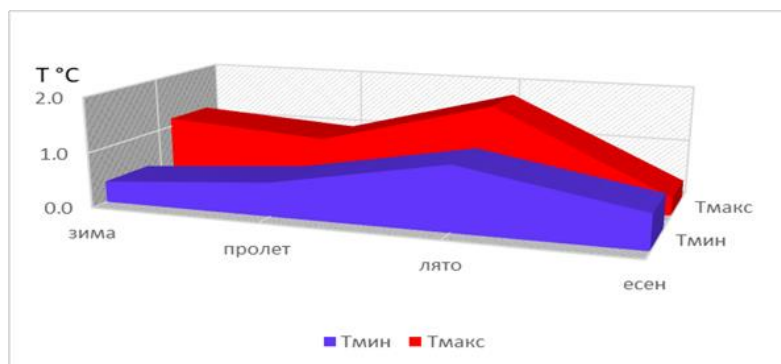
**Фиг. 3. Многогодишен ход и линеен тренд на средногодишната максимална температура на въздуха за Северна и Южна България за периода 1961 – 2020 г.**

Многогодишният хронологичен ход на средногодишните максимални температури на въздуха за 1961 – 2020 г. показва големи амплитуди между стойностите на изследвания показател, особено след 1987 г., както и добре изразен положителен линеен тренд.

Уравнението на линейната регресия показва повишение на средногодишните максимални температури с около 0,4 °C на десетилетие за всички станции, което е по-високо в сравнение с повишението при средногодишните минимални температури за същия времеви период (фиг. 3). При анализ на тренда за периода от 2000 до 2020 г. повишението на средната максимална температура е 0,59 °C/десетилетие, а през последните 10 години от изследвания период е значимите 1,1 °C/десетилетие.

Осреднените стойности на отклоненията на средната максимална температура на въздуха по климатични сезони показват най-голяма промяна през летния климатичен сезон – 1,8 °C, а най-малко през есенния климатичен сезон – 0,3 °C. При сравняване на този

резултат с измененията на средната минимална температура по сезони се установява, че при зимния сезон изменението на максималните температури е много по-голямо в сравнение с изменението на минималните температури на въздуха (фиг. 4).



**Фиг. 4.** Промяна по сезони на средната минимална и максимална температура на периода 1991 – 2020 г. спрямо периода 1961 – 1990 г.

Най-малки са отклоненията през есента, като това важи за всички станции, като в Разград се наблюдава дори понижението с 0,3 °C.

### 2.2.3. Брой ледени дни

Индикаторът „леден ден“ се дефинира като денонощие, в което максималната температура е равна или по-ниска от 0 °C ( $T_{\max} \leq 0$  °C), т.е. през целия ден температурата на въздуха остава отрицателна. Леденият ден е един от основните индикатори за екстремно студени климатични явления [14] и затова анализът на този показател е важен за изясняване на характера на настъпилите климатични промени в даден регион.

В седем от станциите се наблюдава намаление на средногодишния брой ледени дни през последните 30 години спрямо периода 1961 – 1990 г., което варира от 1 до 26. В Кърджали се наблюдава увеличение от 10 %. През месеците януари, февруари и март има намаление на средните стойности в различна степен (табл. 3), а през месеците ноември и декември се наблюдава почти повсеместно увеличение на ледените дни.

**Таблица 3.** Средногодишен брой ледени дни

Станция	Период			Изменение (%) на 1991 – 2020 г. спрямо 1961 – 1990 г.*	Максимален брой ледени дни	
	1961 – 2020	1961 – 1990	1991 – 2020		Брой	Година
Видин	18,7	20,3	17,1	(-)16	41	1963
Ловеч	20	21,8	18,2	(-)16	47	1969
Разград	23,7	24,2	23,5	(-)1	50	1996
Варна	7,8	8,1	7,5	(-)7	22	1985
София	21	22,9	19,2	(-)15	43	1962
Сливен	7	7,7	6,4	(-)17	22	1985
Сандански	3	3,5	2,6	(-)26	15	1963
Кърджали	6,9	6,5	7,4	10	22	1987

\*Знакът в скобите (-) показва намаление.

В географски аспект промяната в броя на ледените дни също проявява закономерност. Станции, разположени в Източна България, показват по-малко намаление на ледените дни, а през месеците ноември и декември установеното увеличение на ледени дни е по-голямо. Причините за това разпределение най-вероятно са циркулационни – по-чести североизточни студени нахлувания, спрямо северозападни.

Трендът на намаление на годишния брой ледени дни е с приблизително 7 дни на десетилетие. Въпреки това, през последните 30 години се отбелязват и няколко рекорда по максимален брой ледени дни, както и разширяване на времевия интервал на случване на ледените дни. Например в София леден ден е отбелязан през април, а в Разград и отново в София през октомври – явления, които преди 1996 г. никога не са се случвали през тези преходни месеци [9].

Намалението на броя на ледените дни има негативен ефект върху обектите от инфраструктурата, които се влияят от мразовото изветряне, защото по този начин се увеличават дните с преход на температурата през 0 °С. Това води до по-често размразяване на водата на подстилящата повърхност през деня и съответно до последващо замръзване през нощта, което от своя страна подлагат на изпитание фугите и пукнатините на покривната повърхност.

#### 2.2.4. Брой дни с валеж над 1,0 mm

Климатичният показател брой дни с валежи над 1,0 mm дава представа за честотата на падащите валежи в дадена точка, като по този начин се получава важна информация относно овлажняването и респективно засушаването за редица отрасли на стопанството, като агробизнес, строителство, туризъм и др.

За ден с валеж над 1,0 mm се приема ден с валеж, равен или по-голям от 1,0 mm или 1,0 l/m<sup>2</sup> в сутрешния срок на отчитане в дъждомера за изминалото денонощие. Понякога се отчитат валежни количества и от хоризонтални валежи (роса, слана, скреж), но почти винаги количеството от такъв тип валежи в извънпланинските станции е под 1,0 mm, в повечето случаи възлиза на 0,2 – 0,5 mm.

Таблица 4. Средногодишен брой дни с валеж над 1,0 mm

Станция	Период			Изменение (%) през 1991 – 2020 г. спрямо 1961 – 1990 г.*	Максимален брой дни валеж над 1,0 mm	
	1961 – 2020	1961 – 1990	1991 – 2020		Брой	Година
Видин	76	78	76	(-)3	110	2014
Ловеч	83	82	84	3	108	2014
Разград	80	78	82	5	111	2005
Варна	66	65	67	3	94	1997
София	85	87	84	(-)3	112	1976, 1995, 2010
Сливен	71	72	70	(-)3	98	2014
Сандански	69	72	67	(-)6	95	1980
Кърджали	76	77	74	(-)4	104	1966

В най-голяма степен броят на дните с валеж над 1,0 mm зависи от циркуляционните условия на даден район, както и от местните условия. Основни носители на валежи в страната през цялата година са атмосферните фронтални системи, свързани с циклоналната дейност. Позитивните релефни форми увеличават количеството на падналите валежи, особено когато се явяват наветрени (срещуположни) спрямо идващата влажна въздушна маса и предпоставят очакванията за по-голям брой дни с валеж над 1,0 mm в планинските райони спрямо равнинните. Орографските прегради могат да имат и обратен ефект – да формират валежни сенки при конкретен въздушен пренос, защото въздушните маси, преодолявайки планинската преграда и спускайки се зад билото, се затоплят и губят част от влагата си, което често води до разрушаване на облачната среда [15].

При сравняване на периодите 1961 – 1990 г. и 1991 – 2020 г. се установяват малки изменения на този показател, като особеното е, че в различните части на страната промяната е разнопосочна и варира от 3 до 6 % (табл. 4). Тенденцията за намаление на броя дни с валеж над 1,0 mm е по-ясно изразена в южните части на страната. Полученият резултат съответства на увеличението на годишните валежни суми при Разград (с 19 %), Варна (с 11 %) и в Ловеч (с 7 %), установено от Рачев и Асенова, 2019 [4] за периода 1986 – 2015 г. спрямо 1961 – 1990 г.

Максималният брой дни с валеж над 1,0 mm в извънпланинската част на територията на страната за целия изчислителен период е между 94 (Варна) и 112 дни (София) (табл. 4). Максималният брой дни с валеж над 1,0 mm при станциите Видин, Ловеч и Сливен се отчита през 2014 г. – годината с рекордно големи годишни валежи в голяма част от територията на страната [16].

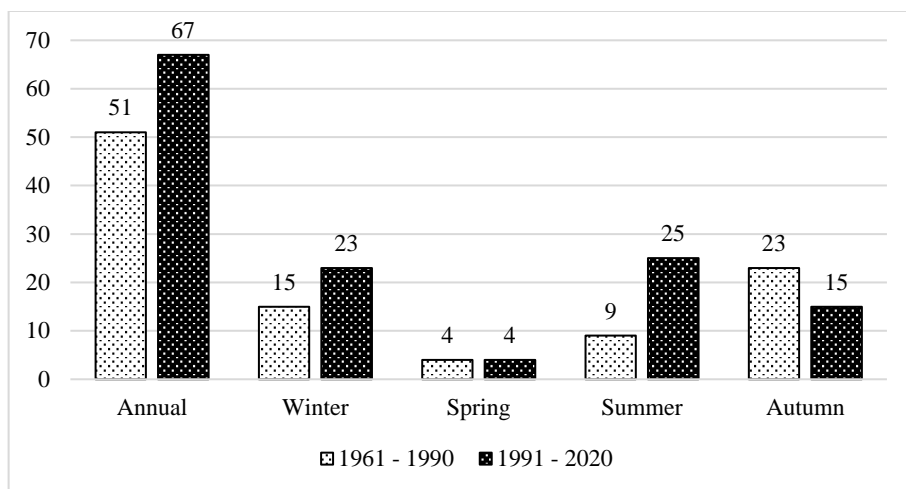
Анализирани са и екстремните случаи на брой дни с валеж над 1,0 mm спрямо 10-ия и 90-ия квантил. За целия изчислителен период броят на годините с екстремно голям брой дни с валеж над 1,0 mm е между четири и шест, и се разпределят най-равномерно за периода 1991 – 2020 г. спрямо 1961 – 1990 г. при станциите София и Видин (по три години за всеки от тези два периода), и най-неравномерно при станция Варна, където екстремно влажните години се регистрират само през периода 1991 – 2020 г. (табл. 2).

Повече екстремни събития се регистрират през периода 1991 – 2020 г. – 56 случая, в сравнение с периода 1961 – 1990 г., през който случаите са 29. Това напълно кореспондира с докладите на IPCC (2021) [1] за по-голяма честота на екстремните явления през последните десетилетия.

Изследван е и броят на месеците, през които не е отчетен нито един ден с валеж над 1,0 mm в даден месец (практически, това са случаи през месеци, през които не е вляло), като също се наблюдават интересни процеси (фиг. 5). Най-много такива случаи има в станциите, разположени в континентално-средиземноморската област, а най-малко се отчитат при станциите от умерено-континенталната климатична област, в София и Ловеч, като причината е близостта на двете станции до по-големи орографски обекти. Значимата роля на орографията добре личи от сравнително големия брой (14) на такива случаи във Видин, разположен далеч от пресечен и планински терен, и в Сливен, който близо до Стара планина има по-малък брой – само 12.

По сезони най-малко случаи без валежи над 1 mm има през пролетта, с оглед на голямата динамика на атмосферните процеси през този сезон. През летния сезон повече са тези случаи в Източна и Южна България, докато при станция София не се отчитат такива.

При сравнение на случаите през различните периоди се наблюдава увеличение, което е най-изразително през летния климатичен сезон при станция Кърджали.



**Фиг. 5. Случаи (брой дни) на месеци с 0 дни с валеж над 1,0 mm по сезони**

Въпреки че в настоящата статия не са изследвани интензивните валежи, заради негативния ефект, който имат върху редица обекти на транспортната инфраструктура, трябва се каже, че през последните години зачестяват случаите на интензивни извалявания в България [17]. Освен през летния период, нарастват случаите на интензивни валежи и през студеното полугодие. По-често се случват в източната половина на страната и в южните райони.

### **3. Влияние на климатичните изменения върху транспортната инфраструктура в България**

#### **3.1. Уязвимост на транспортната инфраструктура от климатичните изменения**

Наблюдава се уязвимост на транспортната инфраструктура по отношение на изменението на климата при всички носители по видове транспорт. Примери за засегнати елементи са:

- повреди на асфалтовите покрития и компрометиране на заложената носимоспособност на настилките при високи температури в резултат на разтопяване на битума. Повреди на настилките при самолетните писти;
- задълбочаване на ерозионните процеси при изкопи, насипи и основни пластове в рамките на пътищата, железопътните линии и транспортните съоръжения (насипи зад устои на мостове, тунелни портали и други);
- завишаване на приноса към геоложкия риск по транспортната инфраструктура от повърхностното въздействие на валежите, което допълнително се усложнява при наличието на ветрове с високи скорости;
- температурно разширение на релсите и пренагриване на кабелите на контактната мрежа, което води до преустановяване на трафика или намаляване на пробегната скорост;

- рискове от пожарни въздействия върху конструкцията на пътя, пътните принадлежности, ограничителните системи, железопътните линии и транспортните съоръжения и др. Задимяване, намалена видимост, рискове за пътната безопасност;
- претоварване на отводнителните системи в урбанизираните територии при транспортните съоръжения и задържане на воден филм при пътищата от РПМ, което може да доведе до настъпване на аквапланинг (основен оценъчен рисков фактор за пътната безопасност в урбанизиран и неурбанизиран територии);
- намалена видимост при пробегата при обилен валеж;
- подкопаване или директно разрушаване на долното строене при мостови съоръжения вследствие на придошла вълна в речните корита;
- повреждане на елементи от горното и/или долното строене при железопътните линии;
- задържане на вода в пукнатини на пътните настилки, която при понижаване на температурите замръзва и разширява обхвата на пукнатините;
- задържане на високи нива на подпочвените води, възможност за компрометиране на конструктивните облицовки при подземни съоръжения, тунели, метрополитени;
- увеличаване на риска за възникване на пожари в близост до транспортна инфраструктура при продължителни засушавания през периоди на летни температури;
- образуване на т.нар. „черен лед“ по пътищата при ниски температури и мъгла;
- образуване на заледени участъци по пътните настилки, замръзване на водата в пукнатини, опасност от загуба на сцепление и ПТП;
- обледяване на контактната мрежа при електрифицираните жп линии;
- формиране на явлението „леден дъжд“, при което в условията на ниски температури валежните количества се натрупват под формата на ледено тегло върху всички елементи на природната и транспортната инфраструктура. Това предизвиква скъсване на заскрежените проводници на електропреносната мрежа (за обекти като летища, жп линии и други), прекъсване на дървета, стълбове и други върху линейните обекти. При попадане върху пътните настилки веднага се образува ледена повърхност;
- обледяване на конструкцията на оградни съоръжения при пристанища, което може да доведе до настъпване на КГС (крайно гранично състояние), особено при насипни вълноломи;
- замръзване на вода в отводнителните елементи на мостовете, повреждане на връхните конструкции на пътни мостове от противообледителните състави, особено при наличие на скъсени тръби и вятър (пример: корозия на бетона на главни греди);

- натрупване на сняг върху пътните настилки, намалена видимост при обилен снеговалеж, снежни навявания при пътищата и железопътните линии в условията на скоростен вятър – проблеми с непрекъснатостта на трафика и пътната безопасност;
- разрушения на крайбрежна транспортна инфраструктура и на пристанищна и брегозащитна такава при наличие на високи водни нива или вълново въздействие. Най-застрашени са склоновете на бреговете зони от засилването на ерозионните процеси и цялата пристанищна и брегозащитна инфраструктура от вълновото въздействие.

Направеният предварителен анализ за актуалността и необходимостта от темата показва, че има нива на уязвимост при всички елементи на транспортната инфраструктура, като в най-голяма степен чувствителност се отчита при пътната такава.

### **3.2. Липса на бази данни, на интердисциплинарни изследвания и анализи, липса на препоръки и методики за превенция и реакции при кризи**

Сериозен недостатък за България се явява фактът, че между 2018 и 2023 г. Докладът по адаптация към изменение на климата (АИК) [18] остава единственият оценяващ и препоръчващ документ за предприемане на действия по адекватен отговор на превенция и реакция по време на експлоатацията на транспортната инфраструктура във връзка с очаквани бъдещи екстремни климатични събития и в съответствие с [19]. След 2018 г. екипът не установи продължаващи дейности по анализ на очакваните екстремни стойности на климатичните явления, нито мерки (мероприятия) по тип инфраструктура, вече установени и посочени в Доклада за видовете транспортен носител. В допълнение, сложната световна обстановка в последните години изхвърли в далечна перспектива необходимостта от нов подход при формирането на транспортните инфраструктурни обекти, който да внедрява и прилага принципите на „устойчивото развитие“ в нашата страна. Респективно, всички елементи на моделиране на устойчива транспортна инфраструктура подлежат на обезпечаване.

По отношение на климатичния риск във връзка със стандартите за въздействия върху сгради и съоръжения има заявен ангажимент, примерно в [20], но в транспортното строителство се регистрира сериозно изоставане и малко на брой публикации с отношение към проблема в последните години [21].

За сравнение, в последните пет до седем години държави като САЩ, Англия, Ирландия, Бразилия и други [22] търсят проекция на климатичните модели при организиране на етапите на инвестиционния процес при транспортната си инфраструктура (от проектирането, през поддръжката и превенцията при кризи), с което се търси постигане на икономия на капиталовложения за поддръжка на инфраструктурата, при непрекъснатост на транспортната услуга и транспортна безопасност.

### **3.3. Адаптиране на инфраструктурата за подобряване на нейната устойчивост срещу климатичните рискове**

Трудността при адаптирането на транспортната инфраструктура за подобряване на нейната устойчивост срещу климатичните рискове е свързана с потенциалната неизвестност, която климатичните модели не могат да дефинират. Същевременно съществува

неяснота по отношение на това с каква скорост, с каква степен и в каква времева рамка ще се измени климатът, за да се формират предпоставки за обхват на инвестиционната област при вземането на решения в етапите на проектиране и експлоатация на транспортната инфраструктура.

Значимостта на проблема, всеобхватността на задачите, които трябва да се разглеждат и необходимостта от интердисциплинарност на екипите, които биха работили за постигане на приложими модели, също ограничава скоростта на изпълнението на такъв род проекти. Допълнителни затруднения се очаква да произтекат от спецификата по тип транспортна инфраструктура (пътна, железопътна, пристанищна, летищна, транспортни съоръжения и други).

Въпреки това трябва да се стартира с анализите и прогнозите, така че проектирането и поддръжката на транспортните носители да отчитат настъпващите и очакваните изменения на климата, за да се гарантира дълготрайността и експлоатационната годност при осигурен безопасен и непрекъснат пробег на трафика по инфраструктурата. Това означава, че взаимодействието между климатичните промени и транспортната инфраструктура налага да бъде изследвано, анализирано и вземано предвид. По този начин ще се достигне до прогнозна базова яснота по отношение на завишаване на финансовата рамка за обезпечаване на жизнения цикъл на инвестиционните проекти в транспортното строителство.

## **Изводи**

Настоящата публикация е уводна по проект, който изследва изменението на основните климатични елементи за последните 30 години в България и влиянието им върху състоянието и перспективите на транспортната инфраструктура. Публикацията разглежда подробно климатичните изменения в България – по отношение на средни минимални и максимални температури на въздуха, брой ледени дни, брой дни с валеж над 1 mm, както и брой месеци без никакви валежи. Анализира се уязвимостта на транспортната инфраструктура, липсата на бази данни, на интердисциплинарни изследвания и анализи, препоръки и методики за превенция и реакции при кризи.

С предложената тематика авторите изразяват ангажираност по въпроса за търсенето на модел за първоначална процедурна последователност, който да е приемлив и приложим за оценка на инвестиционните проекти и съществуващата транспортна инфраструктура в рамките на приоритетни за България екстремни климатични явления.

## **Благодарности**

Част от настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на Национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и финансирана от МОН (Споразумение № Д01- 279/03.12.2021).

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

2. *Velev, St.* The climate of Bulgaria. Sofia: Heron Press LTD, 2010 (in Bulgarian).
3. *Rachev, N., Dimitrova, D.* Changes in average temperatures and precipitation in Bulgaria for the period 1995 – 2015. // Ann. Univ. Sofia, Fac. Physics, 2016 (in Bulgarian).
4. *Rachev, G., Asenova, N.* Recently changes in air temperature and precipitation in Bulgaria. // Ann. of Sofia University, Faculty of Geology and Geography, Book 2 – Geography, 2018, vol. 110 (in Bulgarian).
5. *Abbasnia, M., Toros, H.* Analysis of long-term changes in extreme climatic indices: a case study of the Mediterranean climate, Marmara Region, Turkey. Pure Appl. Geophys. 2018, 175, 3861 – 3873, <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1888-8>.
6. *Chenkova, N., Nikolova, N.* Air temperature and precipitation variability in Northeastern Bulgaria on the background of climate change. // Thermal Science, 2015 19(2), 82 – 300.
7. *Ji, F., Wu, Z., Huang, J., & Chassignet, E. P.* Evolution of land surface air temperature trend. // Nature Climate Change, 2014, 4(6), 462 – 466, <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2223>.
8. *Jones, P., Lister, D., Osborn, T., Harpham, C., Salmon, M., & Morice, C.* Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. // Journal of Geophysical Research, 2012, 117, D05127, <https://doi.org/10.1029/2011JD017139>.
9. *Matev, S.* Recently climate fluctuations in Bulgaria. PhD Thesys, Sofia University "St. Kliment Ohridski", Faculty of Geology and Geography, Dep. of "Climatology, Hydrology and Geomorphology", 2020, <http://digilib.nalis.bg/xmlui/handle/nls/34559>.
10. *Topliiski, D.* The climate of Bulgaria. Sofia: Foundation Amstels. 300 pp., (in Bulgarian), 2006.
11. *Rachev, G.* Climatology – questions and answers. Sofia: Paradigm. 2018 (in Bulgarian).
12. *Rachev, G., Filipov, D.* Chronological changes in precipitation at Musala, Botev and Cherni vrah stations. // Ann. of Sofia University, Faculty of Geology and Geography, Book 2 – Geography, 2016, vol. 108 (in Bulgarian).
13. *Dimitrov, D.* Climatology of Bulgaria, Sofia: Science and Art (in Bulgarian), 1968.
14. *Nikolova, N.* Research Methods in Climatology. Avangard Prima, Sofia, 2018, p. 164.
15. *Panchev, S.* Physics of the atmosphere. Sofia: National Education (in Bulgarian), 1988.
16. *Drenovski I., Kastreva P.* Extremely Rainy 2014 in Bulgaria. // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 2017, Vol. 12, No. 1, p. 171–178.
17. *Bocheva, L., Gospodinov, I., Simeonov, P., Marinova, T.* Climatological Analysis of the Synoptic Situations Causing Torrential Precipitation Events in Bulgaria over the Period 1961-2007, Springer, Global Environmental Change: Challenges to Science and Society in Southeastern Europe, 2010, 9, 97 – 108.
18. Report on Adaptation to Climate Change – Annex 7: Transport Sector Assessment, 2018.
19. Paris Agreement – United Nations Framework Convention on Climate Change, <https://eur-lex.europa.eu/content/paris-agreement/paris-agreement.html?locale=bg>.

20. Radlov, K., Krasini, F. Loads from climatic effects on bearing structures of tower cranes and their normative assurance. // Bulgarian Journal of Engineering Design, no. 18, 2013, ISSN #1313-7530 (print); #662 in NRS, 51-58.

21. Ivanova, E., Ivanova, S. Development of an approach for parametric metasynthesis of operational indicators of roads from the RPM of Bulgaria based on satellite data. // VI International Scientific Conference "INDUSTRY 4.0" 2021, 08.12. – 11.12.2021, Borovets, Bulgaria, ISSN 2535-0153 (print), ISSN 2535-0161 (online) 2021, 209 – 212.

22. de Abreu, V.H.S., Santos, A.S., Monteiro, T.G.M. Climate Change Impacts on the Road Transport Infrastructure: A Systematic Review on Adaptation Measures, Sustainability 2022, 14, 8864, <https://doi.org/10.3390/su14148864>.

## IMPACT OF CLIMATE CHANGES ON TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN BULGARIA

E. Ivanova<sup>1</sup>, S. Matev<sup>2</sup>, S. Ivanova<sup>3</sup>

**Keywords:** *climate changes, transport infrastructure, snowfall, rising temperatures, extreme weather events*

### ABSTRACT

Climate change affects human-made buildings and structures in many ways. Its condition depends on changes in temperature, humidity, the frequency of extreme weather events, the amount and intensity of precipitation, snow drifts, and phase transitions of water on the road surface. This also applies to the transport infrastructure whose working surface is in constant contact with atmospheric factors. Climate changes in recent years affect climate elements to varying degrees in all seasons. The present publication is focused on the change of main climatic elements over the last 30 years in Bulgaria and their influence on the condition and prospects of the transport infrastructure. The road design and maintenance must consider the occurring and expected climate changes to ensure their serviceability. This requires the interaction between climate change and road infrastructure to be researched, analysed and evaluated.

---

<sup>1</sup> Evelina Ivanova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [altera1979@abv.bg](mailto:altera1979@abv.bg)

<sup>2</sup> Simeon Matev, Assist. Prof. Dr., Sofia University St. Kliment Ohridski, 15 Tsarigradsko Shose, e-mail: [smatev@gea.uni-sofia.bg](mailto:smatev@gea.uni-sofia.bg)

<sup>3</sup> Stoyanka Ivanova, Prof. Dr. Arch., Dept. "Computer-Aided Engineering", UACEG, 1 H. Smirnenski Str., Sofia 1046, e-mail: [siva\\_fce@uacg.bg](mailto:siva_fce@uacg.bg)