

## Въздействия от кос дъжд върху сградите в България

**Цветан Димитров, Емил Моралийски**

Национален институт по метеорология и хидрология,  
Българска академия на науките  
бул. Цариградско шосе 66, 1784 София

**Abstract.** Taking to consideration of meteorological impacts is an important stage during the buildings' design process. The precipitations which fall directly on buildings' vertical wall – driving rains, represent one of those influences. They occur in cases of rain accompanied by wind with speeds greater than 6 m/s and are of special interest for architects and civil engineers. The different exposure vertical walls' precipitation amounts, intensity and driving rain duration are obtained. The driving rain's roses are found out and its values with different return period for the most unfavorable wall's direction are calculated. The index of driving rain is calculated for different stations of the territory of Bulgaria and its values are grouped by gradations.

### 1 Увод

Дъждът придружен от по-силен вятър условно е прието да се нарича кос дъжд (*driving rain, schregregen, косой дождь*). Характерна черта на това метеорологично явление, е че дъждовните капки в зависимост от скоростта на вятъра и тяхната големина се отклоняват от вертикалата и попадат върху стените на сградите. По този начин една част от валежа директно прониква във вътрешността на помещенията през лошо уплътнени врати и прозорци, а останалата се стича по фасадите и се просмуква от мазилката. Подобно редуване на омокряне и изсъхване на външните стени първоначално само нарушава естетичния вид на сградите, но с течение на времето води и до увреждане и дори разрушаване на мазилката им. Абсорбираната от външните стени влага, освен до влошаване на санитарно-хигиенните условия в помещенията (*поява на плесени и мухъл*), води и до повишаване на топлопроводността на ограждащите стени. В резултат се увеличава разходът на енергия за поддържане на комфортни условия в сградите и се влошава тяхната енергийна ефективност. Поради това локализирането на районите, където косите дъждове

се срещат често, е важно за архитектите, строителните инженери и предприемачите, защото спомага за оптимизиране на процеса по проектиране и намалява разходите за експлоатация и поддръжка на вече изградените съоръжения.

## 2 Косвени методи за пресмятане количеството на косия валеж

В България, както и в много страни по света, не се извършват инструментални измервания на валежни количества върху вертикални стени. Липсата на достатъчно данни е довела до разработването на косвени подходи за оценката на косите дъждове. Разработените отдавна косвени методи [1-3] са достатъчно надеждни и позволяват определянето на характеристиките на косия валеж с достатъчна за практиката точност.

Количеството на косия дъжд  $P_V$  през вертикално сечение в несмутен въздушен поток може да бъде определено по формулата [1]:

$$P_V = P_H \frac{V}{V_R}, \quad (1)$$

където  $P_H$  е количеството валеж върху хоризонтална повърхност,  $V$  – средна скорост на вятъра по време на валежа, а  $V_R$  – средната скорост на равновесното падане на дъждовните капки. Средната скорост на равновесното падане на капките зависи от големината им (*спектралното им разпределение*), интензитета и продължителността на валежа, като може да се определи от формулата [1]:

$$V_R = \frac{\int_0^{r_{\max}} N_d r^3 V_R dr}{\int_0^{r_{\max}} N_d r^3 dr}, \quad (2)$$

$$N_d = N_0 e^{-ad}, \quad (3)$$

където  $N_d$  е броят на капките с диаметър  $d$  в единица обем,  $N_0$  – константа ( $0,08 \text{ cm}^{-4}$ ),  $I$  – интензитетът на валежа [mm/h],  $r$  – радиусът на капките,  $r_{\max}$  – максималният възможен радиус на капките, а параметърът  $a$  се определя по формулата:  $a = 41 \cdot I^{-0.21} \text{ cm}^{-1}$ . Тъй като разпределението на капките по големина за всеки конкретен дъжд е неизвестно, в практиката се използват емпирични зависимости, позволяващи определянето на  $V_R$  в зависимост от интензитета на дъжда. Разработени са също и графични зависимости [1], базиращи се на предположението, че спектъра на капките се подчинява на разпределението на Маршал–Палмер. Те са използвани при изследване на явлението в нашата страна [4]. Норвежкият

### *Въздействия от кос дъжд върху сградите в България*

научно-изследователски институт по строителство препоръчва при определянето на равновесната скорост на падане на капките да се използва формулата [5]:

$$V_R = 4.5I^{0.107} . \quad (4)$$

В практиката широко се използват и двата подхода (формула (4) и графичната зависимост, която се базира на уравнения (2) и (3)), като при интензитет над 5 mm/h двете методики дават идентични резултати. По такъв начин, като се знае количеството върху хоризонтална повърхност ( $P_H$ ) и продължителността ( $L$ ) на валежа върху хоризонтална повърхност, може да се определи неговият интензитет:

$$I = \frac{P_H}{L} , \quad (5)$$

респективно  $V_R$  и количеството кос валеж върху вертикална повърхност ( $P_V$ ).

Количеството на косия дъжд в България е изчислено на базата на данни от синоптичните наблюдения в различни пунктове от страната: Ново село (Видинско), Шумен, Русе, Силистра, Чирпан, Пазарджик и София. Анализът е извършен на база данни за количества на валежа върху хоризонтална повърхност, скоростта на вятъра, а продължителността – при отчитане на атмосферните явления, за периода от март до ноември, като през преходните месеци са разглеждани само случаи с течен валеж. Изследван е периодът 1962–83 г., като за долна граница на скоростта на вятъра при кос дъжд е приета стойността 6 m/s [6]. Поради голямото стопанско и социално значение на град София, като основен град в страната, тук са анализирани всички случаи на валеж, придружен с вятър  $V \geq 2$  m/s. В столицата са изследвани общо 623 денонощия с над 1000 случая на дъжд, придружен с вятър през периода 1960–83 г. При извършения анализ, когато интервалът на прекъсване между два случая на кос дъжд е по-голям от 6 часа и най-вече ако посоката на вятъра се е променила значително, вторият случай е разглеждан като отделен. Определянето на годишните количества кос дъжд може да се осъществи по емпирични формули от [6,7] на база на измерените годишни количества върху хоризонтална повърхност, средногодишната скорост на вятъра, а по-прецизните и с отчитане на относителната честота на скоростта на вятъра по градуации. Провеждани са изследвания [6] за сравнение за отношението на валежните количества върху вертикална и хоризонтална повърхност в зависимост от скоростта на вятъра, които показват, че стените получават повече валеж от хоризонталната даже при ниска скорост на вятъра (2.5 m/s), но при малък интензитет – 0.01 mm/min. В получената от Моралийски зависимост [4] на осред-

Табл. 1: Средногодишно количество на косите дъждове ( $l/m^2$ ) по посока

	N	NE	E	Посока				
				SE	S	SW	W	NW
Ново село	3.0	3.9	4.7	0	0	0.5	3.8	9.1
Русе	1.8	57.1	3.0	0.9	1.2	43.0	31.2	13.1
Силистра	28.5	48.5	4.4	2.7	2.1	11.0	11.3	14.6
Шумен	12.9	5.9	0.9	3.2	3.3	2.1	40.1	56.6
Чирпан	0.9	31.7	25.8	0.4	0	1.3	14.7	2.5
Пазарджик	0.5	3.5	5.3	0.3	0.2	0.6	6.8	11.0
София	4.2	4.3	11.8	17.0	7.2	15.1	56.9	41.0

неното отношение  $P_V/P_H$  от скоростта на вятъра за София, вертикалната повърхност започва да получава повече валеж при скорост на вятъра над 4 m/s, а над 15 m/s отношението е над 4 пъти. В настоящото изследване валежът върху вертикални стени е определен по формули (1) и (4). Количествата на коси валежи върху стени с различна ориентация в пунктове от страната са представени в Табл. 1. Отделно в Табл. 2 са показани средните месечни и денонощни количества валеж върху хоризонтална и вертикална повърхност в София.

Средната скорост на вятъра  $\bar{V}$  за един дъжд (както и количеството валеж при дадена посока на вятъра  $\gamma$ ) е определена, като е използван тегловният принцип:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (6)$$

Табл. 2: Средно количество валеж ( $l/m^2$ ) върху хоризонтална ( $P_H$ ) и вертикална ( $P_V$ ) повърхност (при  $V \geq 2$  m/s) в София

	Месец						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	<i>Месечна сума</i>						
$P_H$	52	83	85	56	47	44	47
$P_V$	43	64	50	47	42	36	34
	<i>Денонощен валеж</i>						
$P_H^{\text{Макс}}$	16	22	26	22	20	19	18
$P_V^{\text{Средно}}$	18	20	26	22	19	19	18
$P_V^{\text{Средно при } V \geq 5 \text{ m/s}}$	11	20	12	13	13	13	14

### Въздействия от кос дъжд върху сградите в България

където  $t_i$  е подинтервалът време със скорост на вятъра  $V_i$ , а  $n$  – броят на подинтервалите и

$$L^\gamma = \frac{\sum_{j=1}^m t_j^\gamma}{L} 100, \quad (7)$$

където  $L$  е продължителността на валежа,  $L^\gamma$  – относителната продължителност от посока  $\gamma$ ,  $m$  – броят на подинтервалите с различна посока на вятъра.

#### 2.1 Повторяемост, продължителност и интензитет на косите дъждове

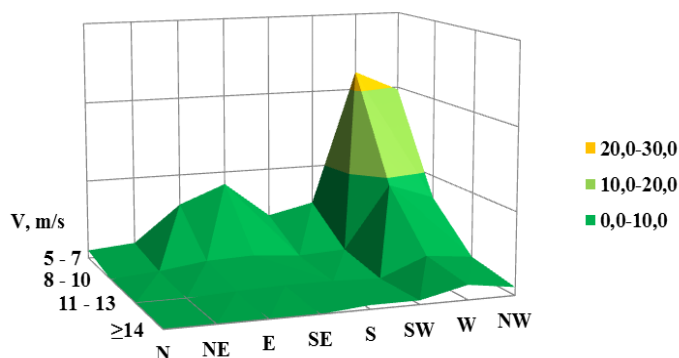
Честотата на косите дъждове е важна за архитектите и строителните предприемачи, стойностите ѝ по месеци за разглежданите пунктове са представени в Табл. 3. Тази повторяемост е свързана с честотата на течните валежите при високи скорости на вятъра и е най-голяма през април, като за ниските райони на южна България максимумът се измества към месец март. Повторяемостта на денонощията с кос валеж, при  $V \geq 2$  m/s, по месеци за София е най-голяма през април, май и юни [4].

Табл. 3: Относителна честота (%) на косия дъжд за различни пуктове

	Месец									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Ново село</b>	11.0	17.1	9.7	12.2	6.1	13.4	13.4	6.1	11.0	11.0
<b>Русе</b>	5.8	17.0	11.2	16.6	9.0	6.7	10.8	11.2	11.7	11.7
<b>Силистра</b>	8.7	20.1	14.8	11.4	6.1	8.7	9.4	12.1	8.7	8.7
<b>Шумен</b>	8.7	17.0	10.4	10.0	13.0	8.3	10.0	12.2	10.4	10.4
<b>Чирпан</b>	25.5	19.0	9.2	5.2	7.2	3.9	2.6	16.3	11.1	11.1
<b>Пазарджик</b>	29.7	18.0	7.0	8.6	7.8	3.9	6.2	8.6	10.2	10.2

Практически интерес за строителните инженери и инвеститори представлява познаването на повторяемостта на косите дъждове по посока – рози на косите дъждове. Случаите с кос дъжд, в които вятърът рязко сменя посоката си са разглеждани като отделни, защото така могат да се омокрят повече от една стена. Например в 13 от случаите в станция Чирпан вятърът сменя от 2 до 3 пъти посоката си.

Преобладаващите скорости на вятъра при кос валеж са в интервала от 6 до 8 m/s (от 38.7% за Русе до 71.3% – Силистра и 71.7% в Шумен). Средната скорост на вятъра при кос дъжд в Ново село е 8.8 m/s, в Русе – 11.0 m/s, в Силистра – 8.1 m/s, в Шумен – 8.0 m/s, в Чирпан – 9.1 m/s и в Пазарджик – 8.5 m/s. Същевременно 3/4 от случаите с кос валеж са при скорости до 10 m/s, изключение прави само Русе с около 60% от случаите.



Фиг. 1: Честота на вятъра по посока и скорост при валеж – София.

На Фиг. 1 е представена честотата на вятъра по посока и скорост ( $V \geq 5$  m/s) при кос дъжд за София. Преобладаващата посока на вятъра в столицата е от сектора W–NW и с вторичен максимум в сектора SE–E.

Продължителността на косия валеж е втората по значимост за строителната практика характеристика след количеството му. Разпределението на продължителността на косия валеж за разглежданите пунктова е представено в Табл. 4. Най-много случаи с кос дъжд се наблюдават в интервала за продължителност от 1 до 3 часа.

Табл. 4: Относителна честота (%) косия дъжд по продължителност [h]

	Продължителност						
	0.01–0.5	0.51–1	1.01–3	3.1–5	5.01–10	10.1–20	> 20
<b>Ново село</b>	11.0	17.1	30.5	15.9	17.1	7.3	1.2
<b>Русе</b>	9.9	14.8	29.6	9.4	21.1	14.3	0.9
<b>Силистра</b>	3.3	7.3	29.3	15.3	23.3	17.3	4.0
<b>Шумен</b>	8.7	14.3	31.7	19.1	15.7	9.6	0.9
<b>Чирпан</b>	6.5	18.8	24.0	17.5	21.4	9.7	1.9
<b>Пазарджик</b>	10.9	15.5	31.8	24.0	13.2	3.9	0.8

Осреднената продължителност на косия дъжд в разглежданите пунктове е: Ново село – 4.0 h, Русе – 4.8 h, Силистра – 6.5 h, Шумен – 4.1 h, Чирпан – 5.0 h и Пазарджик – 3.5 часа (осреднена по всички месеци от топлата част на годината през периода 1962–83 г.). В Табл. 5 е показана средната месечна, денонощна и непрекъсната продължителност на дъжд, придружен с вятър със скорост над 2 m/s за град София.

Въздействия от кос дъжд върху сградите в България

Табл. 5: Средна продължителност [h] на косия дъжд в столицата

	Месец						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<b>Месечна</b>	18.6	19.6	16.4	9.3	9.0	14.5	10.7
<b>Денонощна</b>	5.2	4.2	3.9	3.0	3.9	5.7	5.0
<b>Непрекъсната</b>	3.2	3.4	2.3	1.8	2.3	5.3	3.8

В столицата около 2/3 от случаите с непрекъснат валеж при  $V \geq 2$  m/s попадат в интервала от 0 до 3 часа, като най-често са краткотрайните с продължителност до 1 час – 32% от общия брой случаи [4].

Интензитетът на косия дъжд върху стените е получен посредством интензитета върху хоризонтална повърхност, като формула (1) се раздели на продължителността на дъжда:

$$I_V = I_H \frac{V}{V_R} . \quad (8)$$

Табл. 6: Средномесечен интензитет ( $I_V$ , mm/h) на косия дъжд за различни пунктове

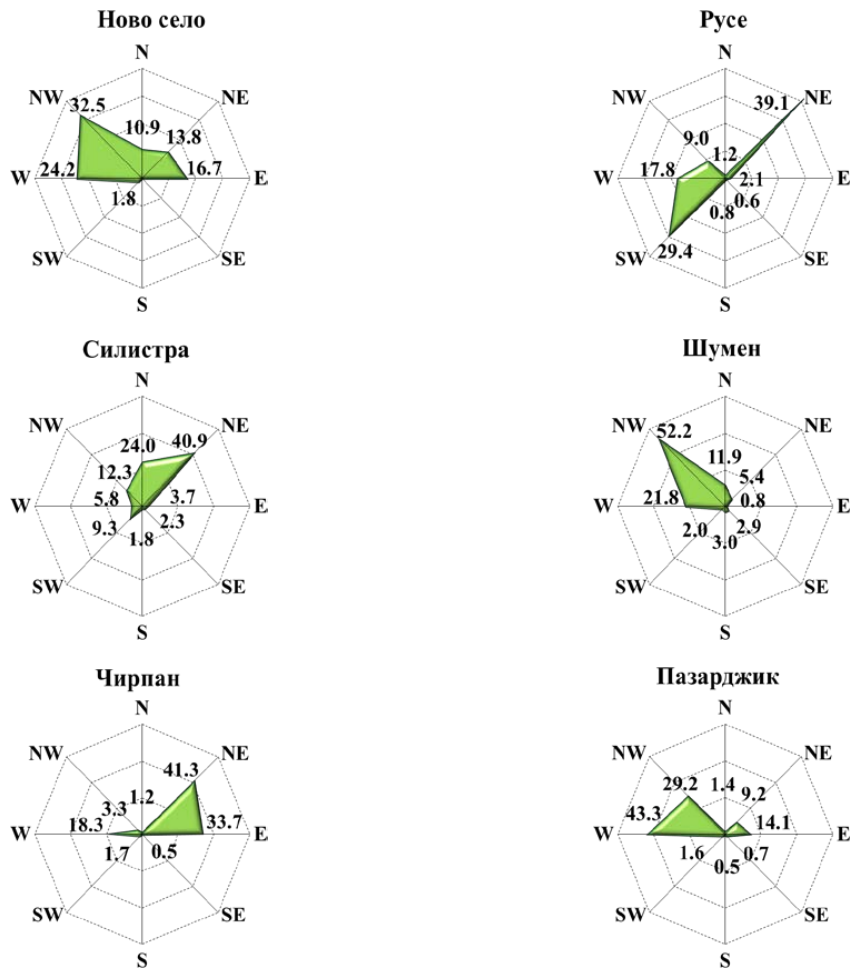
	Месец									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Ново село</b>	1.1	1.5	2.9	2.6	1.5	4.5	3.2	1.5	1.5	
<b>Русе</b>	1.8	3.3	5.6	5.5	5.5	4.8	2.9	2.7	4.4	
<b>Силистра</b>	1.3	1.9	3.0	4.8	5.1	4.9	2.3	2.4	3.6	
<b>Шумен</b>	1.6	2.5	3.5	4.2	4.9	4.7	2.2	2.7	2.3	
<b>Пазарджик</b>	2.1	1.4	2.8	3.5	5.9	3.2	3.2	1.5	2.5	

## 2.2 Рози на косите дъждове

Особен интерес за строителните инженери и предприемачи представлява честотното разпределение на валежа, падащ върху вертикалните ограждащи стени с различна ориентация по пососка, така наречените “рози” на косите дъждове – средно за година. Те широко се използват в практиката [4,8].

Розите на косия дъжд (по данни от периода от 1962 до 1982 г.) за различни пунктове от територията на страната са показани на Фиг. 2.

Освен розата на косите дъждове за целите на строителното проектиране е важно да се знае и количеството кос валеж, възможно веднъж на определен брой години, върху стена със зададена ориента-



Фиг. 2: Годишни рози на косия дъжд в Ново село, Русе, Силистра, Шумен, Чирпан и Пазарджик по данни за периода от 1962 до 1983 г.

ция. От разпределението на косия дъжд по посока са избрани най-неблагоприятните направления (*тези с най-голямо средногодишно количество на валежа*) в 6-те пункта и за тях посредством метода на статистическа екстраполация са определени количествата с период на повторение веднъж на 5, 10, 15 и 25 години (Табл. 7). В столицата веднъж на петдесет години е възможно денонощното валежно количество кос валеж да надвиши  $70 \text{ l/m}^2$  [4] от западна посока.



Въздействия от кос дъжд върху сградите в България

Табл. 7: Обезпеченост на количеството кос валеж ( $l/m^2$ ) по неблагоприятна посока

Пункт	Посока	Пресметнато макс. количество по посока*	Обезпеченост един път на N години			
			5	10	15	25
Ново село	NW	24	14	26	37	58
Русе	NE	68	40	59	74	98
Силистра	NE	120	42	63	91	130
Шумен	NW	75	38	62	82	110
Чирпан	NE	56	32	45	56	70
Пазарджик	W	24	11	17	23	33

\*Максималното количество по посока е пресметнато с използването на формулите 4, 5 и 8.

### 2.3 Индекс на косия дъжд

Оценката за относителната честота на проявление на коси дъждове в даден район се извършва с помощта на индекс на косия дъжд ( $IDR$ ). Първоначално такъв е предложен в от Lacy и Shellard [6]:

$$IDR = \frac{\overline{P\bar{V}}}{1000}, \quad (9)$$

където  $\bar{P}$  е средната многогодишна сума на валежа, а  $\bar{V}$  – средната многогодишна скорост на вятъра. Предвид режима на вятъра [9] и валежите [10] в България, този индекс е адаптиран за нашата страна [11]:

$$IDR_{BG} = \frac{P\bar{V}}{250}, \quad (10)$$

където  $P$  е валежната сума за месеците април, май и юни, а  $V$  – средната скорост на вятъра за тези месеци. Тези месеци са избрани, защото в тях се наблюдават най-високи скорости на вятъра; най-голяма валежна сума и брой на дни с валеж от дъжд и най-много случаи на кос валеж. Индексът е модифициран допълнително за отчитане на относителната част от времето през трите месеца със скорост на вятъра  $V \geq 6$  m/s:

$$IDR_{BG} = \frac{P\bar{V}}{250} (1 + m), \quad (11)$$

където  $m$  е относителната продължителност на периода със скорост на вятъра над 6 m/s, така индексът става по-прецизен (Табл. 8).

Индексът на косия дъжд е пресметнат за 125 пункта от територията на България с надморска височина до 1000 m. Районирането на

Табл. 8: Оценка на приноса на корекционния множител  $(1 + m)$  в  $IDR_{BG}$  [ $m^2/s$ ]

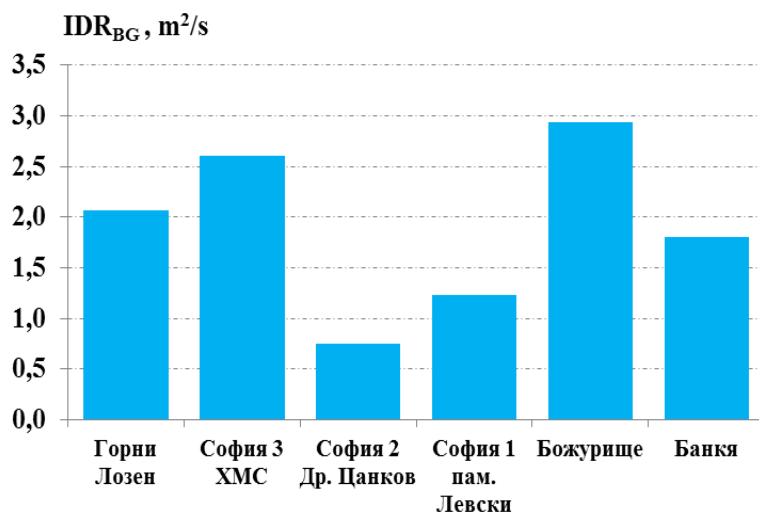
Станция	$IDR_{BG}$	$IDR_{BG} (1 + m)$	Станция	$IDR_{BG}$	$IDR_{BG} (1 + m)$
Габрово	0.99	1.01	Ямбол	2.38	2.80
Севлиево	1.02	1.06	Асеновград	2.39	2.72
Сухиндол	1.98	2.21	Тетевен	2.41	2.43
Трън	1.99	2.07	Ботевград	2.42	2.58
Елена	2.38	2.51	Божурище	2.48	2.90

страната, даже и изготвянето на карта схема е силно затруднено поради: силното влияние на орографията върху посоката и скоростта на вятъра; петнистият характер на валежите. В потвърждение на това твърдение на Фиг. 3 са представени стойностите на  $IDR_{BG}$  за метеорологичните станции в Софийското поле. Стойностите на индекса варират в границите, валидни и за територията на страната. Поради това в Табл. 9 е представен само списък на пунктовете с индекс по-голям от единица в четири градации: 1.1–1.6; 1.7–2.2; 2.3–2.8 и 2.9–3.4  $m^2/s$ . Стойности над 3.5 не се наблюдават в разглежданите пунктове, като само в Омуртаг  $IDR_{BG}$  е най-висок – 5.5  $m^2/s$ .

Табл. 9: Групиране на пунктовете по  $IDR_{BG}$  [ $m^2/s$ ] в градации

Градации			
1.1–1.6	1.7–2.2	2.3–2.8	2.9–3.4
Видин, Белоградчик,	Нова село, Грамада,	Оряхово, Тетевен,	Гара Самуил,
Троян, Севлиево,	Белоградчик,	Елена, Исперих,	Калиакра,
Балчик, Ст. Оряхово,	Бойчиновци,	Тервел, Бургас,	Божурище
Несебър, Бургас,	Монтана, Берковица,	Поморие, Ямбол,	
Средец, Айтос,	Петрохан, Враца,	Асеновград,	
Ст. Загора, Казанлък,	Габаре, Сухиндол,	Ситняково,	
Хасково,	Павликени, Дряново,	Ботевград, София (3)	
Димитровград,	Русе, Обр. чифлик,		
Свиленград,	Кубрат, Разград,		
Крумовград,	Търговище, Шабла,		
Кърджали, Райково,	Крушари, Карнобат,		
Чепеларе, Пловдив,	Елхово, Сливен,		
Панагюрище,	Чирпан, Харманли,		
Пазарджик, Пещера,	Трън, Вакарел,		
Велинград, Банско,	Копривщица,		
Сандански, Петрич,	Пирдоп, Г. Лозен,		
Рила, Перник,	Банкя, Искрец,		
Радомир, Боровец,	Силистра		
Самоков, Ихтиман,			
София(1)			

### Въздействия от кос дъжд върху сградите в България



Фиг. 3: IDR<sub>BG</sub> в Софийското поле [m<sup>2</sup>/s].

### 3 Заключение

Режимът на косите дъждове в страната е изследван, като е проучено пространственото разпределение на това комплексно метеорологично явление на територията на България. Установено е, че непрекъснатата продължителност на косите дъждове в София може да достигне до 5.3 часа през септември, а средната сумарна месечна продължителност до 19.6 часа през май. Извършеният анализ показва, че в около 70% от случаите продължителността на косите дъждове в столицата е до 3 часа. Получени са рози на косите дъждове за характерни пунктове от територията на България, в които явлението се наблюдава често и представлява значимо по своя характер въздействие върху сградите. Извършено е групиране на пунктовете от територията на сраната по градации, което ще спомогне за оптимизиране на проектирането на сградите и тяхната безопасна експлоатация. Пресметнато е количеството на косите дъждове по пунктове от страната с различна обезпеченост. Предложен е усъвършенстван индекс на косия дъжд за територията на България, който е поинформативен за архитектите и проектантите, строителните предприемачи и други потребители на специализирана метеорологична информация.

## Литература

- [1] Богданова Э. Г. (1975) Методика разчета сумы осадков проходящих через вертикальное сечение. *Тр. ГГО, вып. 341, с. 79-86*;
- [2] Садагашвили Г. Р., Картвелишвили П. Г. (1982) Методика ороботки метеорологических наблюдения с целью оценки параметров косых дождей. *Симпозиум "Строительная климатология 20-24 сентебря, Труды ГГО, част II, Москва*;
- [3] Prohachzka J. (1988) Quantity of precipitation incident on vertical variously orientated surfaces in Czechoslovakia. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium "Building climatology", May 12-15, 1987, Moscow, Part 3, M*;
- [4] Моралийски Е. (1984) Оценка на косия дъжд в София. *Хидрология и метеорология, кн. 6, с. 57-61*;
- [5] Кобышева Н. В. и кол. (2008) Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. *Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Санкт-Петербург*;
- [6] Методы по расчету климатических параметров косой дождь. (1985) *МС ГДР, Потсдам*;
- [7] Kobysheva N. V. (1992) Guidance material on the calculation of climate parameters used for building purposes. *WMO - No 665, Geneva, Switzerland*;
- [8] Прайор М. Дж. (1982) Улучшенные индексы наклонного дождя для Соединенного Королевство – расчеты, картирования и применение. *Симпозиум "Строительная климатология сентябрь 20-24, част 36*;
- [9] Кючукова М. и колектив. (1982) Климатичен справочник за НР България, том. 4 "Вятър". *Издаелство "Наука и изкуство С.*;
- [10] Колева Е., Р. Пенева. (1990) Климатичен справочник на НР България: "Валежи в България". *Издаелство на БАН, С.*;
- [11] Моралийски Е. (2007) Метеорологични въздействия върху сградите, формиране на микроклимата в тях и енергийният им баланс на територията на България. *Дисертация за получаване на научната степен „доктор на науките“, София.*