



Получена: 07.05.2021 г.

Приета: 02.06.2021 г.

## СРАВНЕНИЕ НА ВЕТРОВТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ ПОКРИВИ НА СТАДИОНИ, ОПРЕДЕЛЕНО СЪГЛАСНО РАЗЛИЧНИ СТАНДАРТИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ

Цв. Георгиев<sup>1</sup>, Ст. Райков<sup>2</sup>, Д. Динев<sup>3</sup>

*Ключови думи:* ветрово въздействие, покриви на стадиони, стандарти за проектиране, Наредба № 3, БДС EN 1991-1-4

### РЕЗЮМЕ

В доклада се прави обзор на препоръките за определяне на коефициентите за налягане от ветрово въздействие за покриви на стадиони. Анализирани са подходящи схеми и аналогии, приложими за козирки над трибуни. Засегнати са пет стандарта за проектиране, които предлагат информация за определяне на нетното налягане от вятър върху покрив на стадион. Първообраз и причина за това изследване е работата на авторите на доклада по определянето на ветровото натоварване върху стоманените козирки на стадион „Христо Ботев“ в град Пловдив.

Предложено е сравнение на резултатите от използването на различни стандарти за проектиране и са направени изводи относно големината на натоварването от вятър (натиск или смучене). Пояснени са подходящите схеми и аналогии за определяне на стационарните компоненти на ветровото въздействие, които могат да бъдат използвани във фазата на концептуалното проектиране на подобни покриви на стадиони.

---

<sup>1</sup> Цветан Георгиев, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: cvgeorgiev\_fce@uacg.bg

<sup>2</sup> Станислав Райков, гл.ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: raykov\_fce@uacg.bg

<sup>3</sup> Добромир Динев, доц. д-р инж., кат. „Строителна механика”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ddinev\_fce@uacg.bg

## 1. Въведение

Нормативните източници имат водеща роля, когато става дума за определяне на ветровото въздействие върху строителни конструкции в процеса на инвестиционното проектиране. Техните препоръки се основават на солидни научноизследователски проекти, реализирани от висококвалифицирани специалисти. Резултатите от проведените анализи и самите нормативни препоръки преминават през задълбочено обсъждане в съответните инженерни и академични общности и представляват опростени и консервативни препоръки, които следва да се използват в конструктивния анализ.

Съвременното строителство се развива с бързи темпове, което се дължи предимно на напредъка в изчислителните компютърни симулации и развитието на строителните материали и технологии. Това от своя страна се отразява в мащабни строежи с индивидуални форми, които често не попадат в типовете случаи, разглеждани от стандартите за проектиране. Типичен пример за това са спортните стадиони, характерни с разнообразни архитектурни форми и конструктивни системи.

В доклада се прави обзор на препоръките за определяне на коефициентите за налягане на покриви на стадиони. Анализирани са подходящи схеми и аналогии, приложими за козирки над трибуни. Разгледани са голям брой стандарти, но подробно са засегнати пет стандарта за проектиране, които предлагат информация за определяне на нетното налягане от вятър върху конзолен покрив на стадион. Първообраз и причина за това изследване е работата на авторите относно определянето на ветровото натоварване върху стоманените козирки на стадион „Христо Ботев“ в град Пловдив [1, 2].

## 2. Относно обекта, за който се отнася това изследване

Стадион „Христо Ботев“ се намира в град Пловдив, кв. Каменица, бул. „Източен“ № 10. Построен е в периода 1959 – 1961 година. През 2012 година е започната мащабна реконструкция, която е спряна през 2014, поради липса на финансиране. Понастоящем е в ход проект за реконструкцията на стадиона и превръщането му в модерно спортно съоръжение, вж. фиг. 1.



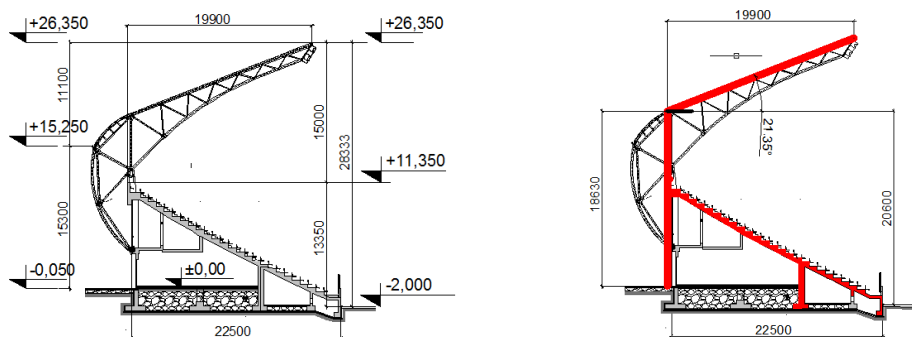
*а) общ изглед към сектори В и Г, период януари 2021*



*б) общ изглед на стадион „Христо Ботев“ – проект [1]*

**Фиг. 1.** Текущо състояние на строежа и общ изглед в завършен вид

Геометрията на реконструирувания стадион „Христо Ботев“ се характеризира със своята овална форма. За да се потърси аналогия с указанията на някои водещи нормативни документи, е направено известно опростяване на тази форма. Основните размери на козирките в сектори Б, В и Г, както и опростената им аналогия, са показани на фиг. 2.



а) основни геометрични параметри на конструкциите на сектори Б, В и Г

б) опростена геометрия на конструкциите на сектори Б, В и Г

**Фиг. 2.** Реална и опростена на геометрия на трибуните и козирките на сектори Б, В и Г

### 3. Анализ на резултатите от различни нормативни източници

В настоящия доклад са разгледани норми и стандарти за проектиране, които дават информация за коефициентите на налягане<sup>1</sup> от вятър върху козирки над трибуни на стадиони. Разгледани са редица световни норми и стандарти, но само в три от тях са намерени преки указания за вятър върху козирки над трибуни [3 ÷ 5], а в останалите два източника [6 и 7] са използвани аналогии. Разгледаните стандарти и норми за определяне на ветрово натоварване са както следва:

- Стандартът на Австралия и Нова Зеландия, AS/NZS 1170.2:2011, [3].
- Стандартът на Република Индия, IS 875:2015, [4].
- Стандартът на Великобритания, BS 6399-2:2002, [5].
- Еврокод 1, [6].
- Български национални норми, [7].

#### 3.1. Стандарт за ветрово натоварване върху строежи на Австралия и Нова Зеландия

Стандартът на Австралия и Нова Зеландия [3], в няколко поредни свои издания дава указания за аеродинамични коефициенти за натоварване от вятър върху конзолни покриви над трибуни на стадиони. Ограничителните условия за приложимост на неговите препоръки са следните:

– Всяка трибуна се разглежда като самостоятелна. За целта, разстоянието до съседна трибуна по пътя на вятъра или друго съизмеримо препятствие трябва да бъде над шест пъти височината на трибуната  $h$  – фиг. 3.

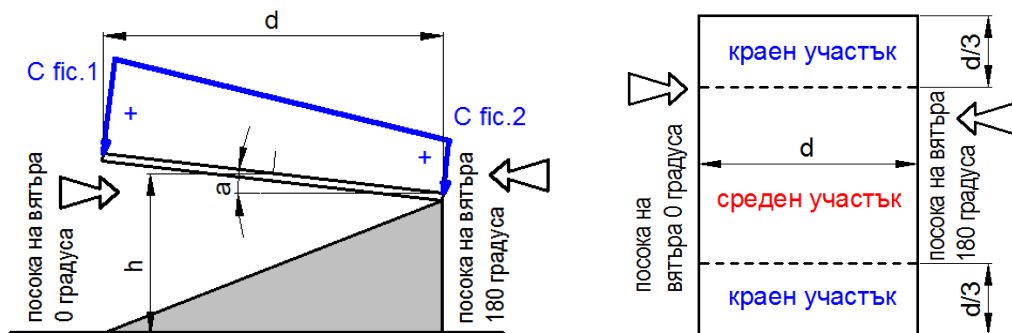
Следва да се направи уговорката, че разстоянието между трибуните на сектори Б и Г е 130 метра, което е 5,5 пъти височината  $h$ , или с 10% под граничното разстояние, което изисква стандартът на Австралия и Нова Зеландия. Всички останали разстояния между покривите над трибуните и околните съизмерими препятствия са по-малки и следователно не отговарят на предпоставката, дефинирана в [3].

<sup>1</sup> В настоящия доклад „коефициенти на налягане“ и „аеродинамични коефициенти“ се използват като термини за едно и също нещо.

– Наклонът на покрива следва да попада в диапазона от  $-7^\circ$  до  $+7^\circ$ . Опростената геометрия на стадион „Христо Ботев“ за сектори Б, В и Г показва, че този параметър не попада в указания диапазон, вж. фиг. 2,б.

Стандартът дава указания и за определяне на динамичен коефициент  $C_{dyn}$ , в зависимост от собствената честота на свободни вертикални трептения на козирката, скоростта на вятъра и параметри, характеризиращи пулсациите на вятъра. Съгласно този критерий (собствена честота на вертикални вибрации при 50% сняг върху покрива  $f_1 = 1,88$  Hz) и скорост на вятъра 25,9 m/s се получава, че коефициентът на динамичност  $C_{dyn} = 1,0$ . Може да се приеме, че в конструкцията не се пораждат допълнителни динамични ефекти вследствие пулсациите на вятъра.

За всички случаи, когато дадена конструкция не попада в условията на валидност, дефинирани в [3], стандартът изисква да се проведе изследване чрез ветрови тунел. Въпреки че конкретният случай не попада в изискванията на стандарта на Австралия и Нова Зеландия, тук е направена оценка на аеродинамичните коефициенти съгласно данните от фиг. 3 и табл. 1 и резултатът е показан на фиг. 4 и фиг. 5.

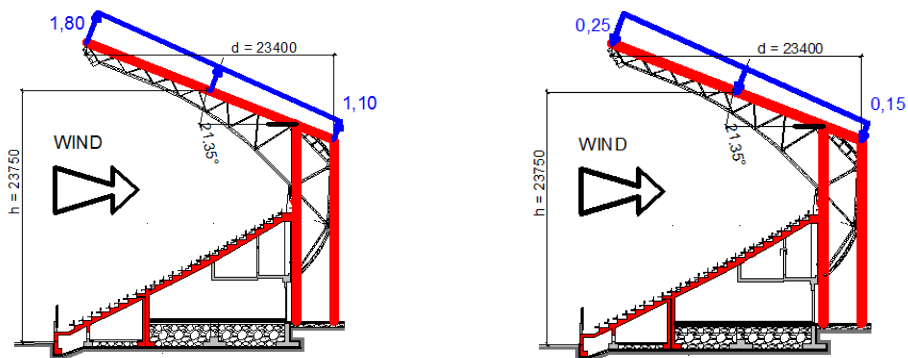


Фиг. 3. Схема на самостоятелна козирка над трибуна от стадион, [3], стр. 78, фиг. D7

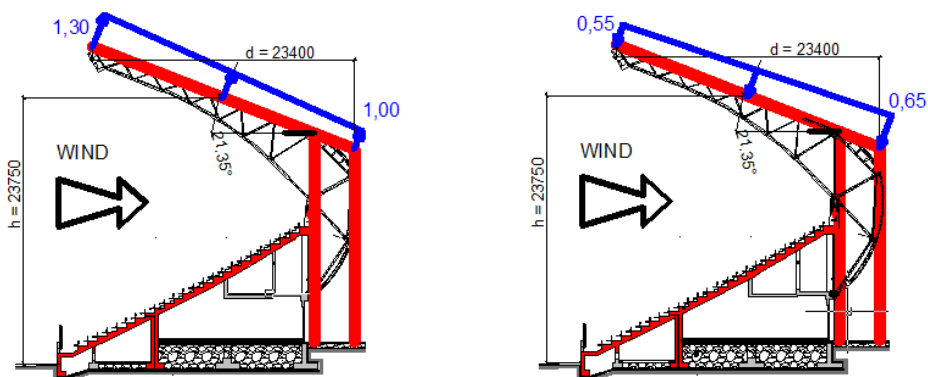
Таблица 1. Коефициенти за налагане на конзолен покрив над самостоятелна трибуна при наклон от  $-7^\circ$  до  $+7^\circ$  и посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$ , табл. D10 [3]

Посока на вятъра	Участък	$h/d \leq 1,4$		$h/d \geq 1,4$	
		$C_{fig.1}$	$C_{fig.2}$	$C_{fig.1}$	$C_{fig.2}$
Смучене (-)	среден	-1,80	-1,10	-1,40	-1,40
	краен	-1,30	-1,00	-1,90	-1,10
Натиск (+)	среден	0,25	0,15	0,20	-0,15
	краен	0,55	0,65	0,20	0,00

При посока на вятъра  $\theta = 90^\circ$ , т.е. посока надлъжно на трибуната на стадиона, стандартът използва аналогия с покрив на навес, блокиран до горния си край със складирана стока. Покривът се разделя на три участъка. Първият участък е с дължина 22,75 m, измерено от ръба на самостоятелния покрив; вторият участък е с дължина от 22,75-тия метър до 45,50-тия метър; и третият участък е до края на покрива. Препоръчаните от стандарта коефициенти на налягане са представени на табл. 2.



Фиг. 4. Аеродинамични коефициенти (смучене и натиск) съгласно [3], среден участък на козирката, посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$ ;  $\Rightarrow$  „wind“ = „вятър“<sup>1</sup>



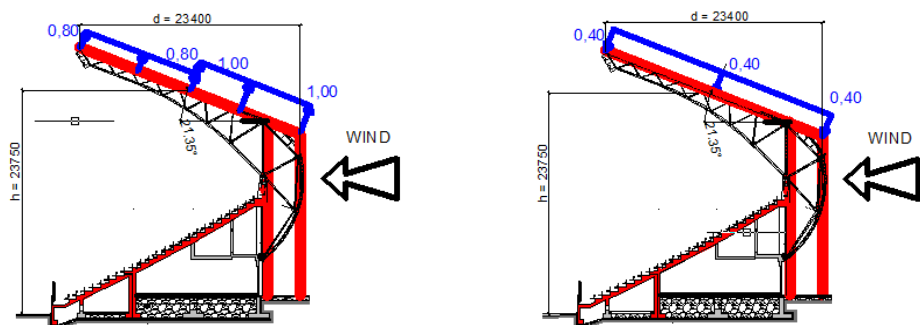
Фиг. 5. Аеродинамични коефициенти (смучене и натиск) съгласно [3], краен участък на козирката, посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$

Таблица 2. Коефициенти на налягане (смучене и натиск) съгласно [3], посока на вятъра  $\theta = 90^\circ$

Условие	$h/d$	Разстояние $x$ от наветрения ръб	Коефициент на налягане
За $\alpha \leq 5^\circ$ или за всякакъв ъгли $\alpha$ , при $\theta = 90^\circ$	$0,05 \leq h/d \leq 0,25$	$x \leq 1h$	-1,0; 0,4
		$1h < x \leq 2h$	-0,8; 0,4
		$x \geq 2h$	-0,4; 0,2

При посока на вятъра  $\theta = 180^\circ$ , т.е. отвън към трибуните на стадиона, стандартът отново използва аналогия с покрив на навес, блокиран до горния си край със складирана стока. Препоръките на [3] са указани на стр. 78, фиг. D2 и табл. D4(A), за посока на вятъра  $\theta = 180^\circ$ . Резултатите от прилагането на конкретните геометрични параметри са представени на фиг. 6.

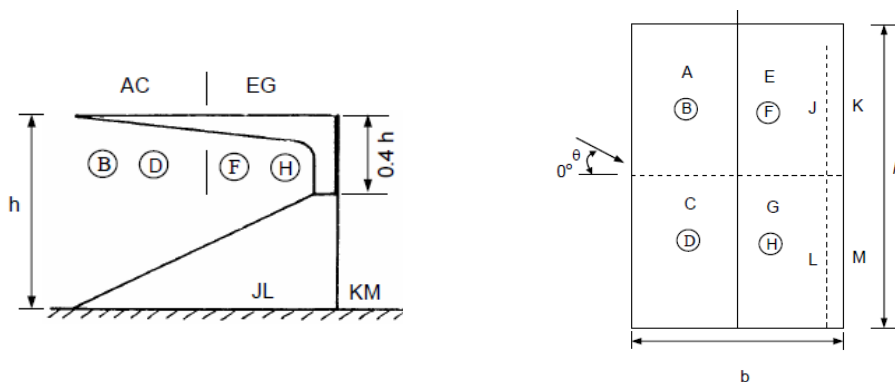
<sup>1</sup> Навсякъде във фигурите от доклада съчетанието от черна стрелка и думата “wind” да се подразбират като „посока на вятъра“.



Фиг. 6. Аеродинамични коефициенти (смучене и натиск) съгласно [3], посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$

### 3.2. Стандарт за ветрово натоварване върху строежи на Република Индия

Стандартът на Република Индия [4] в няколко поредни свои издания дава указания за определяне на натоварване от вятър върху конзолни покриви над самостоятелни трибуни на стадиони. Коефициентите за налягане върху покрива (от горна и долна страна) и задната стена на типова козирка над трибуна, която е отворена от три страни, са указани в табл. 3 и на фиг. 7. Коефициентите за налягане са валидни за определените отношения на геометричните размери, описани в [4], но могат да бъдат използвани и при отклонения до 20%. Най-общо казано, максималният товар от вятър възниква, когато вятърът духа фронтално към откритата част на трибуната, като предизвиква позитивно налягане под покрива (повдигане) и негативно налягане (смучене) над покрива.

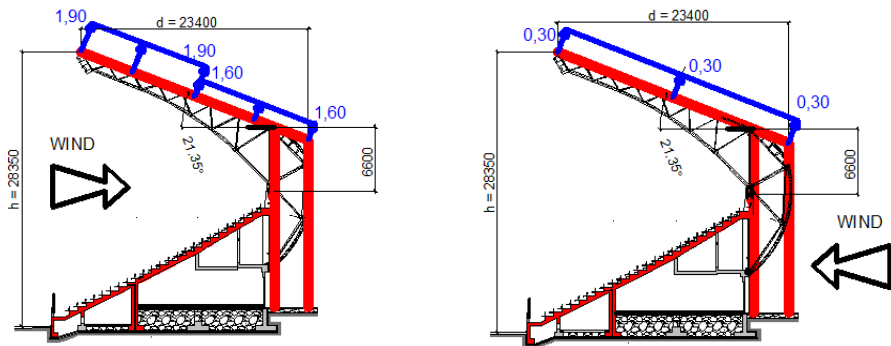


Фиг. 7. Схема на самостоятелна козирка над трибуна от стадион съгласно [4]

Таблица 3. Аеродинамични коефициенти (смучене и натиск) съгласно [4], посока на вятъра  $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 135^\circ$  и  $180^\circ$

$\theta$	A	B	C	D	E	F	G	H
$0^\circ$	-1,0	+0,9	-1,0	+0,9	-0,7	+0,9	-0,7	+0,9
$45^\circ$	-1,0	+0,9	-0,7	+0,4	-0,5	+0,8	-0,5	+0,3
$135^\circ$	-0,4	-1,1	-0,7	-1,0	-0,9	-1,1	-0,9	-1,0
$180^\circ$	-0,6	-0,3	-0,6	-0,3	-0,6	-0,3	-0,6	-0,3

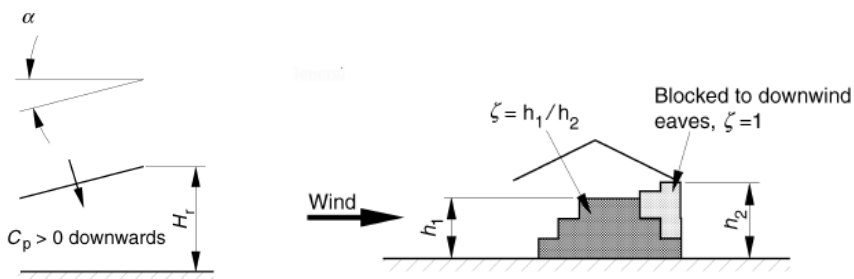
В конкретния случай геометричните размери на трибуните и козирките на сектори Б, В и Г не попадат стриктно в изискванията на [4]. Въпреки това, за целите на обзора, е направена оценка на аеродинамичните коефициенти съгласно данните от табл. 3 и фиг. 7, а резултатът при посока на вятъра при  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 180^\circ$  е показан на фиг. 8.



Фиг. 8. Аеродинамични коефициенти (има само смучене) съгласно [4], посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  – вляво и  $\theta = 180^\circ$  – вдясно

### 3.3. BS 6399-2:2002

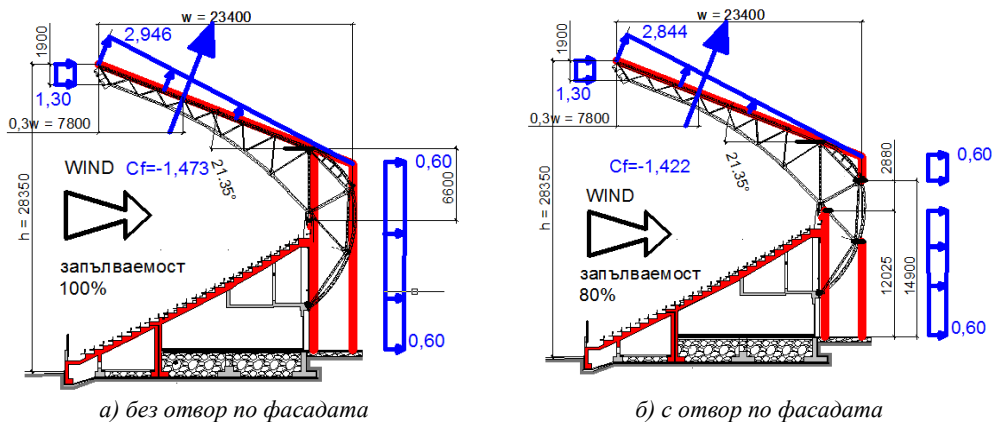
Стандартът [5] е последното издание на британския институт по стандартизация, преди във Великобритания да се въведат стандартите Еврокод. В това последно издание на британския национален стандарт могат да се намерят указания, които са приложими за покриви над трибуни на стадиони. Точка 2.5.9 на документа се отнася за покриви на навеси, трибуни и отворени сгради, а в точка 2.5.9.3 се дават по-конкретни насоки. По подобие на [3], BS 6399-2:2002 прави аналогия между аеродинамичното поведение на трибуни на стадиони с поведението на покриви над навеси, блокирани до долната страна на покрива със складирана стока. Графичните указанията на [5] за покриви на навеси са представени на фиг. 9, а конкретните стойности за коефициенти за обща сила  $c_f$  и стойността на нетните коефициенти на налягане  $c_p$  читателят може да намери в табл. 13 на [5].



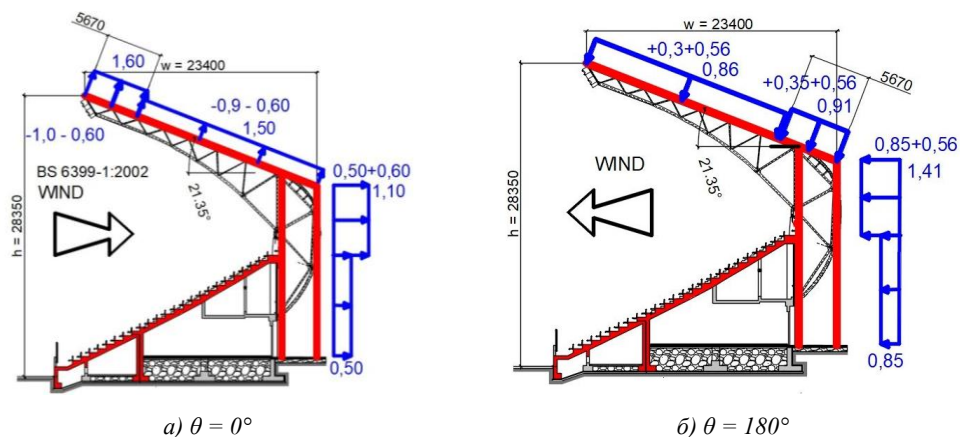
Фиг. 9. Принципи схеми за параметрите, използвани в [5] при определяне на натоварването от вятър върху едностранно наклонени покриви на навеси, блокирани със складирана стока

Когато се отчетат указанията на [5] посредством конкретната геометрия на трибуните и козирките от сектори Б, В и Г се получава комплексна картина от коефициенти на налягане, която е представена на фиг. 10. При посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  (от игрището към трибуната) в [5] се препоръчва да се работи с коефициент за обща сила  $c_f$ , която се прилага на 0,3 от дължината на покрива, измерено от наветрения край на козирката. То-

ва дава възможност да се приложи условна триъгълникова диаграма ( $0,3w \approx 0,333w$ ) на нетното налягане по целия покрив, чиято равнодействаща е равна на общата сила от вятър. По този начин се получава добра визуализация и по-лесно възприемане на резултата.



Фиг. 10. Коefициенти на налягане (смучене) съгласно [5], посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  при използване на аналогия с навес, запълнен на 100% със стока (вляво) и запълнен 80% със стока (вдясно). Изследване на влиянието на отворите от фасадите



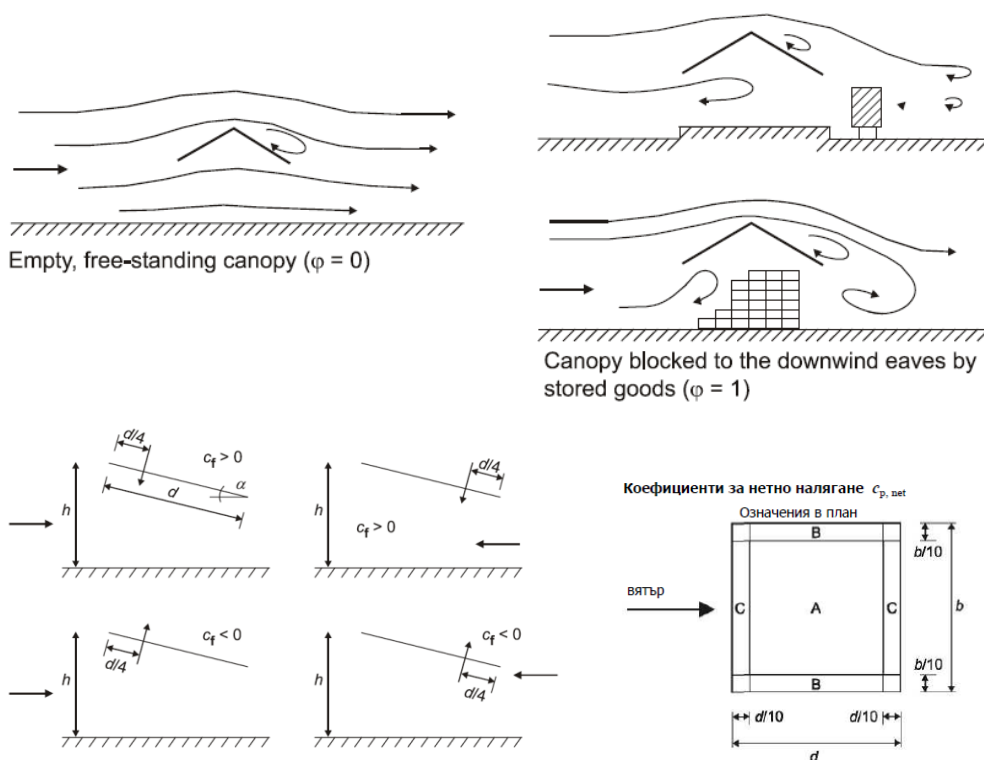
Фиг. 11. Коefициенти на налягане (смучене и натиск) съгласно [5], посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 180^\circ$  при използване на аналогия със сграда, отворена от три страни

Ефектът от евентуални отвори във фасадата, които действат като „отдушници“ за вятъра, е отчетен като е променен т.н. коefициент на запълваемост. Приета е липса на всякакви препятствия в горните 2880 mm и, в конкретния случай, коefициентът на запълваемост е 0,80. От сравняването на лявата и дясната част на фиг. 10 може да се заключи, че наличието на отвори във фасадата намалява общия ефект от вятъра, когато посоката е  $\theta = 0^\circ$ , но това намаление е от порядъка на 3,6%. Британският стандарт [5] дава указания и за коefициент за нетно челно налягане във фронталната атика на козирката (зоната, в която има проектирана челна ферма и ще се монтират прожектори и може би и рекламни пана), както и указания за коefициента на налягане по подветрената фасада. Конкретните стойности произтичат от препоръките на точка 2.5.9.1.5 [5] и са съответно  $c_p = +1,3$  и  $c_p = -0,6$ . Освен аналогията с навес, стандартът дава и по-конкретен вариант за

трибуни на стадиони в точка 2.5.9.3. Покривът и фасадите следва да се разглеждат както при постоянно отворени от три страни сгради. При това, външното налягане се определя съгласно т. 2.4 и 2.5 от стандарта, а допълнително се определя вътрешно налягане съгласно т. 2.6.3. При тази постановка са получени коефициенти за натоварването при посоки на вятъра  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 180^\circ$ . Резултатите са показани на фиг. 11.

Като обобщение от направеното в точка 3.3 можем да кажем, че британският стандарт [5] много сполучливо и достъпно дава информация за коефициентите на налягане и коефициентите за сила, съответстващи на геометричните размери и наклоните на козирките на сектори Б, В и Г на стадион „Христо Ботев“ в град Пловдив. Разбира се, ясно и категорично трябва да се направи уговорката, че козирките се разглеждат изолирано от цялостната конфигурация на стадиона.

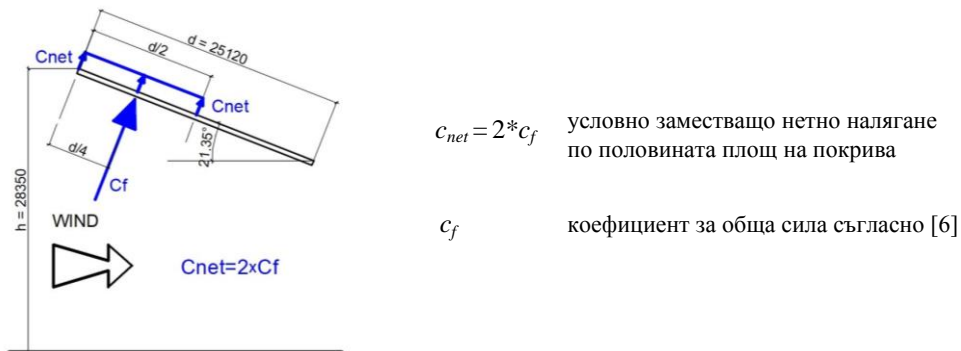
### 3.4. Еврокод – БДС EN 1991-1-4



Фиг. 12. Принципи схеми за параметрите, използвани в Еврокод 1 [6] при определяне на натоварването от вятър върху едностранно наклонени покриви на навеси, блокирани със складирана стока

Европейският стандарт [6], който същевременно е и български, разглежда проблема по подобие на [3 и 5]. Чрез позоваване на указанията на точка 7.1 отново може да се направи аналогия между аеродинамичното поведение на трибуни на стадиони и поведението на покриви над навеси, блокирани до долната страна на покрива със складирана стока. Указанията на Еврокод 1 [6] за покриви на навеси са представени на фиг. 12. Стандартът разграничава начина за определяне на общия ефект върху основната носеща

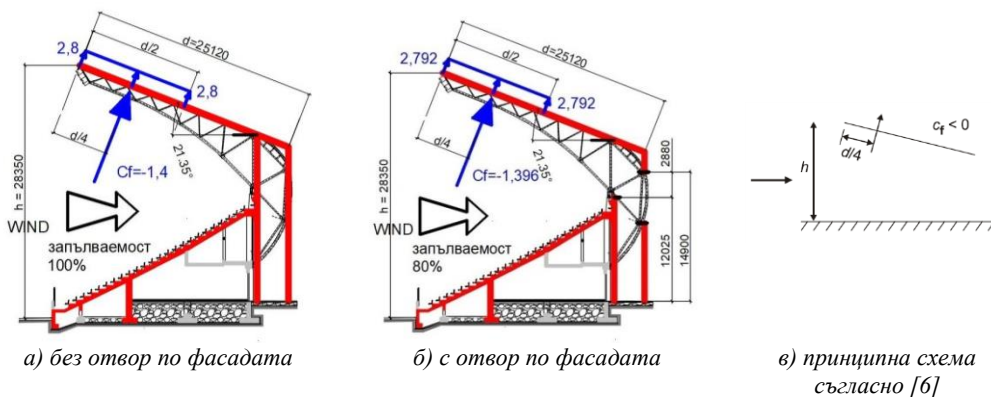
конструкция на навеса (в случая главните покривни ферми на козирките) от начина за определяне на ефектите от вятъра върху различните зони на покрива и второстепенните елементи, попадащи в тези зони (в случая покривна ламарина и обшивки). За определяне на общия ефект върху конструкцията се прилага обща сила, породена от вятър, която може да е с посока нагоре или надолу и приложна точка, така както е показано на фиг. 12 (долу, вляво). Общата сила се определя чрез коефициента за обща сила  $c_f$ . С цел по-добро визуално онагледяване е направено приравняване на общия ефект от вятъра, като е приложено равномерно разпределено налягане, получено чрез коефициент за налягане  $c_{net}$  – фиг. 13.



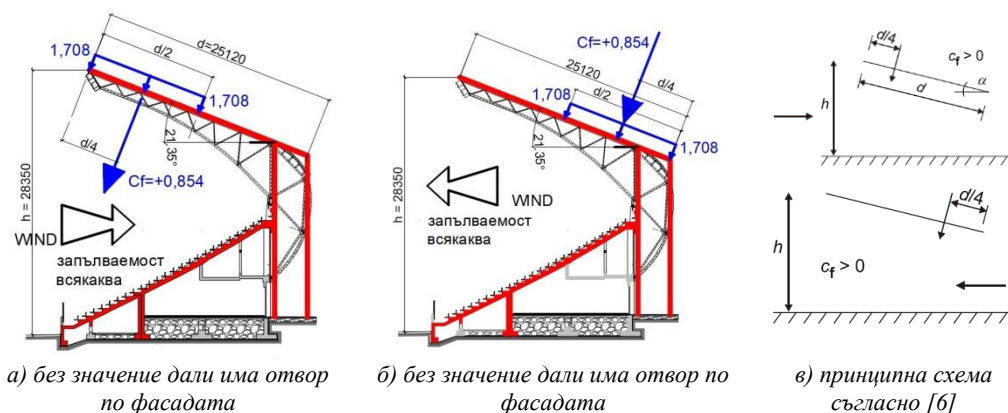
**Фиг. 13.** Общ ефект от натоварване от вятър съгласно [6] и еквивалентно приравняване с цел онагледяване

Когато се отчетат указанията на табл. 7.6 от [6] при използване на коефициент за обща сила и се направи приравняване към равномерно разпределен товар съгласно методиката, пояснена на фиг. 13, се получават резултатите, дадени на фиг. 14 ÷ 16.

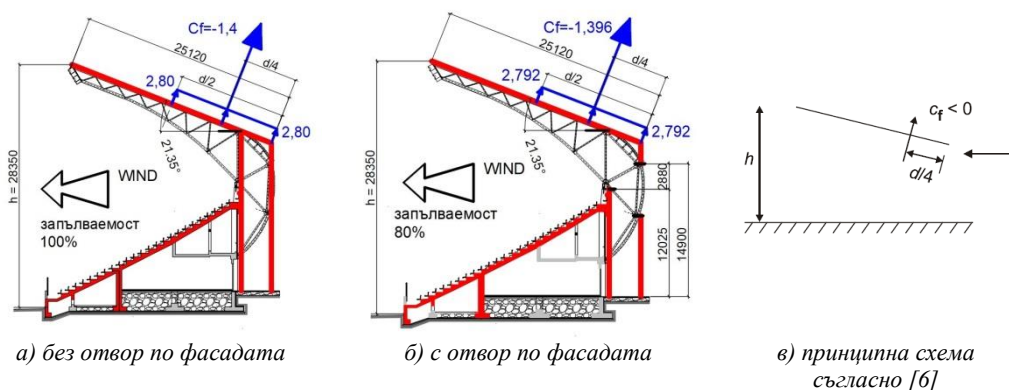
От направеното изследване съгласно препоръките на Еврокод 1 [6] се вижда, че по покрива на козирката могат да възникнат както ефекти на смучене от вятър, така и ефекти на натиск. Смученето доминира спрямо натиска с около 64%. И при двата вида натоварване то е приложено нецентрично спрямо изследваната повърхност. Най-неблагоприятната схема, предизвикваща смучене по покрива, е схемата от фиг. 14а, а най-неблагоприятната схема, предизвикваща натиск върху покрива, е тази от фиг. 15а.



**Фиг. 14.** Коефициенти на налягане (смучене) съгласно [6], посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  при използване на аналогия с навес запълнен на 100% със стока (вляво) и запълнен 80% със стока (вдясно). Изследване на влиянието на отворите от фасадите



**Фиг. 15. Коэффициенти на налягане (натиск) съгласно [6], посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 180^\circ$  при използване на аналогия с навес, без значение каква е степента на запълваемост. Изследване на ефектите от натиск от вятър**



**Фиг. 16. Коэффициенти на налягане (смучене) съгласно [6], посока на вятъра  $\theta = 180^\circ$  при използване на аналогия с навес, запълнен на 100% със стока (вляво) и запълнен 80% със стока (вдясно). Изследване на влиянието на отворите от фасадите при вятър с  $\theta = 180^\circ$**

Направеният анализ на всички възможни схеми дава възможност да се отчете и приносът на отвори по фасадата в зоната между улука и горния край на трибуната. Може да се заключи, че отворите винаги облекчават натоварването от вятъра, независимо от посоката на вятъра. Предвид факта, че процентът на отворите е малък, ефектът на облекчаване, съгласно [6], е практически незначителен и се свежда до под 1%.

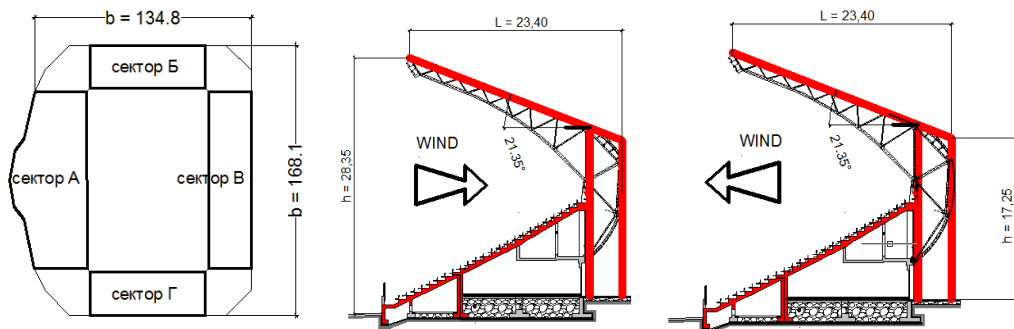
### 3.5. Български национални норми

Под български национални норми в тази доклад ще се подразбира [7]. Прегледът на този документ показва, че в него е налична информация за въздействие от вятър върху покриви на навеси. Тези навеси са свободно стоящи и не е разгледан случай за складирана стока под тях и осъществяване на т.нар. запълване на навеса, което може да се разгледа като аналогия на трибуна на стадион. Най-близката схема, наподобяваща конкретния случай на трибуна на стадион, е т.нар. „схема на хангара“ (схема № 9 от табл.

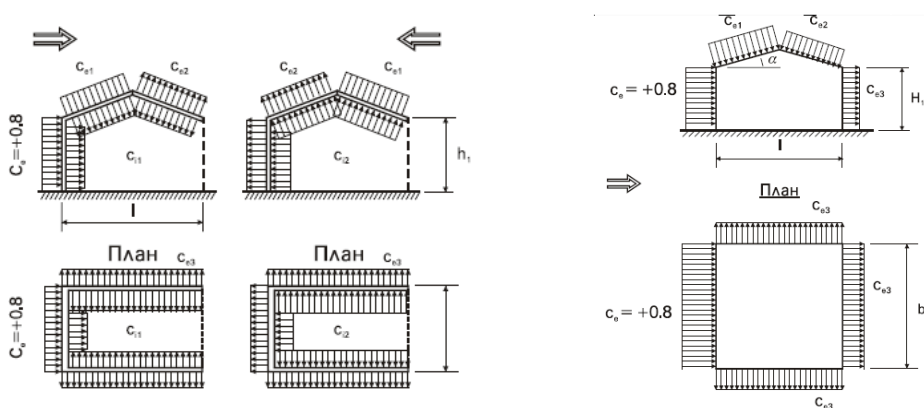
8.2, приложение № 8 на [7]). Следва да се направи уговорката, че прилагането на тази схема би довело до относително консервативни резултати. Въпреки това, тъй като в [7] липсва схема, по-близка до геометрията на трибуна с козирка, тук са анализирани указанията, произтичащи от „схемата на хангара“.

Основните геометрични размери, използвани в аналогията с хангар, на база на които се определят аеродинамичните коефициенти (коефициенти за налягане) съгласно [7], както и конкретните указания на наредба № 3, са представени на фиг. 17 и фиг. 18. Резултатите за получените коефициенти на налягане при посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 180^\circ$  са представени на фиг. 19. Следва да се обърне внимание, че за външен коефициент на налягане по покрива е избрана стойност, която е средноаритметичната между стойностите за  $c_{e1}$  и  $c_{e2}$ , получени по схема № 2.

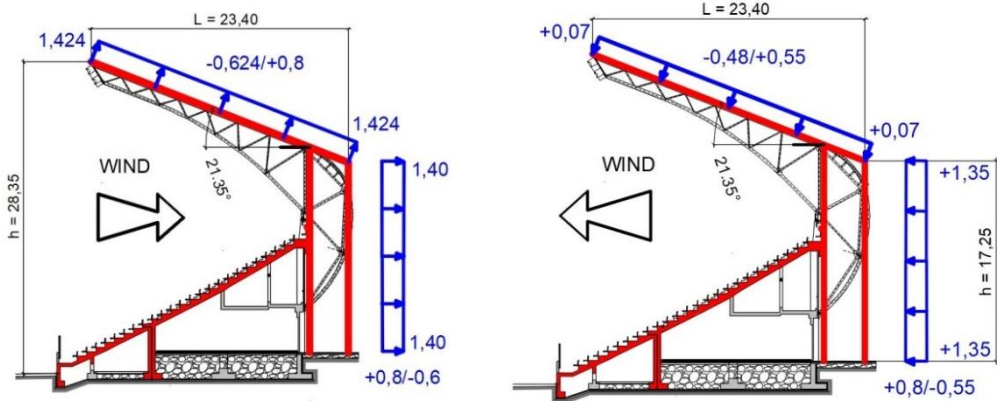
Резултатите, получени съгласно [7], следва внимателно да се анализират, тъй като отношенията  $b/L$  за условия хангар в конкретния случай са съответно 7,18 за сектор В и 5,76 за сектори Б и Г. Това означава, че условният хангар е твърде издължен и най-вероятно получаваните резултати за коефициентите за налягане не са надеждни. Разбира се, ясно и категорично отново трябва да се направи уговорката, че козирките се разглеждат изолирано от цялостната конфигурация на стадиона.



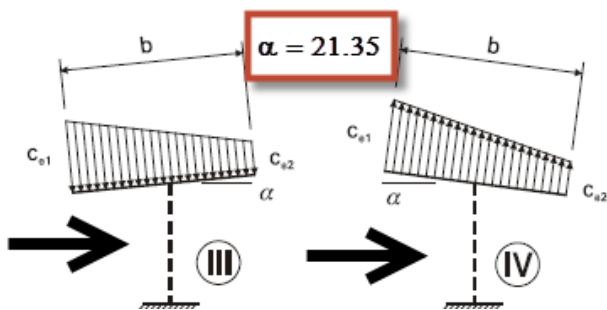
Фиг. 17. Базови геометрични размери в план и разрез за използване на аналогия с хангар съгласно [7]



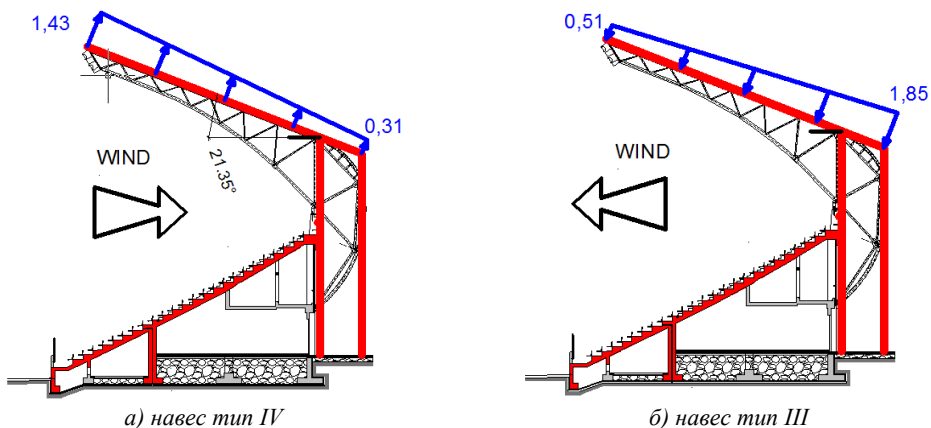
Фиг. 18. Графични указания на [7] за определяне на коефициентите на външно и вътрешно налягане при използване на аналогия с хангар



Фиг. 19. Коэффициенти на налягане (външно и вътрешно) съгласно [7] (схема „хангар“) при посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  (вляво) и  $\theta = 180^\circ$  (вдясно)



Фиг. 20. Принципи схеми за коефициенти на налягане (общо) съгласно [7] при посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  (навес тип III) и  $\theta = 180^\circ$  (навес тип IV)



Фиг. 21. Коэффициенти на общо налягане за покрива при посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  (а) и  $\theta = 180^\circ$  (б) съгласно [7] (схема „навес“)

Българската инженерна общност има относително ограничен опит в проектирането и строителството на съвременни стадиони с козирки, покриващи всички сектори от спортното съоръжение. Въпреки това, в източник [8] е споделян опитът от проектиране-

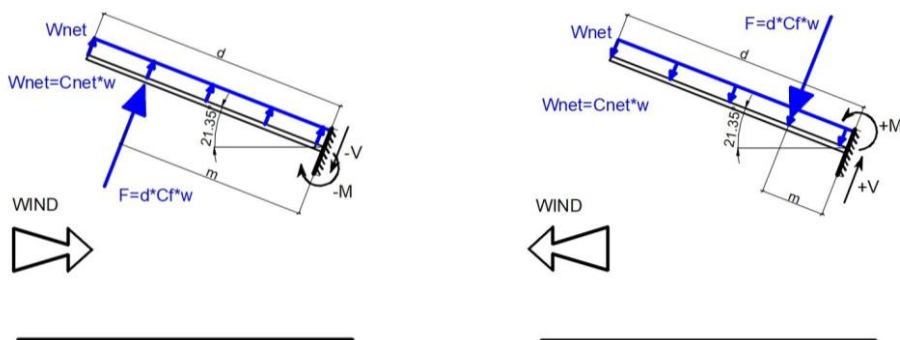
то на съвременен стадион в град Варна и по-конкретно, направено е сравнение на резултатите за ветрово натоварване върху козирката на стадиона, получено чрез моделно изследване във ветрови тунел [9] и чрез аналитичен подход, основан на [7]. Подходът, използван в [8], дава основание да се определи ветровото натоварване на козирките от сектори Б, В и Г съгласно [7], като се приложи схема № 11 – навеси. Предписанията на [7] за навеси са представени на фиг. 20.

След прилагане на указанията от фиг. 20 и табл. 8.2 от [7] се достига до резултатите за конкретния случай, които са представени на фиг. 21.

#### 4. Сравнение на резултатите

Безусловно представлява интерес да се направи съпоставка на резултатите, получени съгласно [3 ÷ 7] за опростената геометрия на покривите и трибуните на сектори Б, В и Г, разгледани изолирано от конфигурацията на целия стадион. Част от цитираните стандарти използват методика с коефициенти за налягане – [3, 4 и 7], а част от тях методика с общ коефициент за сила – [5, 6], поради което сравнението е направено за параметри, онагледяващи максималния ефект от товара от вятър.

За целта, покривите са разгледани като конзолно запънати към трибуната. Предмет на сравнение са огъващите моменти и срязващите сили в опорното сечение на условната конзола. Разгледана е ивица от покрива с ширина 1 m, дължина на конзолата  $d = 25,12$  m и е възприето върхово налягане от вятър  $w = 1,0$ , фиг. 22.



**Фиг. 22.** Условна конзола за сравнение на ефектите от ветрово въздействие по покрива на условно изолирани сектори Б, В и Г, при посока на вятъра  $\theta = 0^\circ$  (вляво) и  $\theta = 180^\circ$  (вдясно)

Така възприетата схема на условна конзола позволява да се прибави и ефект от вятър в челото на козирката, когато съответният стандарт го предписва. Сравнението на резултатите е обобщено в табл. 4 и графично интерпретирано на фиг. 23.

Резултатите, получени по описания начин, се нуждаят от известен анализ. Следва да припомним, че в [3 и 4] има схеми за покриви на трибуни на стадиони и не е необходимо да се правят аналогии с навеси, но наклоните на покривите, с които се ангажират стандартите, са значително по-малки от разглеждания покрив. Поради тази причина резултатите, получени от прилагането на [3 и 4], не могат да се приемат за абсолютно коректни.

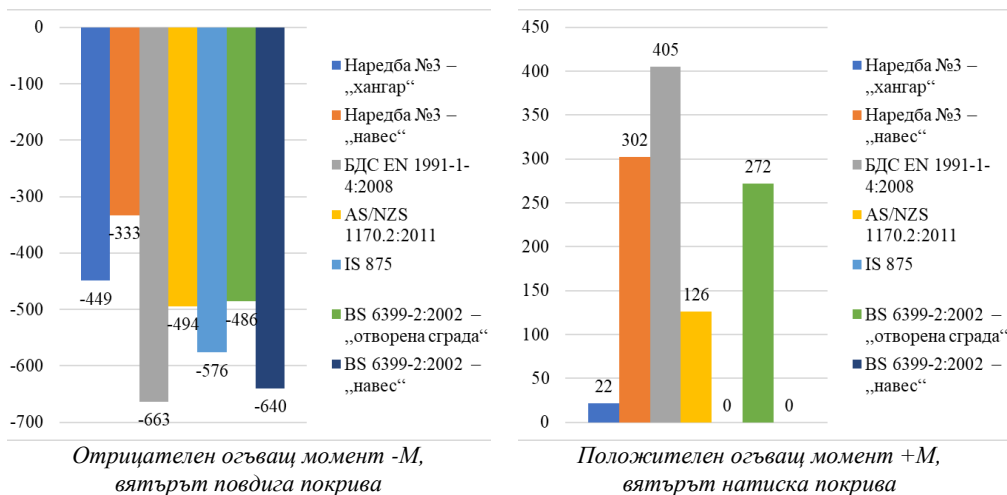
При използването на стандартите [5 и 6] и прилагането на аналогия с навес, геометричните размери и наклони на разглежданите покриви на трибуни попадат в границите на валидност, предписани от същите стандарти.

Наред с това, резултатите между двата стандарта [5 и 6] по отношение на „-M“ се различават само с 3,6%, когато се използва аналогията с навес, като по-консервативен е Еврокод 1 [6]. Близки до тези са и стойностите за „-M“, получени съгласно [4]. Резултатите по отношение на „-M“, получени от прилагането на схема № 9 – „хангар“ от [7], значително се различават от тези, получени съгласно стандарти [6], [4] и аналогията с навес на [5] и са на страната на несигурността. По-близък е резултатът, получен съгласно [3], както и аналогията с отворена от три страни сграда съгласно [5]. Неудовлетворителен е резултатът за „+M“, който не се доближава до никой от останалите стандарти.

От друга страна, при прилагането на схема № 11 – „навес“, се получават сравнително достоверни резултати за „+M“, но разликата за „-M“ е до два пъти във вреда на сигурността.

Таблица 4. Сравнение на резултатите

Точка	Стандарт	$\theta = 0^\circ$		$\theta = 180^\circ$		Коментар
		-M, kN.m	-V, kN	+M, kN.m	+V, kN	
3.5	Наредба №3 – „хангар“	-449	-35,8	+22,1	+1,8	фиг. 19
3.5	Наредба №3 – „навес“	-333	-21,9	+302	+29,6	фиг. 21
3.4	БДС EN 1991-1-4:2008	-663	-35,2	+405	+21,5	фиг. 14, фиг. 15
3.1	AS/NZS 1170.2:2011	-494	-36,4	+126	+10,1	фиг. 4, фиг. 6
3.2	IS 875	-576	-44,0	-	-	фиг. 8
3.3	BS 6399-2:2002 – „отворена сграда“	-486	-38,3	+272	+21,9	фиг. 11
3.3	BS 6399-2:2002 – „навес“	-640	-37,1	-	-	фиг. 10



Фиг. 23. Графично сравнение на стойностите на огъващия момент в условна конзола за ефектите от ветрово въздействие по покрива на условно изолирани сектори Б, В и Г

На базата на тези съждения и на основание на резултатите, получени от сравнителния анализ (табл. 4 и фиг. 23), следва да заключим, че националните норми [7] имат дефицит на информация, приложима за козирки на трибуни и би трябвало да се изпъл-

зват с голяма условност като възможен ръководещ документ, що се отнася до коефициентите за налягане на разглежданите покриви. Най-правдоподобен резултат по тях се получава при смесено използване на схема № 11 – „навес“ за „+М“, и схема № 9 „хангар“ за „-М“. Подобно смесване на схеми само по себе си е нелогично, но е възможно да се допусне, предвид най-голямата близост на получените резултати с останалите нормативни документи. Дори и при подобен вариант, резултатите са на страната на несигурността с 48% за смучене и 34% за натиск върху покрива спрямо [6].

## 5. Изводи и заключения

От разгледаните пет норми или стандарти за определяне на ветрово натоварване върху покриви над козирки на трибуни само два документа [3, 4] предлагат схеми и указания на самостоятелно стоящи трибуни. Използването на предписанията за коефициенти за налягане от ветрово натоварване е възможно, но трябва разглежданата козирка на трибуна да попада в зоната на валидност на геометричните размери и пропорции, дефинирани от стандартите.

Определянето на ветровото натоварване за покриви на козирки на стадиони, за целите на концептуалното проектиране и за предварителни изчисления, свързани с него, би могло да се извършва, като се използват указания на нормативни документи, базирани на аналогия с поведение на навес, запълнен със складирана стока. На основание на проведения сравнителен анализ авторите считат, че най-подходящ от техническа и юридическа гледна точка е стандартът [6] БДС EN 1991-1-4:2008, като стандарт последно поколение и като стандарт, който се използва в Република България за проектиране на строежи първа и втора категория по „Закона за устройство на територията“ (ЗУТ). Въпреки това, уместно е да се припомни, че [6] дава по-консервативни резултати от [5] („отворена сграда“) с 36% при товарно състояние на вятър, който повдига козирката и с 48,9% при вятър който натиска козирката.

Възможно е да се използва [7], като се приложи схема № 11 – „навес“ за натиск на вятъра върху козирката и схема № 9 „хангар“ за повдигащото действие на вятъра. Такава възможност не следва излишно да се окуражава, защото нормативната уредба в Република България позволява [7] да се прилага за категория строежи III-та и по-ниска по ЗУТ, а в повечето случаи козирки на трибуни на по-големи градски стадиони се класифицират като по-висока категория строежи.

Разбира се, за пореден път ще припомним, че всичките тези заключения са валидни при отделно стоящи трибуни или ако те са част от цялостен ансамбъл на стадион, когато разстоянието между трибуните е значително и те не си взаимодействат аеродинамично.

В контекста на анализа, който правим, и погледнато през фокуса на неговата практическа насоченост, е редно да напомним, че освен натиск или смучене по повърхнините на покрива, следва да се отчетат ефекти от вятър като:

- челен натиск върху решетъчни или пълностенни конструктивни елементи, разположени под покривната повърхност при посока на вятъра надлъжно на трибуните;
- ефект от триене между флуида и повърхността на покрива, като се приеме съответен коефициент за триене  $c_f$  и ефектите се разгледат за всички посоки на вятъра;

- ефект от наличие на надлъжна обединяваща ферма с осветителни тела или реклами, създаващ ветрови натиск по челото на козирката;
- възможни ефекти от резонансна компонента на ветровото натоварване, която зависи от динамичните характеристики на носещата конструкция на козирката и нейните собствени форми на трептения.

Тук е мястото да отбележим, че в съвременната практика най-предпочитаният и надежден метод за определяне на ветровото натоварване върху покриви над трибуни на стадиони, чрез който обосновано и доказано се получават реалистични и оптимални резултати за ветровото натоварване, е моделното изследване във ветрови тунел. Този метод на анализ позволява да се отчетат както специфичните особености на геометрията на даден стадион, така и ефектите от околните сгради и релеф. До подобен извод е достигнато и в [10]. Използването на компютърни симулации, основани на методите на *Computational Fluid Dynamics* (CFD), е мощно и достъпно съвременно средство. С него могат да бъдат отчитани характерни геометрични особености на строежите или наличие на аеродинамични препятствия в близост [11]. Следва обаче да отбележим, че до натрупването на по-солиден опит от подобни компютърни симулации изследванията чрез CFD трябва да се съпровожда с паралелно изследване във ветрови тунел.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Savov, G., Strashimirov, A., Tsakov, E. Technical design documentation for the site “Reconstruction, and renovation of the grandstands of the stadium “Hristo Botev” designed by “VAMOS” ltd., “AB Building Constructions” ltd. and “TERRACE” ltd.
2. Georgiev, Tzv., Raykov, St., Dinev, D., Petrov, B. Expert assessment of the wind load on the steel canopies of Hristo Botev Stadium in Plovdiv. UACEG-CNIP, 2021.
3. AS/NZS 1170.2:2011, Structural design actions. Part 2: Wind actions.
4. IS 875:2015, Design Loads (Other than Earthquakes) for Buildings and Structures – Code of Practice. Part 3 Wind actions, ICS 91.100.10.
5. BS 6399-2:2002, Loading for buildings. Code of practice for wind load, BSI.
6. BDS EN 1991-1-4:2008, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions.
7. Ordinance № 3: 2004, On the basic provisions for the design of structures and for the loads and actions on them.
8. Tzankov, M., Georgiev, Tzv., Yotsov, Iv. Wind load on roof structure studied through wind tunnel and conventional design code method. Sofia, October 9-10, Second National Symposium on Steel, Wooden and Composite Structures, UACEG, 2008.
9. Bitzer, A., Bulsemeier, M., Wacker, J. Stadium in Varna, Bulgaria: Determination of quasi-steady and dynamic wind loads for the structural design of the stadium roof and the corresponding cladding by means of wind tunnel tests. Wacker Ingenieure, May 2008.
10. Raykov, St., Georgiev, Tzv., Dinev, D. Wind loading on stadium roofs: An overview // Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, 2021.
11. Dinev, D., Raykov, St., Georgiev, Tzv. CFD estimation of wind loading on a stadium roof. // Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, 2021.

# COMPARISON OF WIND LOAD FOR GRANDSTAND CANTILEVER ROOFS DETERMINED ACCORDING TO DIFFERENT DESIGN CODES

Tzv. Georgiev<sup>1</sup>, St. Raykov<sup>2</sup>, D. Dinev<sup>3</sup>

*Keywords: wind load, stadium roofs, design codes, Ordinance № 3, EN 1991-1-4*

## ABSTRACT

The paper gives an overview of the recommendations for assessment of wind pressure coefficients of stadium cantilever roofs. Appropriate schemes and analogies applicable to cantilevers above grandstands are analysed. Five design codes which present recommendations for determining the net wind pressure on a stadium roofs are reviewed and compared. The background reason for this study is the work of the authors of the paper on determining the wind load on the steel cantilever roof of the Hristo Botev stadium in Plovdiv.

A comparison of the results obtained according to different design standards is presented and conclusions are made about the magnitude of the wind load (pressure or suction). Appropriate schemes and analogies for determining the stationary components of the wind load feasible to be used in the conceptual design phase of such stadium roofs are explained. Some conclusions are drawn.

---

<sup>1</sup> Tzv. Georgiev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: cvgeorgiev\_fce@uacg.bg

<sup>2</sup> Stanislav Raykov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: raykov\_fce@uacg.bg

<sup>3</sup> Dobromir Dinev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Structural Mechanics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ddinev\_fce@uacg.bg