

НАТОВАРВАНЕ ОТ ВЯТЪР ПО ГРЕДОВИ МОСТОВЕ

Любомир А. Здравков¹

катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, Строителен факултет
Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ)

АБСТРАКТ

Мостовите са съоръжения, които се експлоатират на открито. Често вятърът е меродавния хоризонтален товар в напречно направление. Поради тази причина на мостовите е обърнато необходимото внимание в стандартите за ветрово натоварване. За съжаление, във всички достъпни стандарти за натоварване от вятър по мостовите е посочена по една, обобщена стойност на аеродинамичния коефициент. Тя се отнася за цялото сечение на съоръжението. Няма разделение по отделните греди и/или пътното платно. А информацията за конкретното ветрово налягане по всяка от гредите е необходима за коректно оразмеряване на укрепващите ги системи, независимо дали те са рамкови или връзкови. За да запълни тази празнина, авторът е създал множество модели на мостове с надлъжни греди, използвайки програма за компютърна симулация на флуиди (CFD). Чрез тях той е определил стойностите на аеродинамичните коефициенти за всяка една от мостовите греди под пътното платно и за сечението на моста като цяло. Резултатите ясно показват, че стойностите на аеродинамичните коефициенти за цялото сечение на моста са с 50% ÷ 60% по-ниски от отчетените за наветрената греда.

Ключови думи: вятър, натоварване, мост, надлъжна греда, аеродинамичен коефициент, CFD анализ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Мостовите са строителни съоръжения, които се експлоатират на открито. Често вятърът е водещото хоризонтално въздействие в напречно направление. Затова в стандартите за натоварване по мостове AS/NZS 1170.2:2011 (2011), BS 5400-2:2006 (2006), EN 1991-1-4 (2005), IRC: 6-2017 (2017), Наредба за проектиране на пътни и железопътни мостове и водостоци (1989) и СП 35.13330.2011 (2011), на ветровото въздействие е обърнато подобаващо внимание. За повишаване на сигурността, посочените в тези стандарти стойности на аеродинамичните коефициенти са завишени в пъти, в сравнение с тези за сгради. За съжаление обаче, представените аеродинамични коефициенти в стандартите по-горе се отнасят за цялото сечение на мостовата конструкция. Няма разделение и допълнителна информация по елементи. Единствено в стандарт BS 5400-2:2006 (2006) е записано, че аеродинамичния коефициент за съставени греди е 2,2, без да се отчита при тях някакво заслоняване. А информацията за ветровото натоварване по всяка една от гредите е необходима за коректно оразмеряване на укрепващите ги системи. Един от възможните подходи е да се определи аеродинамичният коефициент за цялото сечение на моста и той да се прилага отделно за всеки един от неговите елементи. Друго възможно решение е да се търси някаква аналогия с известни съоръжения, като дълги сгради или стени. Но кой

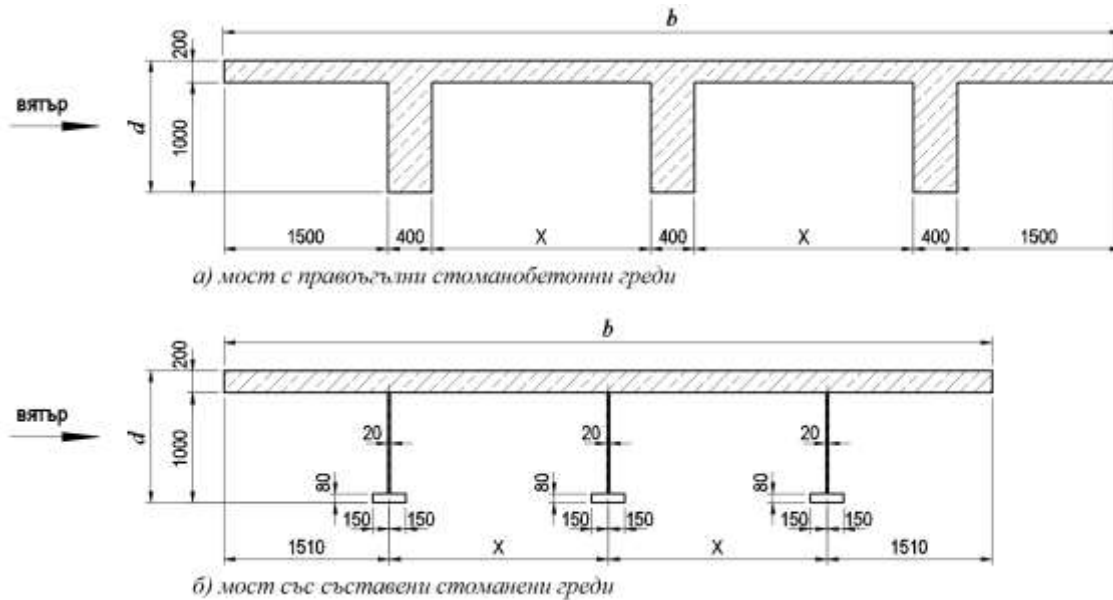
от тези подходи дава по-достоверни резултати? И въобще доближават ли се те до реалното ветрово натоварване? За да си отговори на тези въпроси, чрез програма за компютърно симулиране на флуиди (CFD), авторът е построил и изследвал множество модели на гредови мостове. Чрез тях той е определил стойностите на аеродинамичните коефициенти за всяка една надлъжна греда под пътната плоча и за сечението на моста като цяло.

2. ОПИСАНИЕ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИЯ МОДЕЛ

В настоящото изследване е избрано поведението на флуидите да бъде анализирано чрез компютърна симулация. Чрез графичния интерфейс Workbench на ANSYS (2020) и неговият модул Fluid Flow (CFX) са създадени два основни пространствени модела на мостово съоръжение. В единия модел гредите са правоъгълни, стоманобетонни, а в другия – от стоманени листове. Височината на всички греди е 1 000 mm. Стоманобетонните греди са 400 mm широки, а стоманените, както е показано на фиг. 1б. Над гредите има стоманобетонна плоча с дебелина 200 mm, виж фиг. 1. С цел повишаване на обхвата на изследването, в допълнително създадените подмодела е варирано с:

- броят на гредите под плочата $n = 2, 3$ и 4 ;
- разстоянието между гредите $x = 1, 2, 3, 4$ и 5 m.

¹ Любомир А. Здравков, доц. д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски” №1, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg
ISSN: 2149-8024 / DOI: <https://doi.org/10.20528/cjsmec.2022.01.002>



Фиг. 1. Напречно сечение на изследваните мостове

В настоящото изследване е използван пространствен анализ. Типичните напречни сечения на мостовата конструкция са начертани равнинно, а след това са екструдирани симетрично на обща дължина 6 m. Около мостовите конструкции са създадени аеродинамични тунели с форма на паралелепипед, виж фиг. 3. Стените на симулираните около всеки мост аеродинамични тунели се намират на следните разстояния от него:

- а) при мостове с 2 или 3 греди:
- вход на флуида – на 5 m;
 - изход на флуида – на 20 m, т.е. тялото на моста е разположено много по-близо до входа на аеродинамичния тунел, виж фиг. 2;
 - вертикални странични стени – тъй като е използвана опцията „Симетрия“ няма разстояние между стените и напречното сечение на моста;
 - хоризонтални стени (дъно и покрив) – на 10 m.

- б) при мостове с 4 греди:
- вход на флуида – на 8 m;
 - изход на флуида – на 32 m;
 - вертикални странични стени – тъй като е използвана опцията „Симетрия“ няма разстояние между тях и напречното сечение на моста;
 - хоризонтални стени (дъно и покрив) – на 16 m.

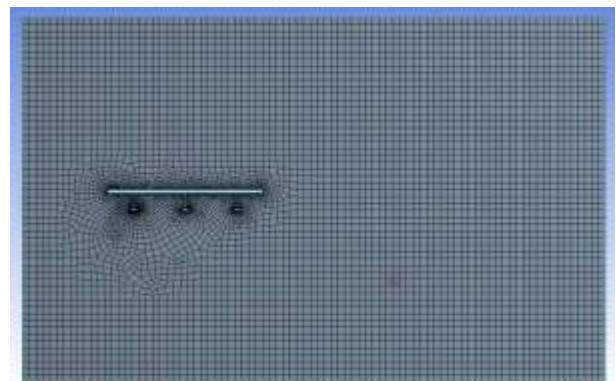
При определяне на посочените по-горе разстояния е изходено от принципа, че стените на виртуалния аеродинамичен тунел не трябва да влияят на въздушният поток непосредствено до моста, виж *Rusev et al. (2012a)*. Приетите разстояния са по-големи от изискванията на *Tominaga et al. (2008)*, както следва:

- горната/долната стена трябва да се постави на $5H$ или повече от препятствието, където H е височината на сечението на моста в настоящото изследване ($H = d = 1200$ mm, виж фиг.1);
- изходът на флуида трябва да бъде поставен най-

малко на $10H$ зад препятствието.

В същото време, с цел избягване на тежки компютърни решения и спестяване на изчислително време, се държи сметка за максималния брой на крайните елементи. За да се оптимизира мрежата им, тя е значително сгъстена в зоната около моста, виж фиг. 2, и е разрежена към периферията, както е направено в *Rusev et al. (2012b)*. Максималният размер на крайните елементи на въздуха е ограничен до:

- а) елементи в непосредствен контакт с плочата и гредите – 50 mm;
- б) всички останали елементи – 400 mm.



Фиг. 2. Сгъстяване на мрежата на елементите около моста

За да се провери достатъчността на приетите размери на мрежата е създаден друг модел с поплътна мрежа. Максималните размери на крайните елементи там са два пъти по-малки от написаното по-горе – 25 mm за елементите в директен контакт и 200 mm за всички останали елементи. Разликите в резултатните сили $F_{x,i}$ в гредите и общите аеродинамични коефициенти $C_{cp,x}$ са по-малко от 6%, т.е. първоначално приетата

мрежа има добра плътност.

При създаване на мрежата от крайни елементи е използвана опцията „Quadratic“, в резултат на което възлите в средата на страните им са запазени. Такъв тип елементи се характеризират с нелинейното си поведение при деформация.

В модула Fluid Flow (CFX) е използван стационарен анализ. За симулиране на турбулентността на флуида около мостовите е използван стандартен $k-\epsilon$ модел, част от семейството на *Reynolds-averaged Navier Stokes* (RANS). Според *Baklanov et al.* (2007) RANS уравненията адекватно представят реалността в аеродинамичните тунели. Приетата турбулентност има средна (5%) интензивност. Няма горене и топлинно излъчване. Използваният флуид е идеален газ с температура 25 °C. Скоростта му при входа на ограждането е постоянна по височина и е със стойност $v = 25$ m/s. Режимите на потока в областите на входа и изхода са дозвукови, с относително налягане 0 Pa. Посоката на потока е нормална към граничните стени. Областта на мостовата секция е неподвижна стена с грапавини. Моделите на моста с правоъгълни стоманобетонни греди, виж фиг. 1а, имат грапавини с височина 0,5 mm по всички повърхности. Моделите със стоманени греди, виж фиг. 1б, имат грапавини с височина 0,1 mm по всички повърхности. Повърхността на терена под моста е идеално гладка.

За разлика от изследванията на *Mei Yu et al.* (2011), тук основният ветрови поток е хоризонтален, т.е. ъгълът на атака е 0°. Направлението на атакуващия вятър е перпендикулярно на надлъжните оси на мостовите греди и плочата.

При движението си ветровият поток обтича моста, виж фиг. 3а, което води до появата на налягане по неговите елементи, виж фиг. 3б. В резултат в гредите на моста се пораждат сили, които могат да бъдат отчетени. Знаейки силата и площта на гредата може да бъде определена стойността на сумарното (общото) налягане на вятъра по гредите, по формулата:

$$q_{ср,x} = \frac{F_{x,i}}{A_g}, \quad (1)$$

където $q_{ср,x}$ е общото налягане по i -та греда на моста. То е равно на сумата от условно положителното (натиск) и отрицателното (смучене) налягане по гредата;

$F_{x,i}$ – отчетената по направлението на хоризонталния ветрови поток стойност на силата в i -та греда;

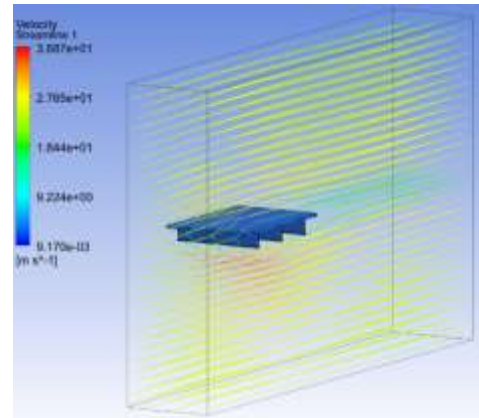
A_g – напречната на ветровия поток площ на гредата.

Базовият скоростен напор (налягане) q_b на ветровия поток може да се определи чрез посочения в EN 1991-1-4 (2005) израза:

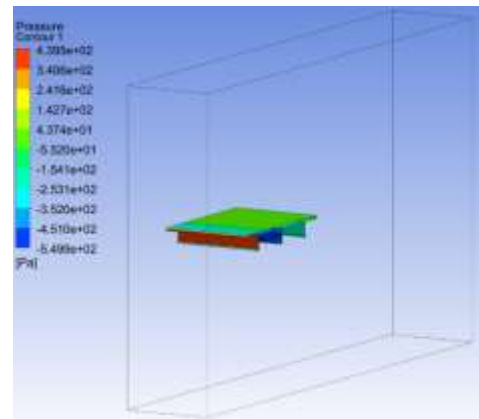
$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390 \text{ N/m}^2, \quad (2)$$

където $\rho = 1,25$ kg/m³ е плътността на въздуха;

$v_b = 25$ m/s – приетата при изследването базова скорост на ветровия поток.



а) скорост на ветровия поток, обтичащ моста



б) налягане по повърхностите на елементите на моста

Фиг. 3. Обтичане на моста от ветровия поток и резултатно налягане по елементите му

Отношението на общото налягане $q_{ср,x}$ по гредите и базовото налягане q_b ни дават информация за стойността на общия аеродинамичен коефициент $C_{ср,x}$ на гредите, т.е.

$$C_{ср,x} = \frac{q_{ср,x}}{q_b} \quad (3)$$

3. РЕЗУЛТАТИ

Получените чрез уравнения (1-3) стойности на аеродинамичните коефициенти $C_{ср,x}$ за ветрово натоварване в хоризонталната равнина са показани в:

а) Таблица 1 ÷ 3 за мост с правоъгълни греди от стоманобетон;

б) Таблица 4 ÷ 6 за мост със съставени стоманени греди.

Таблица 1. Общ аеродинамичен коефициент $C_{ср,x}$ за ветрово налягане по елементите на мост с две правоъгълни греди от стоманобетон

x, m	1	2	3	4	5
b, m	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
b/d	4	4,833	5,667	6,5	7,333
$C_{ср,x,L}$	1,615	1,606	1,673	1,708	1,713
$C_{ср,x,R}$	-0,237	-0,309	-0,49	-0,65	-0,578
$C_{ср,x,tot}$	1,321	1,261	1,164	1,054	1,106

където x е „светлото“ разстояние между правоъгълните греди, виж фиг. 1а;
 b – цялата ширина на сечението на моста;
 $d = 1,2$ m – цялата височина на сечението на моста;
 $C_{ср,x,L}$ – общият аеродинамичен коефициент за наветрената (лявата в случая) греда;
 $C_{ср,x,R}$ – общият аеродинамичен коефициент за подветрената (дясната тук) греда;
 $C_{ср,x,tot}$ – общият аеродинамичен коефициент за цялото сечение на моста.

Таблица 2. Общ аеродинамичен коефициент $C_{ср,x}$ за ветрово налягане по елементите на мост с три правоъгълни греди от стоманобетон

x, m	1	2	3	4	5
b, m	6,2	8,2	10,2	12,2	14,2
b/d	5,167	6,833	8,5	10,167	11,833
$C_{ср,x,L}$	1,676	1,785	1,793	1,705	1,676
$C_{ср,x,m}$	-0,157	-0,346	-0,482	-0,478	-0,533
$C_{ср,x,R}$	-0,205	-0,374	-0,340	-0,121	0,1491
$C_{ср,x,tot}$	1,274	1,06	0,975	1,067	1,248

където $C_{ср,x,m}$ е общият аеродинамичен коефициент за средната греда.

Таблица 3. Общ аеродинамичен коефициент $C_{ср,x}$ за ветрово налягане по елементите на мост с четири правоъгълни греди от стоманобетон

x, m	1	2	3	4	5
b, m	7,6	10,6	13,6	16,6	19,6
b/d	6,333	8,833	11,333	13,833	16,333
$C_{ср,x,L}$	1,547	1,675	1,603	1,570	1,501
$C_{ср,x,m,L}$	-0,076	-0,241	-0,268	-0,729	-0,498
$C_{ср,x,m,R}$	-0,174	-0,389	-0,455	-0,001	-0,013
$C_{ср,x,R}$	-0,174	-0,129	0,076	0,244	0,302
$C_{ср,x,tot}$	1,099	0,921	0,950	1,069	1,251

където $C_{ср,x,m,L}$ е общият аеродинамичен коефициент за лявата вътрешна греда, по направление на ветровия поток;
 $C_{ср,x,m,R}$ – общият аеродинамичен коефициент за дясната вътрешна греда.

Когато стойността на аеродинамичния

коефициент $C_{ср,x}$ е положителна, това означава, че равнодействащата сила $F_{x,i}$ по съответната греда има същата посока на действие като на ветровия поток. Когато $C_{ср,x}$ е с отрицателна стойност, това означава, че равнодействащата сила $F_{x,i}$ има посока на действие обратна на ветровия поток.

Таблица 4. Общ аеродинамичен коефициент $C_{ср,x}$ за ветрово налягане по елементите на мост с две съставени стоманени греди

x, m	1	2	3	4	5
b, m	4,02	5,02	6,02	7,02	8,02
b/d	3,350	4,183	5,017	5,850	6,683
$C_{ср,x,L}$	1,610	1,664	1,773	1,803	1,798
$C_{ср,x,R}$	-0,115	-0,226	-0,560	-0,667	-0,683
$C_{ср,x,tot}$	1,405	1,372	1,160	1,078	1,090

където x е осовото разстояние между стоманените греди, виж фиг. 1б.

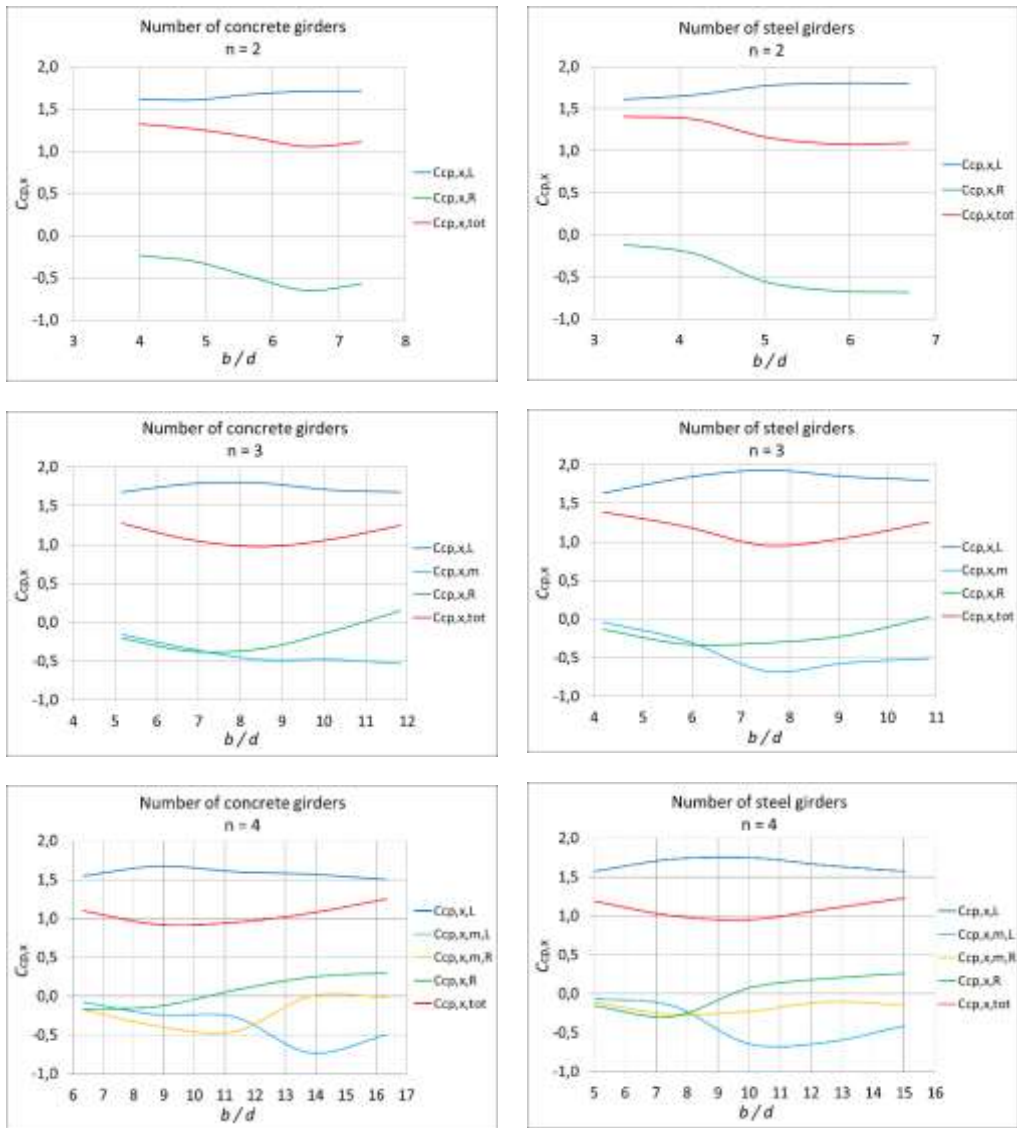
Таблица 5. Общ аеродинамичен коефициент $C_{ср,x}$ за ветрово налягане по елементите на мост с три съставени стоманени греди

x, m	1	2	3	4	5
b, m	5,02	7,02	9,02	11,02	13,02
b/d	4,183	5,850	7,517	9,183	10,850
$C_{ср,x,L}$	1,632	1,832	1,929	1,844	1,795
$C_{ср,x,m}$	-0,041	-0,274	-0,672	-0,565	-0,512
$C_{ср,x,R}$	-0,133	-0,325	-0,308	-0,211	0,026
$C_{ср,x,tot}$	1,387	1,201	0,953	1,054	1,257

Таблица 6. Общ аеродинамичен коефициент $C_{ср,x}$ за ветрово налягане по елементите на мост с четири съставени стоманени греди

x, m	1	2	3	4	5
b, m	6,02	9,02	12,02	15,02	18,02
b/d	5,017	7,517	10,017	12,52	15,02
$C_{ср,x,L}$	1,573	1,729	1,749	1,648	1,572
$C_{ср,x,m,L}$	-0,066	-0,153	-0,645	-0,623	-0,412
$C_{ср,x,m,R}$	-0,109	-0,266	-0,224	-0,103	-0,147
$C_{ср,x,R}$	-0,156	-0,293	0,077	0,194	0,262
$C_{ср,x,tot}$	1,189	1,002	0,953	1,089	1,230

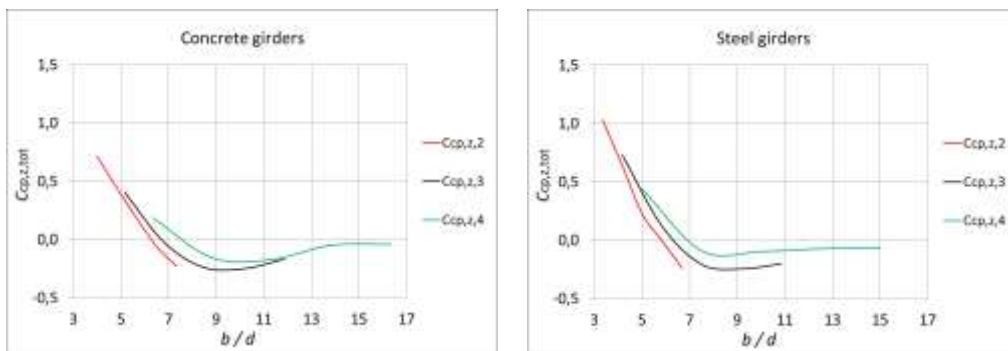
Изменението в стойностите на аеродинамичните коефициенти $C_{ср,x}$, в зависимост от отношението b/d , графично е показано на фиг. 4.



а) при правоъгълни греди от бетон

б) при съставени стоманени греди

Фиг. 4. Стойности на $C_{sp,x}$ в зависимост от отношението b/d



а) при правоъгълни греди от бетон

б) при съставени стоманени греди

Фиг. 5. Стойности на $C_{sp,z,tot}$ в зависимост от отношението b/d

Тук прави впечатление, че равнодействащата сила по наветрената (лявата в тези модели) греда винаги има посока, съвпадаща с тази на ветровия поток. В резултат са отчетени само положителни стойности на аеродинамичния коефициент, които са в границите $C_{cp,x,L} = 1,5 \div 1,93$. Те са по-малки от посочената в BS 5400-2:2006 стойност на коефициента $C_{cp,x} = 2,2$, но са по-големи от посочената от Wassef (2016) стойност $C_{cp,x} = 1,3$.

Равнодействащата сила по подветрената (дясната в случая) греда може да има направление, което да е еднакво или да е обратно с това на ветровия поток. Отчетените стойности на аеродинамичния коефициент са в границите $C_{cp,x,R} = -0,68 \div 0,3$.

Силите по вътрешните греди винаги са с направление, противоположно на ветровия поток. Отчетените стойности на аеродинамичния коефициент са $C_{cp,x,m} = -0,73 \div 0$.

Отчетените стойности на аеродинамичния коефициент за цялото сечение на моста са само положителни и са в границите $C_{cp,x,tot} = 0,92 \div 1,4$, т. е. те са по-малки от тези за наветрената греда.

При направеното изследване е отчитана и вертикалната сила $F_{z,tot}$, която действа на цялото сечение на моста. Използвайки адаптираните за вертикалната проекция на моста формули (1-3) са определени стойностите на обобщените аеродинамични коефициенти $C_{cp,z,tot}$ за ветровото натоварване във вертикалната равнина. Те са показани в:

- Таблица 7 ÷ 9 за мост с правоъгълни греди от стоманобетон;
- Таблица 10 ÷ 12 за мост със съставени стоманени греди.

Таблица 7. Общ аеродинамичен коефициент $C_{cp,z,tot}$ за ветрово налягане по елементите на мост с две правоъгълни греди от стоманобетон

x, m	1	2	3	4	5
b, m	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8
b/d	4,0	4,833	5,667	6,50	7,333
$F_{z,tot}$, kN	8,033	5,991	2,910	-1,085	-4,681
$C_{cp,z,tot}$	0,715	0,441	0,183	-0,059	-0,227

където $F_{z,tot}$ е породената от ветровия поток вертикална сила, действаща върху цялото сечение $C_{cp,z,tot}$ – общият аеродинамичен коефициент във вертикалната равнина за цялото сечение на моста.

Таблица 8. Общ аеродинамичен коефициент $C_{cp,z,tot}$ за ветрово налягане по елементите на мост с три правоъгълни греди от стоманобетон

x, m	1	2	3	4	5
b, m	6,20	8,20	10,20	12,20	14,20
b/d	5,167	6,833	8,500	10,167	11,833
$F_{z,tot}$, kN	5,873	-0,514	-5,717	-7,117	-5,609
$C_{cp,z,tot}$	0,405	-0,027	-0,240	-0,249	-0,169

Таблица 9. Общ аеродинамичен коефициент $C_{cp,z,tot}$ за ветрово налягане по елементите на мост с четири правоъгълни греди от стоманобетон

x, m	1	2	3	4	5
b, m	7,6	10,6	13,6	16,6	19,6
b/d	6,333	8,833	11,333	13,833	16,333
$F_{z,tot}$, kN	3,332	-3,846	-5,413	-1,873	-1,775
$C_{cp,z,tot}$	0,187	-0,155	-0,170	-0,048	-0,039

Когато стойността на аеродинамичния коефициент $C_{cp,z,tot}$ е положителна, това означава, че равнодействащата сила $F_{z,tot}$ по моста има посока на действие отдолу нагоре. Когато $C_{cp,z,tot}$ е с отрицателна стойност, това означава, че равнодействащата сила $F_{z,tot}$ има посока на действие отгоре надолу, т.е. съвпадащо с гравитацията.

Таблица 10. Общ аеродинамичен коефициент $C_{cp,z,tot}$ за ветрово налягане по елементите на мост с две съставени стоманени греди

x, m	1	2	3	4	5
b, m	4,02	5,02	6,02	7,02	8,02
b/d	3,350	4,183	5,017	5,850	6,683
$F_{z,tot}$, kN	9,702	7,472	3,170	-0,089	-4,455
$C_{cp,z,tot}$	1,031	0,636	0,225	-0,005	-0,237

Таблица 11. Общ аеродинамичен коефициент $C_{cp,z,tot}$ за ветрово налягане по елементите на мост с три съставени стоманени греди

x, m	1	2	3	4	5
b, m	5,02	7,02	9,02	11,02	13,02
b/d	4,183	5,850	7,517	9,183	10,850
$F_{z,tot}$, kN	8,545	1,960	-4,381	-6,321	-6,129
$C_{cp,z,tot}$	0,727	0,119	-0,208	-0,245	-0,201

Таблица 12. Общ аеродинамичен коефициент $C_{cp,z,tot}$ за ветрово налягане по елементите на мост с четири съставени стоманени греди

x, m	1	2	3	4	5
b, m	6,02	9,02	12,02	15,02	18,02
b/d	5,017	7,517	10,017	12,52	15,02
$F_{z,tot}$, kN	6,148	-1,920	-2,698	-2,547	-2,623
$C_{cp,z,tot}$	0,4364	-0,091	-0,096	-0,072	-0,062

Изменението в стойностите на аеродинамичните коефициенти $C_{cp,z,tot}$, в зависимост от отношението b/d , графично е показано на фиг. 5, където $C_{cp,z,2}$, $C_{cp,z,3}$, $C_{cp,z,4}$, са общите коефициенти за налягане

при брой греди под плочата $n = 2, 3$ и 4 бр.

Тук прави впечатление, че при малки стойности на отношението b/d , равнодействащата вертикална сила $F_{z,total}$ действа отдолу нагоре. Отчетената максимална стойност на общия аеродинамичен коефициент е $C_{cp,z,tot} = 1,1$. При по-големи стойности на отношението b/d , равнодействащата вертикална сила $F_{z,total}$ действа отгоре надолу, т.е. ветровете товари имат същата посока, както и гравитационните. Тук са отчетени стойности на общия аеродинамичен коефициент от порядъка на $C_{cp,z,tot} = -0,24$. Видно е, че има разлика с препоръчаната в EN 1991-1-4:2005 (2005) стойност $C_{cp,z,tot} = \pm 0,9$.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В популярните стандарти за натоварване на мостове не съществува информация за натоварване от вятър върху отделните елементи. За тяхното определяне, чрез графичния интерфейс Workbench на ANSYS (2020) и неговия модул за компютърна симулация на флуиди Fluid Flow (CFX) са изследвани няколко типични сечения на мостове с надлъжни греди. От направеното изследване могат да се направят следните изводи:

- а) най-тежко натоварената от ветровия поток е наветрената греда;
- б) общото натоварване по подветрената греда може да има направление, което да съвпада или да е обратно с това на ветровия поток. Референтните аеродинамични коефициенти са с два – три пъти по-малки стойности от тези за наветрената греда;
- в) общото натоварване по вътрешните греди винаги е с направление, противоположно на ветровия поток;
- г) отчетените стойности на аеродинамичния коефициент за цялото сечение на моста са само положителни и са с $50\% \div 60\%$ по-малки от отчетените за наветрената греда. И ако те бъдат използвани за оразмеряване на стабилизиращите гредите елементи, това би било в посока на несигурността.
- д) освен усилия в своята равнина, хоризонталните ветрови потоци предизвикват усилия и във вертикалната. Които усилия при тесни мостове са разтоварващи, а при широките се суперпонираат с гравитационните товари.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът би искал да изрази своята благодарност към инж. Мария Пантушева за внимателния прочит на статията и разумните съвети при CFD анализа.

ЛИТЕРАТУРА

- ANSYS® v.2020 R2 (2020). Documentation. Ansys Inc., Canonsburg, PA, the USA.
- AS/NZS 1170.2 (2011). Structural Design Actions. Part 2: Wind actions. Standards Australia Limited / Standards New Zealand. ISBN 978-0-7337-9805-4.
- Baklanov A, Barmpas P, Bartzis J, Batchvarova E. *et al.* (2007). Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment. COST Action 732, Brussels, Belgium.
- BS 5400-2 (2006). Steel, Concrete and Composite Bridges – Part 2: Specifications for Loads. British Standards Institution.
- EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (2005). Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions. European Committee for Standardization, Brussels.
- IRC: 6-2017 (2017). Standard Specifications and Code of Practice for Road Bridges. Section: II – Loads and Load Combinations (Seventh Revision). Indian Road Congress.
- Standards for Design of Road and Railway Bridges and Culverts (1989). KTCY, Sofia.
- СП 35.13330.2011 (2011). Bridges and culverts. Ministry of Regional Development, Russian Federation, Moscow.
- Rusev I, Tanev T, Dinev D (2012a). Numerical study of wind actions on tall buildings with ANSYS CFX and comparison with EN1991-1-4. *XII International scientific conference VSU'2012*, Sofia, vol. 1, pp. 83-88. (on Bulgarian).
- Rusev I, Dinev D, Tanev T (2012b). Numerical study of wind actions on nearby tall buildings. *International Jubilee Scientific Conference UACEG'2012*, Sofia, pp. 15-17 (on Bulgarian).
- Tominaga Y, Mochida A, Yoshie R, Kataoka H, Nozu T, Yoshikawa M, Shirasawa T (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 96, issues 10-11, pp. 1749-1761. DOI: 10.1016/j.jweia.2008.02.058
- Wassef W (2016). Proposed Guide Specifications for Wind Loads on Bridges during Construction. *AASHTO SCOBST Meeting*, Minneapolis, Minnesota. AECOM
- Yu M, Liao H, Li M, Ma C, Luo N, Liu M (2011). Study on Static Wind Loading Coefficients of Suspension Bridge, Based on CFD Simulation and Wind Tunnel Test. *Applied Mechanics and Materials*, Switzerland, vol. 66-68, pp. 334-339. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.66-68.334>