

КОРАВИНА НА СРЯЗВАНЕ ПРИ СТОМАНОБЕТОННИ ЕЛЕМЕНТИ, ИЗЧИСЛЯВАНИ ПО ЕВРОКОД 2

Борислав Даалов
bobdaal@abv.bg

Висше строително училище "Любен Каравелов", ул. Суходолска 175, 1373
София, България

Ключови думи: стоманобетонни конструкции, коравина на срязване, преместване

Резюме: При сравнително неголямо отношение между изчислителния отвор на елемента към полезната височина на сечението преместването в някакво сечение, дължащо се на срязващите сили, може да възлезе на 15 – 30 % от преместването от огъващите моменти. В Еврокод 2 липсват предписания за коравината на сечение при срязване. Като е приложен фермовият модел за проверка на носещата способност на срязване е изведена формула за коравината при напукано сечение.

При отношение на изчислителния отвор на елемента l към полезната височина на сечението d

$$l/d > 10 - 12$$

приносът на срязващата сила към големината на преместването в дадена точка от оста на елемента е малък. Но при сравнително къси елементи срязващата сила може да увеличи преместването с 15 – 30 %, което не трябва да бъде пренебрегвано. Това се отнася най-вече за предварително напрегнати елементи, при които отношението l/d е значително по-голямо от това при обикновено армираните. Засилен принос на срязващите сили към големината на преместването може да има и при елементи, работещи с пукнатини. В последния случай приносът е в силна зависимост от дължината на напукания участък.

В Еврокод 2 [1] няма указания за коравината при срязване. Тук ще бъдат изведени формули за коравината въз основа на фермовия модел, прилаган в Еврокод 2 за определяне на носещата способност при срязваща сила, разгледан подробно в [2]. Всички означения, свързани с прилагането на модела, са по Еврокод 2.

В общ вид преместването, дължащо се на срязващата сила, може да бъде намерено с формулата от строителната механика

$$(1) \quad f = \sum_n \int_{l_i} \frac{V(x)\bar{V}(x)}{A_i G} dx ,$$

в която f е преместване на елемента в определено сечение ;

$V(x)$ - срязваща сила в сечение x от въздействието, за което е определяно преместването ;

$\bar{V}(x)$ - срязваща сила в сечение x от виртуален товар единица, приложен в сечението, за което се определя преместването, с посока на действие по

направление на очакваното преместване - ако посоката е сгрешена резултатът ще бъде с отрицателна стойност;

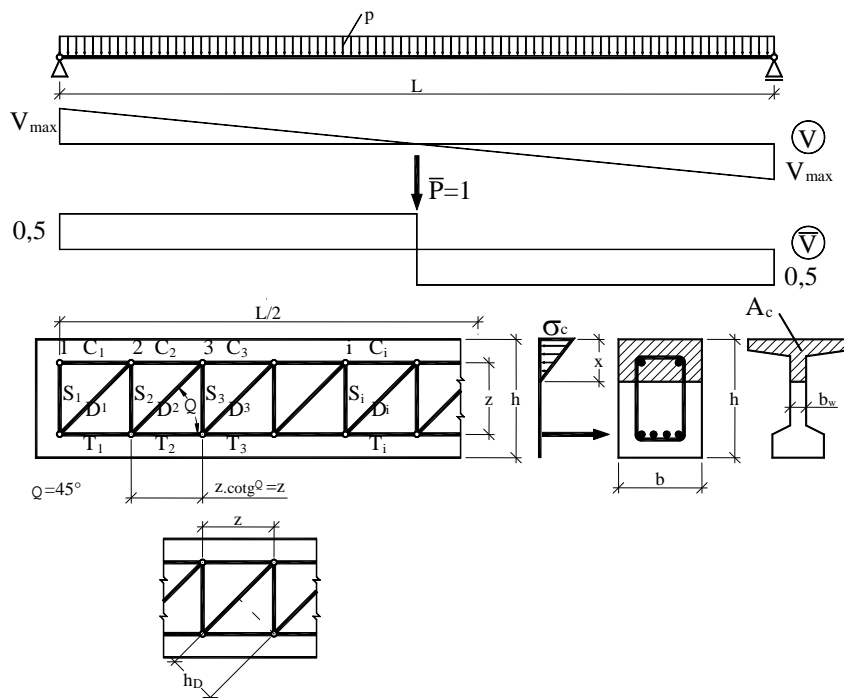
A_i – площ на напречното сечение на елемента за участък i ;

G – модул на хлъзгане на бетона, може да бъде приет $G = 0,4E_c$;

n – брой на участъците по дължина на елемента, в които се извършва интегрирането ;

l_i – дължина на участък i .

Ако в участъка, за който интегрираме, няма пукнатини, може да бъде използвана коравината на срязване A_iG . При наличие на пукнатини трябва да бъде прилагана приведена коравина. За нейното получаване разглеждаме греда, показана на фигура 1, натоварена с равномерно разпределен товар. Напречното сечение е правоъгълно с размери b/h . Фермата, която понася срязващите сили, е съставена от диагонални, вертикални и успоредни поясни пръти. Ъгълът θ на наклона на диагоналните пръти, съгласно Еврокод 2, може да бъде между 22 и 45° . В посока на сигурността е приет ъгъл $\theta = 45^\circ$. При него коравината на срязване е най-малка. Стремената са вертикални, което е най-често прилаганото положение. Разстоянието между пояските пръти z представлява рамото на вътрешната двойца сили – разстояние между приложната точка на силите в натиснатата зона на сечението и центъра на тежестта на опънната армировка.



Фиг. 1 Модел за определяне на приведена коравина на срязване

Ако не е известно, може да бъде прието $z = 0,9d$. Напречните сечения и силите в прътите са следните :

Диагонални пръти – бетонно сечение

височина на сечението $h_D = z \cdot \cos\theta$;

широчина на сечението b , при двойно Т или Т сечение широчината ще бъде най-малката широчина на сечението b_w ;

дължина на пръта $z/\cos\theta$;

еластичен модул $E_{c,eff}$, при кратковременно действие E_{cm} ;

сила в пръта от срязваща сила в резултат на експлоатационно въздействие

$$(2) \quad D_i = V_{max} \frac{0,5n - i}{0,5n} \frac{1}{\sin \theta},$$

V_{max} е максималната стойност на срязващата сила при опорите,

$$n = \frac{L}{z \cdot \cot g \theta} = \frac{L}{z}, \text{ брой на прътите ;}$$

i – пореден номер на пръта от края на елемента към средното сечение;
средната стойност силата в пръта от срязваща сила

$$(3) \quad D_{i,m} = 0,5 V_{max} \frac{1}{\sin \theta}, \quad (\text{натиск})$$

сила от виртуален товар

$$(4) \quad \bar{D}_i = 0,5 \frac{1}{\sin \theta}. \quad (\text{натиск})$$

Вертикални пръти – сечение на стремената, пресичащи хоризонталната проекция на диагоналните пръти

напречно сечение

$$A_{sw} \frac{z \cdot \cot g \theta}{s} = A_{sw} \frac{z}{s};$$

A_{sw} е сбор от сечението на всеки от вертикалните пръти на стремената,

s – разстояние между стремената ;

дължина на пръта z ;

еластичен модул E_s ;

сила от експлоатационен товар

$$S_i = V_{max} \frac{0,5n - i}{0,5n},$$

средна стойност на силата в пръта от експлоатационен товар

$$(5) \quad S_{i,m} = 0,5 V_{max}; \quad (\text{опън})$$

сила от виртуален товар

$$(6) \quad \bar{S}_i = 0,5. \quad (\text{опън})$$

Горен пояс – сечение на натиснатия бетон

площ на сечението – bx ,

при двойно Т или Т сечение площта ще включва пояса и част от стеблото до нулевата линия , при наличие на натискова армировка тя може да участва в редуцираното сечение на натиснатата част на сечението ;

дължина на пръта z ;

еластичен модул $E_{c,eff}$, при кратковременно действие E_{cm} ;

сила в пръта от срязваща сила в резултат на експлоатационно въздействие

$$C_i = 0,5 D_i \cos \theta ,$$

съгласно приетия модел в Еврокод 2 половината от хоризонталната проекция на силата в натиснатия диагонал е уравновесена от горния пояс, а другата половина – от долния пояс ;

средната стойност на силата в пръта от срязваща сила

$$(7) \quad C_{i,m} = 0,25 V_{max} \frac{\cos \theta}{\sin \theta} = 0,25 V_{max}; \quad (\text{опън})$$

сила от виртуален товар

$$(8) \quad \bar{C}_i = 0,5 \bar{D}_i \cos \theta = 0,25. \quad (\text{опън})$$

Долен пояс – сечение на армировката в опънната зона на сечението

площ на сечението – за обикновена армировка A_s , за напрегната A_p ,

(при наличие на напрегната армировка тя трябва да участва в площта или само тя да представлява площта);

дължина на пръта z ;

еластичен модул E_s или E_p съответно за обикновена или напрегната армировка;

сила в пръта от срязваща сила в резултат на експлоатационно въздействие

$$T_i = 0,5 D_i \cos \theta ;$$

средната стойност на силата в пръта от срязваща сила

$$(9) \quad T_{i,m} = 0,25 V_{max} \frac{\cos \theta}{\sin \theta} = 0,25 V_{max} ; \quad (\text{опън})$$

сила от виртуален товар

$$(10) \quad \bar{T}_i = 0,5 \bar{D}_i \cos \theta = 0,25. \quad (\text{опън})$$

За фермовия модел, който е използван, изразяването на преместването чрез интеграла от (1) добива вида

$$(11) \quad f = \sum_n \frac{D_i \bar{D}_i z}{b z \cos^2 \theta E_{c,eff}} + \sum_n \frac{S_i \bar{S}_i s z}{A_{sw} z E_s} + \sum_n \frac{C_i \bar{C}_i z}{b x E_{c,eff}} + \sum_n \frac{T_i \bar{T}_i z}{A_s E_s}.$$

В (11) заместваме средните стойности на силите в прътите от експлоатационен товар и силите от виртуален товар. Всяка от отделните суми се отнася за n броя пръти. Като изнесем n пред скоби и преработим, изразът става

$$(12) \quad f = \frac{L}{z} \left[\frac{0,25 V_{max} z}{b z \cos^2 \theta \sin^2 \theta E_{c,eff}} + \frac{0,25 V_{max} s z}{A_{sw} z E_s} + \frac{0,125 V_{max} z}{b x E_{c,eff}} + \frac{0,125 V_{max} z}{A_s E_s} \right].$$

Изнасяме $V_{max} z$ пред скобите и опростяваме допълнително, имайки предвид, че $\cos^2 \theta \sin^2 \theta = 0,25$ при $\theta = 45^\circ$. За преместването получаваме

$$(13) \quad f = L V_{max} \left[\frac{1}{b z E_{c,eff}} + \frac{0,25 s}{A_{sw} z E_s} + \frac{0,125}{b x E_{c,eff}} + \frac{0,125}{A_s E_s} \right].$$

Ако използваме интеграла от (1) с приведена коравина на срязване $(AG)_{red}$ и приложим умножение на диаграмите по Верещчагин, големината на преместването е

$$(14) \quad f = \sum_n \int_{l_i} \frac{V(x) \bar{V}(x)}{(AG)_{red}} dx = 2 \frac{(0,5 V_{max} L / 2) 0,5}{(AG)_{red}} = \frac{0,25 V_{max} L}{(AG)_{red}}.$$

От (14) изразяваме приведена коравина на срязване $(AG)_{red}$

$$(15) \quad (AG)_{red} = \frac{0,25 V_{max} L}{f}.$$

Заместваме преместването f по (13) в (15), умножаваме числителя и знаменателя с $b z E_{c,eff}$ и след преобразуване за приведена коравина намираме израза

$$(16) \quad (AG)_{red} = \frac{b z E_{c,eff}}{4 + \frac{1}{\rho_w \alpha_{es}} + 0,5 \frac{z}{x} + \frac{0,45}{\rho \alpha_{es}}},$$

$$(17) \quad (AG)_{red} = \frac{b_w z E_{c,eff}}{4 + \frac{1}{\rho_w \alpha_{es}} + 0,5 \frac{b_w z}{A_c} + \frac{0,45}{\rho \alpha_{es}}},$$

в който $\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s}$, коефициент на армиране с напречна армировка ;

$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$, коефициент на армиране с надлъжна армировка ;

A_c – площ на натиснатата зона в сечението (фигура 1).

Както във формула (16), така и в (17) третият член в знаменателя е с много малка стойност спрямо общата стойност на знаменателя – от порядъка на 1 – 1,5 % и затова може да бъде пренебрегнат с незначителна грешка.

Ако по дължина на елемента разстоянията между стремената са различни, трябва да бъдат определени отделни приведени коравини.

За участъци от елемента, в които няма пукнатини от огъване, може да бъде използвана коравината на срязване A_sG .

ЛИТЕРАТУРА :

- [1] EN 1992-1-1,2004 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции: Общи правила и правила за сгради
- [2] Даалов Т. , Б. Даалов Ръководство за проектиране на стоманобетонни конструкции по Еврокод 2, ВСУ „Л. Каравелов”, София , 2010

SHEAR STIFFNESS FOR REINFORCED CONCRETE ELEMENTS, DESIGNED ACCORDING TO EUROCODE 2

Borislav Daalov
bobdaal@abv.bg

*University of Structural Engineering & Architecture, “Lyuben Karavelov”
175 Souhodolska Street, 1373
Sofia, Bulgaria*

Key words: *reinforced concrete structures, shear stiffness, displacement*

Abstract: *The displacements for small span/depth ratio, caused by shear focses, for reinforced concrete elements can reach 15 – 30 % from displacements caused by bending moments only. A prescriptions are not given in Eurocode 2 for determining shear stiffness. Formula for shear stiffness of cracked sections was derived by using the truss model for determining shear capacity.*