

НОСИМОСПОСОБНОСТ ПРИ СРЯЗВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ ГРЕДИ – АНАЛИЗ НА ДВА ПРИЛОЖНИ СЛУЧАЯ

Атанас Георгиев¹

Конструктивните стандарти за проектиране от фамилията Еврокод нито са свършени, нито са детайлирани (с някои изключения) до ниво за директно прилагане в проектирането – то е и трудно постижимо. В някои принципи и правила пък са “спуснати” процедури, зад които трудно се откриват предпоставките. Анализите тук хвърлят светлина и изясняват два проблема от Еврокод 2 за сгради [1], които определено са с практическо значение.

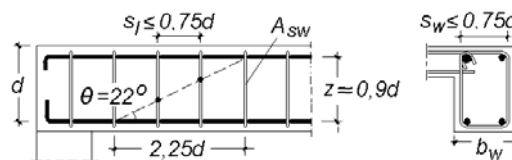
1. Носимоспособност при минимална напречна армировка

1.1. Конструктивни изисквания за греди в ЕС2[1]

(1) Първото условие е за максимално надлъжно разстояние между нормалните стремени:

$$s_{l,\max} = 0,75d, \quad (1)$$

което се отнася и за напречното разстояние $s_{w,\max}$ между съседните клонове. Това изискване гарантира, че при минимален ъгъл $\theta = 22^\circ$ най-малко реда стремени ще пресекат опасното сечение с проекция $2,5z \approx 2,25d$, както и невъзможност от срязване между съседни стремени (фиг.1).



Фиг.1. Изискванията в ЕС2

(2) Другото изискване е за минимален процент на армиране, който при срязване би трябвало да осигури дуктилен преход от ненапукан в напукан стадий:

$$\rho_w = A_{sw} / (s_l b_w) \geq (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}. \quad (2)$$

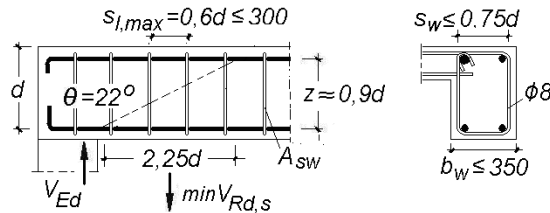
1.2. Конструктивни изисквания за греди в Националното приложение [2]

(1) Последната редакцията на [2], която е в сила от 17.02.2015г., изисква по-консервативно конструиране в областта на гредите при опорите, което произтича само от традициите унас, а не от специални анализи (фиг.2):

$$s_{l,\max} = 0,6d \leq 300\text{mm}. \quad (3)$$

¹ Проф. д-р инж., УАСГ-София, катедра „Масивни конструкции”, atanasg@vip.bg

В подложените на по-слабо срязване средни половини от отворите на гредите се предвижда (логично) по-либерално изискване: $s_{l,max} = 0,8d \leq 400mm$.



Фиг.2. Конструктивни изисквания на приложението [2]

(2) В [3] е доказано, че дуктилност се осигурява при по-висок коефициент на напречно армиране, който е приет и в приложението:

$$\rho_w = A_{sw} / (s_l b_w) \geq (0,10 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} \cdot \quad (4)$$

За греди от бетони клас C20/25 и C25/30 с двусрезни стремена $\phi 8$ ($A_{sw} = 100,6mm^2$) от ст. клас B500 през максималните разстояния, условие (4) е изпълнено винаги, ако $b_w \leq 350mm$. Това са всъщност характеристиките на масовите греди в сградите.

1.3. Носимоспособност $\min V_{Rd,s}$

(1) Като се използват параметрите от фиг.2, носимоспособността при конструиране с минимална напречна армировка се определя от израза (6.8) в [1]:

$$\min V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cot \theta = (100,6 / s) \cdot 0,9d \cdot 435 \cdot 2,5 = 100d / s, \text{ kN}. \quad (5)$$

(2) Носимоспособността по (5) може да се анализира така:

- за греди с $d \leq 500mm$, където $s = 0,6d$: $\min V_{Rd,s} = 165kN$;

- за греди с $d > 500mm$, където $s = 300mm$: $\min V_{Rd,s} = 100(d / 300) kN$,

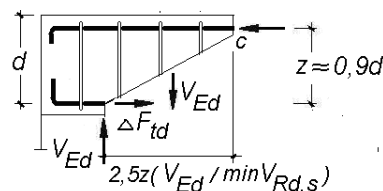
а обобщението за стомана клас B500 е:

$$\min V_{Rd,s} = 100(d / 300) \geq 165kN \quad d \text{ в } mm. \quad (6)$$

За стомана клас B420 приблизителната стойност е $\min V_{Rd,s} = 80(d / 300) \geq 135kN$.

1.4. Допълнителна опънна сила в надлъжната армировка при крайна опора

(1) Ако фактичската максимална напречна сила $V_{Ed} < \min V_{Rd,s}$, със срязването в крайно гранично състояние се ангажират стремената в по-стръмни пукнатини с хоризонтални проекции, по-малки от $2,5z$ (фиг.3).



Фиг.3. Модел за извеждане на ΔF_{td}

(2) От равновесието на силите спрямо т.С (ц.т. на натисковата зона) се извежда опънната сила

$$\Delta F_{td} = 1,25V_{Ed}^2 / \min V_{Rd,s},$$

която трябва да се „закотви” с надлъжна армировка зад ръба на крайната опора.

1.5. Диагоналел натиск

Доказва се, че при срязване с достатъчна минимална армировка, той изобщо не е меродавен.

1.6. Обобщения

(1) В критичните за срязване области на стоманобетонни греди не са необходими изчисления, а е достатъчна нормираната минимална напречна армировка, ако

$$V_{Ed} \leq \min V_{Rd,s},$$

където

$$\min V_{Rd,s} = 100(d/300) \geq 165kN \text{ за стомана клас B500;}$$

$$\min V_{Rd,s} = 80(d/300) \geq 135kN \text{ за стомана клас B420, да } d \text{ в } mm.$$

(2) В тези случаи зад ръба на крайните опори трябва да се закотви надлъжна армировка за сила

$$\Delta F_{td} \geq 1,25V_{Ed}^2 / \min V_{Rd,s}.$$

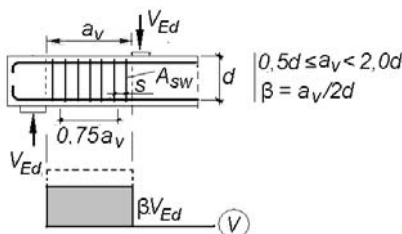
2. Срязване при концентрирани сили в близост до опори

В т.6.2.3(8) на [1] се предлага проверка за носимоспособност (или изчисляване на напречна армировка) в случай на директно (приложено върху горната повърхност) концентрирано натоварване (фиг.4). Тук е анализиран обичайният случай с нормални стремени и когато стойността на максималната напречна сила се формира изцяло от концентрирания товар.

2.1. Предложението в [1]

(1) То съдържа две съществени предпоставки, свързани само с проверката (изчисляването) на напречната армировка:

- поема се само част от напречната сила: в случая βV_{Ed} ;
- активна е само 75% от армировката в отвора на срязване a_v ,



Фиг.4. Предпоставките в т.6.2.3(8) на [1]

(2) От вертикалното равновесие следва логичното за проверка на напречната армировка ΣA_{sw} в рамките на $0,75a_v$ условие (форм.6.19 в [1]):

$$\beta V_{Ed} \leq \Sigma A_{sw} f_{ywd} \cdot \quad (7)$$

2.2. Анализи

По-задълбочените проучвания на горните, несмушаващи на пръв поглед, предпоставки обаче показват следното.

(1) Детайлното разписване на условие (7) е

$$(a_v / 2d) V_{Ed} \leq (A_{sw} / s) (0,75a_v) f_{ywd} \cdot$$

което при обичайното приемане $d \approx 1,10z$ води до

$$V_{Ed} \leq (A_{sw} / s) f_{ywd} \cdot z \cdot 1,65 \cdot \quad (8)$$

(2) Връзката (8) съответства на най-популярното условие (6.8) от EC2 [1] за определяне на интензивността на напречно армиране A_{sv} / s с регулярен фермов модел

$$V_{Ed} \leq (A_{sw} / s) f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \cdot \quad (9)$$

в което е приет постоянен ъгъл $\theta = 31^\circ$, т.е. $\cot \theta = 1,65$.

2.3. Заключение

Алинея 8 на т.6.2.3 от EC2 за сгради [1] е една излишна бутафория, защото:

(1) В рамките на отвора на срязване a_v се изчислява една и съща интензивност на напречната армировка A_{sv} / s , независимо дали той е по-малък или по-голям от $2d$.

(2) Всъщност, без излишни увъртания, това което се предлага може да се дефинира така: „В случай на концентрирана сила, между нея и опората се разполага напречна армировка с интензивност A_{sv} / s , изчислена за фактическата напречна сила при опората V_{Ed} и за $\theta = 31^\circ$ ($\cot \theta = 1,65$)”. Няма редукиции на сили и на дължини!

(3) Горните изводи показват и друго – предложението в EC2 се отнася не за „директна” сила, а за сила, разпределена по височината на гредата. Това се доказва най-убедително с модела за срязване на стоманобетонните стени в корав сутерен при сеизмични въздействия, представен в [4], където се определят ъгли $\theta = 30^\circ \div 32^\circ$!!!

(4) При тези констатации, като неконсервативна (с 20%) може да се оцени проверката на диагоналния натиск, която в [1] е приета с $\theta = 45^\circ$ и с височина d , а не z .

(5) В случаи на фактически „директни” концентрирани товари в близост до опорите на греди ($a_v \leq 1,5z$) е целесъобразно носимоспособността да се проверява чрез прътови модели и аналогии с къси конзоли.

Литература

1. БДС EN 1992-1-1, Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Общи правила и правила за сгради, 2005.
2. БДС EN 1992-1-1/NA (национално приложение), 2015.
3. Георгиев, Ат., Уточняване на изчислителния модел за срязване в БДС EN 1992-1-1: 2005, Сборник (стр.63-67), Международна научна конференция, Варна, 9-11 септември 2010.
4. Георгиев, Ат., Срязване на стоманобетонни стени на сгради – модел и носимоспособност при сеизмични въздействия, Сборник (стр.229-233), Международна научна конференция, Варна, 13-15 септември 2012.