

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 ^{ТОМ}
vol.

2015

св. 12 – I
fasc.

ПРЪТОВ МОДЕЛ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННА ГРЕДА С ОТВОРИ В СТЕБЛОТО

Н. Ангелов¹, И. Петкова²

Ключови думи: прътов модел, D-област, крайно гранично състояние

Научна област: стоманобетон и стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

Представен е случай на статически неопределима средно дълга едноотворна греда, натоварена с концентрирана сила. В средната третина от височината на гредата са разположени инсталационни отвори (геометрически D-области). Създаден е прътов модел на основата на Load path метода, базиран на еластично решение по крайни елементи. С това възможно решение е определена необходимата армировка за крайно гранично състояние. Направено е сравнение с резултатите, получени от оразмеряване по нормални и наклонени сечения. Предложено е примерно детайлиране на армировката около отворите. Анализирани са подходящите положения и форми за отвори в стеблото на греда. Дадена е оценка за акуратността на изложеното решение и съответно приложимостта на използваната методика в строителната практика.

1. Въведение

Поставената задача винаги е била актуална, заради неизбежните отвори в стоманобетонните елементи за преминаващи инсталации (фиг. 1).

Показаната на фиг. 2 греда е веднъж статически неопределима. Тя е с дължина 6000 mm, височина 1100 mm и широчина 300 mm. В стеблото ѝ са разположени два отвора с размери 400/380 mm.

¹ Никола Ангелов, гл.ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: niko_angel@abv.bg

² Ива Петкова, инж. дипл., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ivappetkova@gmail.com

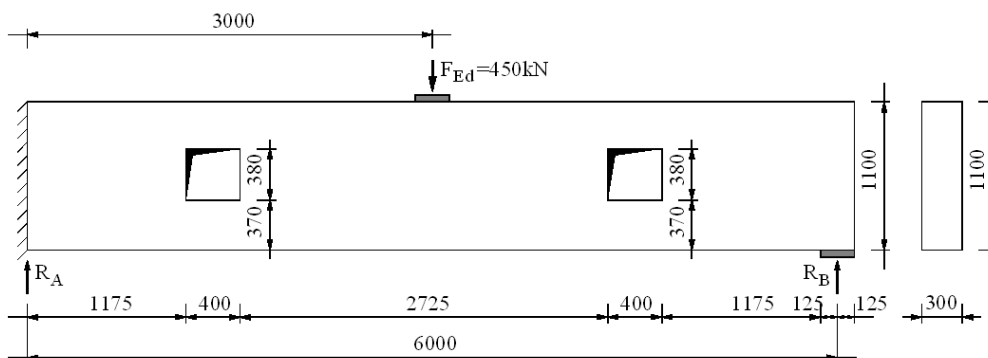
Използваните материали са бетон клас C30/37 и армировка клас B500.

С цел опростяване на решението и акцентирание върху идеологията на поставения проблем, при проектирането е отчетена само концентрираната сила $F_{Ed} = 450 \text{ kN}$, като собственото тегло на гредата е пренебрегнато.



Фиг. 1. Греди с отвори

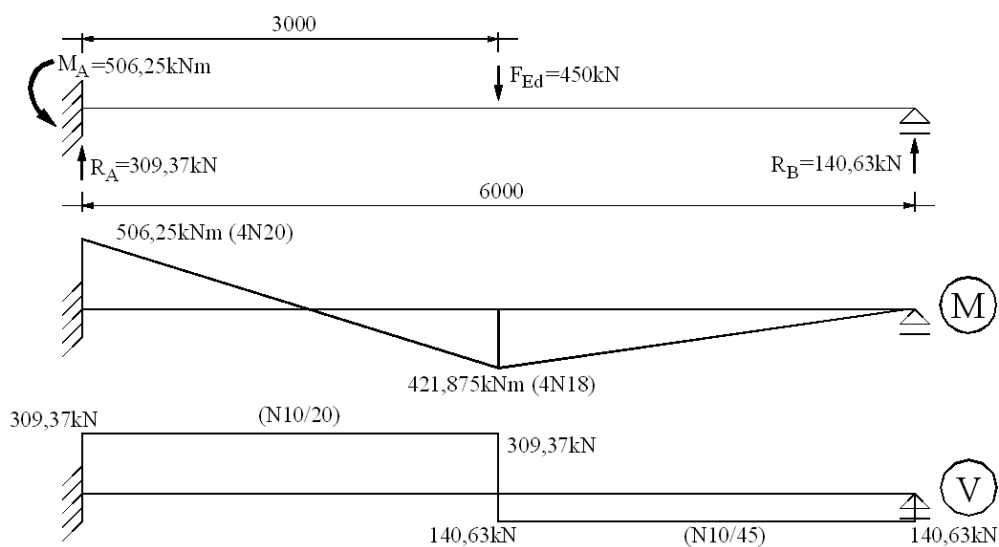
Целта на показания пример е популяризирането на метода на прътовите модели за проектиране на D-области (в случая отвори в стеблото) и на цели стоманобетонни елементи.



Фиг. 2. Геометрия и натоварване

2. Оразмеряване по „гредовата теория“

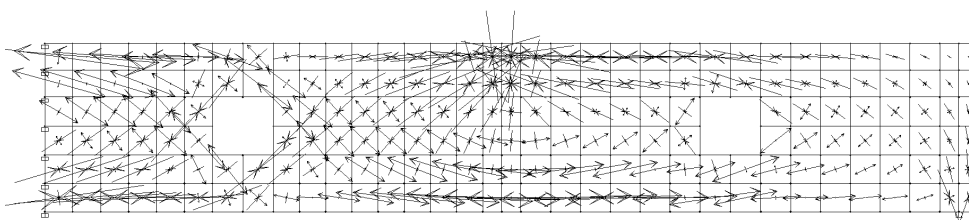
След направеното статическо решение е проведено оразмеряване на огъване и срязване, като е използвана приблизителна полезна височина $d = 970 \text{ mm}$. Получените резултати са показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Оразмеряване по „гредовата теория“ с получената армировка

3. Избран прътов модел

За избор на подходящ прътов модел се използва решение по теория на еластичността, като посоката на избраните пръти от модела е определена с минимални отклонения от траекториите на главните напрежения (фиг. 4). Избраният модел е статически определен (фиг. 5).

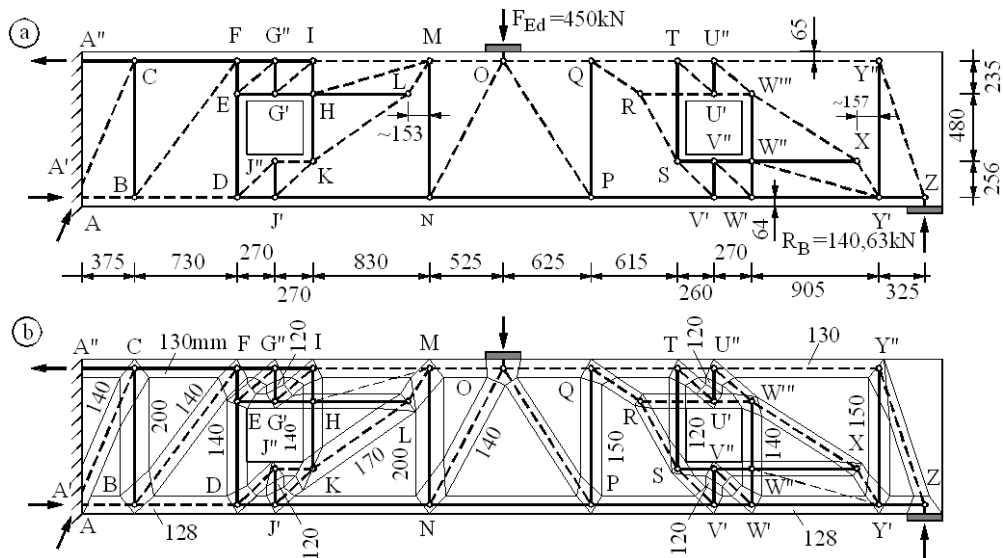


Фиг. 4. Траектории на главните напрежения

От анализа с използване на „гредовата теория“ (фиг. 3) и това по Метода на крайните елементи (фиг. 4) се вижда, че стойностите на опорната реакция при подвижната опора са приблизително равни (съответно $R_B = 140,63 \text{ kN}$ и $R_B = 143,33 \text{ kN}$).

За избрания прътов модел е прието да се използва реакцията от решението по „гредовата теория“ $R_B = 140,63 \text{ kN}$, която да бъде въведена като външно натоварване.

Това приемане е допустимо, поради възможността за вътрешно преразпределяне на усилията в стоманобетонния елемент.



Фиг. 5. Избран прътов модел (а) с размери на елементите (b) – ненадписаните елементи са с широчина 100 mm

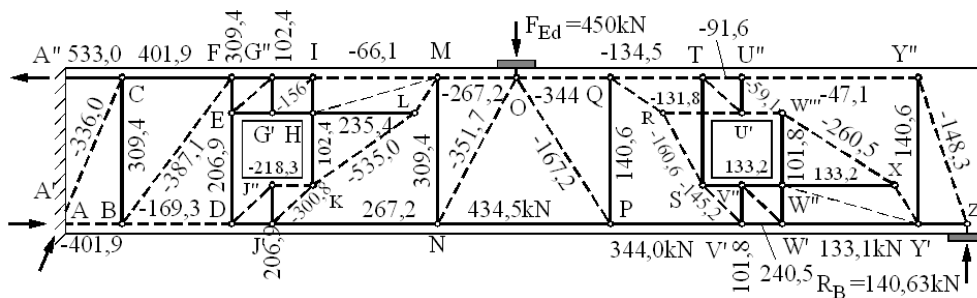
4. Проверка на елементите на прътовия модел

При проектиране с помощта на прътови модели за всеки елемент от модела (прът или възел) трябва да бъде спазено изискването:

$$E_d \geq R_d, \quad (1)$$

където E_d е усилие в даден елемент;

R_d – носеща способност на даден елемент.



Фиг. 6. Сили в елементите от прътовия модел

Силите в елементите на избрания прътов модел са показани на фиг. 6.

4.1. Носеща способност на елементите

Носещата способност на елементите на прътовия модел е определена според Еврокод 2.

4.1.1. Опънни пръти

Изчислителната носимоспособност на опънните пръти от обикновена армировка се приема равна на $f_{yd} = 435$ МПа. За достигането ѝ е важно опънните пръти да бъдат надеждно закотвени след възлите (фиг. 7).

4.1.2. Натискови пръти

В Еврокод 2 са дефинирани два вида натискови пръти с различна носимоспособност.

Изчислителната носимоспособност на бетонен прът в област с напречно натисково напрежение или без напречно напрежение се определя по формулата

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} = 20 \text{ МПа.} \quad (2)$$

Изчислителната носимоспособност на бетонен прът в напукани натискови зони (фиг. 1b) се определя по формулата

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6v' f_{cd} = 10,57 \text{ МПа,} \quad (3)$$

където

$$v' = 1 - f_{ck} / 250 = 0,88, \text{ отчетено от Националното приложение.}$$

4.1.3. Възли

В Еврокод 2 са дефинирани три типа възли с различна гранична носимоспособност.

Изчислителната носимоспособност на натискови възли без закотвени опънни пръти (възел ССС) се определя по формулата

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 v' f_{cd} = 17,61 \text{ МПа,} \quad (4)$$

където

$$k_1 = 1,0, \text{ отчетено от Националното приложение.}$$

Изчислителната носимоспособност на възли със закотвен опънен прът в едната посока (възел ССТ) се определя по формулата

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v' f_{cd} = 14,97 \text{ МПа,} \quad (5)$$

където

$$k_2 = 0,85, \text{ отчетено от Националното приложение.}$$

Изчислителната носимоспособност на възли със закотвени опънни пръти в повече от една посока (възел СТТ) се определя по формулата

$$\sigma_{Rd,max} = k_3 v' f_{cd} = 13,21 \text{ МПа,} \quad (6)$$

където

$$k_3 = 0,75, \text{ отчетено от Националното приложение.}$$

4.2. Оразмеряване на пръти

От оразмеряването са представени подробни проверки само на избрани елементи от прътовия модел. Резултатите за останалите елементи на модела са получени и проверени автоматизирано с програма CAST (вж. [5]). Необходимата площ на армировката или широчина на елементите са определени на база изчислителна носимоспособност, а избраните след това параметри са по-големи.

4.2.1. Оразмеряване на опънните пръти

Оразмеряването на избрани опънни пръти е представено в табл. 1.

Таблица 1. Оразмеряване на опънните пръти

Прът	Сила, kN	Необх. арм., mm ²	Избрани пръти (площ, mm ²)
A'C	533,0	1225	4N20 (1256 mm ²)
NP	434,5	999	4N18 (1018 mm ²)
EF	309,4	712	2x2N16(804 mm ²)
J'J''	206,9	476	2x2N14(616 mm ²)
BC	309,4	712	3x2N14 (923 mm ²)
PQ	140,6	323	2x2N12(452 mm ²)
W'W'''	101,8	233	2x2N10(314 mm ²)

4.2.2. Проверка на натисковите пръти

Представено е оразмеряването на избрани натискови пръти в табл. 2.

Таблица 2. Оразмеряване на натискови пръти

Прът	Сила, kN	Носимосп., MPa	Необх. ширина, mm	Избрана ширина, mm	Stress ratio
AB	-401,9	20,0	67	128	0,52
OQ	-344,0	20,0	58	130	0,44
A'C	-366,0	10,57	106	140	0,76
BF	-387,1	10,57	123	140	0,88
OP	167,2	10,57	53	100	0,53

4.2.3. Проверка на възлите

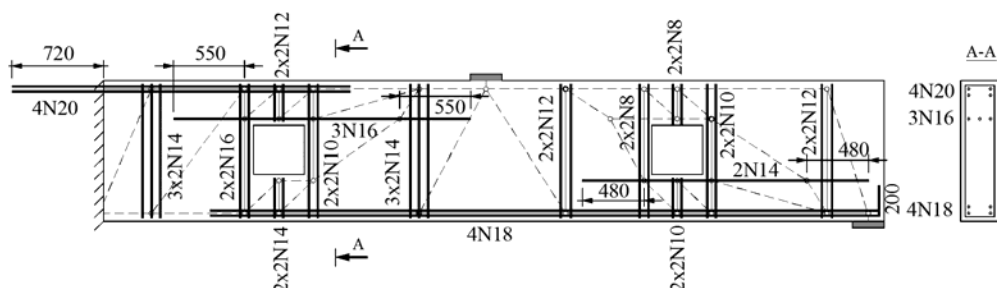
Представено е оразмеряването на избрани възли в табл. 3.

Таблица 3. Оразмеряване на възли

Възел	Тип възел	От страна на прът ...	Сила, kN	Носимосп. MPa	Необх. ширина, mm	Избрана ширина, mm	Stress ratio
O	CCC	MO	-267,2	17,6	51	130	0,39
		NO	-351,7		67	140	0,48
		OP	-167,2		32	100	0,31
		OQ	-344,0		65	130	0,50
B	CCT	AB	-401,9	14,97	90	128	0,69
		BD	-169,3		38	128	0,29
		BE	-387,1		86	140	0,62
N	CTT	NO	351,7	13,21	89	140	0,63

5. Конструирание на главната армировка

Показано е принципно конструирание на главната армировка на фиг. 7.



Фиг. 7. Конструирание на главната армировка

6. Изводи и обобщения

Проектирането с помощта на прътови модели дава актуални резултати за основните явления в този тип елементи – огъване и срязване. На практика няма разлика между получените армировки за тези две явления.

В допълнение се получава ясна визуализация на „пътищата“, по които изтичат натоварванията до опорите и адекватно и обяснимо армиране около отворите.

Като препоръка може да се отбележи, че е подходящо да се търсят отвори в долната половина на стъблото в полетата и в горната половина на стъблото в областите около опорите. По възможност отворите трябва да се проектират с кръгло напречно сечение. При повече на брой отвори с по-малки размери те могат да се вместят удобно между елементите на прътовия модел и да не затрудняват пренасянето на външното натоварване до опорите.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN1992-1-1:2005. Еврокод 2: Проектиране на стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.
2. *Fib bulletin 61*, Design example for strut-and-tie models, 2011.
3. Георгиев, Ам. Прътови модели за проектиране на стоманобетонни елементи, Част I – Фермови модели за В-области, ДП „Летера“, Пловдив, 2003.
4. Schlaich, J., Schaefer, I., Jennewein, M. Towards a consistent design of structural concrete, 1987.
5. CAST, Computer Aided Strut-and-Tie (компютърна програма за моделиране на D-области с прътови модели), University of Illinois at Urbana-Champaign.

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BEAM WITH WEB OPENINGS USING STRUT-AND-TIE METHOD

N. Angelov¹, I. Petkova²

Keywords: strut-and-tie model, D-region, ultimate limit state (ULS)

Research area: theory of reinforced concrete and RC structures

ABSTRACT

This paper presents a case of statically indeterminate example of a one-span reinforced concrete beam with a concentrated load which represents the load from a column in the middle of the span. There are two installation openings (geometrical D-region) in the middle of the beam's web. Based on the "Load path" method (using the FEM solutions) a strut-and-tie model has been created – one of the many possible. The necessary reinforcement has been determined in accordance with the Ultimate limit state designing requirements. The accuracy of the provided solution has been verified through classical design methods and the results were properly compared and analysed. Main reinforcement bars around openings have been drawn. As a conclusion advice about where these types of design methods can be applied in practice has been propounded.

¹ Nikola Angelov, Chief Assist. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd, Sofia 1046, e-mail: niko_angel@abv.bg

² Iva Petkova, Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd, Sofia 1046, e-mail: ivappetkova@gmail.com