



Получена: 10.09.2020 г.

Приета: 25.09.2020 г.

ЕФЕКТИВНА СЪДЕЙСТВАЩА ШИРОЧИНА НА НАТИСКОВАТА ЗОНА В ПЛОЧОГРЕДОВИ СЕЧЕНИЯ, ПОДЛОЖЕНИ НА ОГЪВАНЕ – РАЗВИТИЕ НА ТЕМАТА ОТ СРЕДАТА НА 20-ТИ ВЕК ДО НАШИ ДНИ

П. Василев¹

Ключови думи: ефективна действаща широчина, плочогредово сечение, огъване

РЕЗЮМЕ

Определянето на ефективната съдействаща широчина на натисквата зона е важен етап от проектирането на плочогредовите стоманобетонни сечения, подложени на огъване. Вече повече от 100 години този въпрос е обект на разработки.

В предишна публикация [10] беше разгледан периодът от началото до средата на 20-ти век, където се поставят теоретичните основи, както и се изяснява принципът на работа на едно плочогредово стоманобетонно сечение, подложено на огъване.

В настоящата статия се проследяват последните научни и научно-приложни достижения, минава се през поредица от нормативни документи, докато се стигне до познатата формула от европейските стандарти за проектиране на Еврокод.

1. Въведение

Стоманобетонните елементи с широки натискови зони като понятие в най-общия случай се състоят от плочогредови сечения, които работят на огъване. Натисквата зона се формира в най-общия случай от част от гредата и плочата с цялата ѝ дебелина и съответната съдействаща ефективна широчина. При оразмеряване на огъване и напречна сила на съответното плочогредово сечение, натоварено на огъване, винаги се зачита влиянието на съдействащата ефективна широчина. Определянето на разпределението на напреженията в плочата, големината на максималното натисково напрежение над стъб-

¹ Пламен Василев, докторант инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: plamen_www@yahoo.com

лото, както и разположението на сумарната натискава сила по височина, с цел намиране на разстоянието d за изчисляване на армировката в гредата при огъване е трудна задача. Поради тази причина, в практиката е необходимо идеализиране на действителното разпределение на напреженията, с цел даване на възможност за оразмеряване на плочогредовите сечения на огъване. При идеализираното сечение нулевата линия е права и натисковите напрежения са еднакви на определено разстояние от нея по цялата ефективна ширина на плочата.

2. Проучени разработки

2.1. Нормативен документ от 1972 г. [1]

2.1.1. Теоретична постановка

При оразмеряването на плочогредови сечения е позволено определените по [7], Параграф 17.2.1 действащи ефективни широчини, да се взимат под внимание и при изчисляването на разрезните усилия. Параграф 17.2.1 от [7] препраща към параграф 15.3, в който се уточнява, че действащата ефективна ширина се определя по теорията на еластичността, като информация може да се намери в [8].

2.1.2. Приложение в практиката

Опростено и в полза на сигурността е позволено съдействащата ефективна ширина да се определи по формулата:

$$b_m = \frac{1}{3}l, \quad (1)$$

където l е подпорното разстояние на плочогредовото сечение. При конзоли и непрекъснати греди за разстоянието l се приема l_0 .

- при проста греда: $l_0 = l$;
- при конзолни греди (с натисната плоча): $l_0 = 1,5l$;
- при вътрешни полета на непрекъснатата греда: $l_0 = 0,6l$;
- при външни полета на непрекъснатата греда: $l_0 = 0,8l$.

Над опората при непрекъснатата греда, където плочата се намира в натиснатата зона е прието определената по горната формула ефективна действаща ширина да се намали с 40%.

2.2. Нормативен документ от 1981 г. [2]

2.2.1. Теоретична постановка

Един от първите немски нормативни документи, който е предназначен специално за оразмеряването и изпълнението на бетонни мостове. Като основа за изграждането се ползва [7], който е основен нормативен документ за оразмеряването и изпълнението на елементи от бетон и стоманобетон.

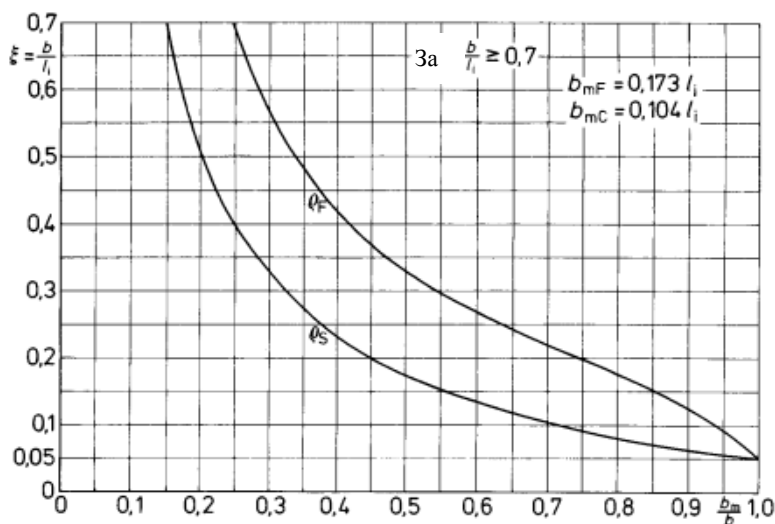
С настоящия коментар към нормативния документ ще бъдат синтезирано поднесени основните предпоставки, които се залагат при оразмеряването на стоманобетонни мостови връхни конструкции относно влиянието на ефективната ширина на плочата.

Както е известно, определянето на провисването на стоманобетонните връхни конструкции във второ гранично състояние трябва да се осъществи в максимално близко до реалното състояние, като се вземат под внимание настъпилите пукнатини в сечението. В това изчисление има право да се вземе под внимание само армировката, която се намира в областта на ефективната ширина b_m от плочата.

2.2.2. Приложение в практиката

Нормативният документ различава две направления, в които съдействащата ефективна ширина има роля.

Едното е при определянето на разрезните усилия. При определянето на разрезните усилия от предварително напрегане в статически определими и статически неопределими системи винаги се взема пълната ширина на плочата. При усилия, свързани с огъване на напречното сечение, се позволява използване на пълната ширина на плочата до $b/l_i < 0,3$. При стойности на $b/l_i > 0,3$ се приема между опорите една константна ефективна ширина на плочата от $b_m = \varphi_F \cdot b$, която отговаря на стойността в средата на полето. Всички редуционни коефициенти се определят от графики, според отношението на широчината на плочата към приета дължина, която отговаря на разстоянието между нулевите точки в моментната диаграма в надлъжно направление. В конзолни участъци и съответно над опората се приема константна ефективна ширина $b_m = \varphi_S \cdot b$.



Фиг. 1. Редуционни коефициенти при определянето на ефективната съдействаща ширина [2]

При оразмеряване на огъване и напречна сила на плочогредови сечения, които са натоварени на огъване, винаги се зачита влиянието на съдействащата ефективна ширина. Според отношението на широчината на фланеца към общата височина на сечението се определя нуждата от намаляване на съдействащата ширина на плочата. При пло-

чи с широчина $b \leq 0,3d_0$ винаги $b_m = b$, където d_0 е височината на сечението, тоест тук не е нужно намаляване на широчината на плочата като съдействаща при оразмеряване на сечението. При $b > 0,3d_0$ с помощта на редуционни коефициенти и според отношението b/l_i се определя ефективната съдействаща широчина.

Напреженията от предварително налягане се определят разделено за нормална сила и за огъващ момент. Частта от напреженията вследствие на нормалната сила се определят с пълната широчина на плочата, тези, вследствие на огъващия момент се определят със съдействащата ефективна широчина от плочата.

2.3. Нормативен документ от 1991 г. [3]

2.3.1. Теоретична постановка

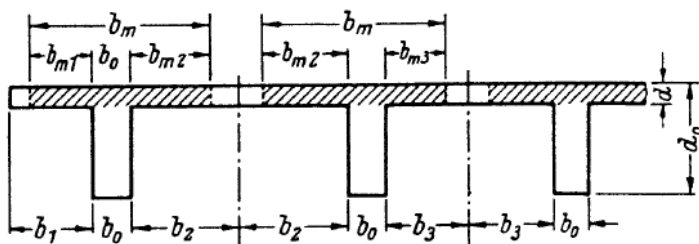
Тук ефективните действащи широчини се определят по-точно, благодарение на таблици, които се основават на изчисленията и разработките от [9]. Пренебрегва се това, че теоретичните разработки се основават на теорията на еластичността при греди с хомогенен материал. От друга страна в стоманобетона се изчислява с напукана опънна зона и при високи натоварвания с пластични деформации на натисквата зона. Тези двете предпоставки почти се уравновесяват, защото действат противодействащо. Това дава основание да се смята, че приближението към теоретичната постановка е позволено.

2.3.2. Приложение в практиката

В зависимост от това къде се определя ефективната действаща широчина се различават следните области:

- при самостоятелна или крайна греда: $b_m = b_0 + b_{m1} + b_{m2} \leq b$,
- при вътрешна греда: $b_m = b_0 + b_{m2} + b_{m3} \leq b$,

където стойностите на широчините b_{m1} , b_{m2} и b_{m3} зависят от вида на натоварването (формата на моментовата диаграма) и се определят по таблици в зависимост от отношението d/d_0 , b_1/l_0 , b_2/l_0 и b_3/l_0 .



Фиг. 2. Обозначения, служещи за определяне на ефективната действаща широчина [3]

2.4. Нормативен документ от 1993 г. [4]

2.4.1. Теоретична постановка

Като основа за създаването на този документ се използва оригиналният от 1978 година, който е създаден от CEB (Comite Euro-International du Beton), съвместно с FIP

(Federation Internationale de la Precontrainte). В следствие този документ се използва като основа за създаване на Еврокод 2 (EN 1992-1-1) [6].

2.4.2. Приложение в практиката

В раздел 5.2.3.1 с наименование Ефективна ширина на фланеца, в полза на сигурността се дава следната опростена формула за определяне на ефективната действаща ширина:

- при симетрично плочово сечение

$$b_{eff} = b_w + \frac{1}{5} l_0 \leq b = b_w + b_1 + b_2; \quad (2)$$

- при едностранно плочово сечение

$$b_{eff} = b_w + \frac{1}{10} l_0 \leq b = b_w + b_1, \quad (3)$$

където l_0 се дефинира по следния начин:

$$l_0 = 0,75l \text{ при проста греда;}$$

$$l_0 = 0,7l \text{ при вътрешно поле (} l = \text{подпорно разстояние на полето);}$$

$l_0 = 0,3l$ над междинната опора (l се дефинира като средна дължина от подпорните разстояния на двете съседни полета).

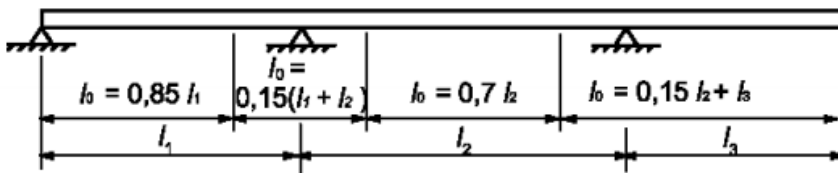
2.5. Нормативни документи след 2003 г. [5] и [6]

2.5.1. Определяне на ефективната действаща ширина според актуално действащите норми

Определянето на ефективната действаща ширина при плочогредовите конструкции, за която може да се приемат константни напрежения, зависи от геометричните размери на сечението, от вида на натоварването, от подпорното разстояние, от подпорните условия и от напречната армировка в сечението.

По правило ефективната действаща ширина се определя на база на разстоянието l_0 , което е разстоянието между нулевите точки на моментовата диаграма при плочогредови сечения подложени на огъване, при предпоставка за сравнително равномерно разпределен товар.

На фиг. 3 е показана дефиницията за получаване на l_0 :



Фиг. 3. Дефиниране на l_0 за изчисляване на ефективната действаща ширина [6]

Забележка: Дължината на конзолата трябва да бъде по-малка от половината дължина на съседното поле и отношението на съседни полета трябва да е между 2/3 и 1,5.

В числен вид стойността на b_{eff} се определя по формулата:

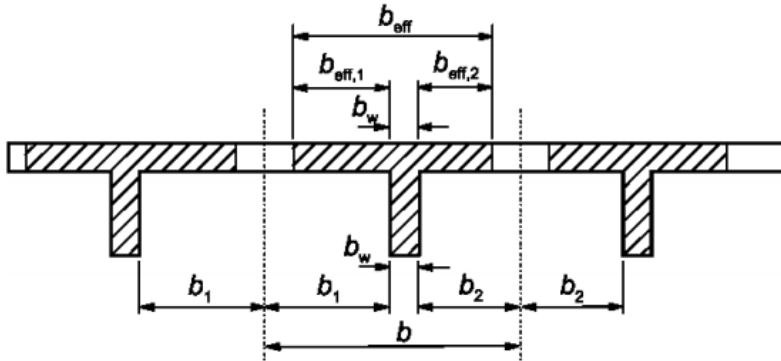
$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b, \quad (4)$$

където

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0,$$

$$b_{eff,i} \leq b_i.$$

Параметрите се определят според схемата, показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Параметри за определяне на ефективната действаща ширина [6]

В случай, че за определяне на разрезните усилия не е необходима голяма точност, се позволява за цялото подпорно разстояние приемането на една константна ефективна действаща ширина, равна на стойността, определена за средата на полето.

2.5.2. Съпоставка между DIN Fachbericht 102 [5] и Еврокод DIN EN 1992-1-1 [6]

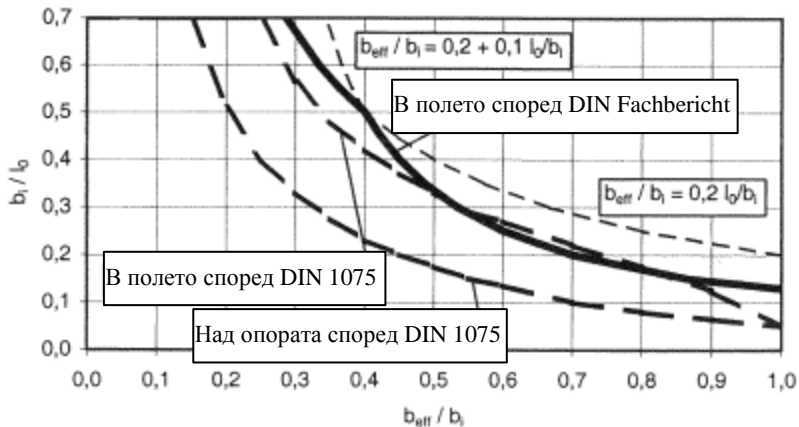
Съпоставката, която може да се направи между [5] и [6] е в граничните състояния, при които са валидни приетите изчислени ефективни действащи широчини. В [5] се говори за това, че правилата, при които се определят стойностите на ефективната действаща ширина, са валидни за всички доказателства в експлоатационно гранично състояние, а за крайно гранично състояние са с достатъчна точност. В [6] правилата за определяне на ефективната действаща ширина важат директно за всички гранични състояния.

В общия случай определените стойности на b_{eff} са в полза на сигурността за доказателствата в крайно гранично състояние. Това е така поради факта, че наличните експлоатационни натискови напрежения са по-големи от тези, с които е определена ефективната действаща ширина, което води до пластифициране и увеличаване на съдействащата ширина в сравнение с числено получената такава.

2.5.3. Сравняване между DIN 1075 [2] и DIN Fachbericht [5], респективно Еврокод [6]

Нормативният документ [5], който е предшественикът на актуално действащия Еврокод [6], който се разработва на базата на [4] за първи път опростено и в полза на си-

гурността дефинира ефективната действаща ширина с помощта на формула. Всички предшествващи нормативни документи и публикации по темата дефинират ефективната действаща ширина благодарение на таблици и графики. На фигурата по-долу е направено сравнение между ефективната действаща ширина в полето според графика от [2] (пунктирна линия) и графичния еквивалент на формулата, заложена в [5], респективно [6].



Фиг. 5. Примерно сравнение на ефективната действаща ширина в полето според DIN Fachbericht [5] и DIN 1075 [6]

Това сравнение показва, че формулата, заложена в Еврокод [6], произлиза и е базирана на всички теоретични и практически изследвания до момента, чиито резултати са изобразени посредством графики и таблици.

3. Заключение

В статията е направен обзор на нормативните документи, които на базата на теоретичните и експерименталните изследвания до средата на 20-ти век създават формули, по които се определя ефективната съдействаща ширина на натисквата зона в едно плочогредово сечение, подложено на огъване. Преди да се стигне до познатата формула от европейските стандарти за проектиране Еврокод [6], се минава през по-опростени формули, които дават насоката и едно оразмеряване в полза на сигурността.

В статията също така е направена съпоставка между отделните нормативни документи, както и сравнение, което излага произхода на заложената в Еврокод [6] формула.

В достъпната литература на български език въпросите с изчислителното моделиране на мостове са разгледани в сравнително малък брой публикации и книги. По отношение на натисковите зони при плочогредови и кутиеобразни конструкции информация може да се намери в [10]. Там също така е отделено внимание на анализа на плътни плочи, които са разгледани и в [11].

Важно за проектантската практика в България е да се изготвят и въведат наредби и ръководства за проектиране на мостове [12]. В тях би могло да има допълнителни указания, включително и с примери, за различните аспекти на изчислителното моделиране за анализ на мостовите съоръжения и техните елементи.

Благодарности

Настоящата статия е част от научноизследователска разработка на тема „Изследване на стоманобетонни елементи с широки натискови зони“, която е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heft 220 Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045. DAFStb, 1972.
2. DIN 1075 Betonbrücken Bemessung und Ausführung, 1981.
3. Heft 240 Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken. DAFStb, 3. Überarbeitete Auflage, 1991.
4. CEB-FIP MODEL CODE 1990, 1993.
5. DIN-Fachbericht 102, 2003 и 2009.
6. DIN EN 1992-1-1, 2011.
7. DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.
8. DIN 4224 Bemessung im Stahlbetonbau, 1959.
9. *Brendel, G.* Die „mitwirkende Plattenbreite“ nach Theorie und Versuch. BETON-UND STAHLBETONBAU 55. Jahrgang Heft 8, August 1960.
10. *Топуров, Кл, Ил. Иванчев.* Стоманобетонни мостове – плочни и кутиеобразни връхни конструкции, противоземетръсно осигуряване на мостове. 2000.
11. *Николов, П.* Сравнителни изчисления на пътна мостова плоча. Втори симпозиум по мостове „Нормативи в областта на мостовете – състояние и перспективи“ – УАСГ, 2006.
12. *Николов, П.* Насоки към съдържанието на наредба за проектиране на мостове в България. 2019, // Годишник на УАСГ, бр. 52, том 3.

LITERATURE REVIEW ON THE TOPIC OF DETERMINING THE EFFECTIVE WIDTH OF FLANGES IN T-BEAMS SUBJECTED TO BENDING

P. Vasilev¹

Keywords: effective width of flanges, T-Beams, bending

ABSTRACT

Determining the effective width of the pressure zone is an important stage in the design of reinforced concrete T-Beams subjected to bending. This problem has been under development for more than 100 years.

A previous publication [10] examines the period from the beginning to the middle of the 20th century and lays the theoretical foundations as well as the principle of work of reinforced concrete T-Beams subjected to bending.

This paper traces the latest scientific and applied science achievements, goes through a series of normative documents until it reaches the well-known formula of European standards Eurocode.

¹ Plamen Vasilev, Eng. PhD Student, Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: plamen_www@yahoo.com