



Получена: 30.04.2020 г.

Приета: 05.06.2020 г.

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

П. Василев¹

Ключови думи: ефективна съдействаща 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 статията се разглеждат научните и научно-приложни достижения от началото до средата на 20-ти век. С помощта на статия от 1960 година, която обединява и коментира всички изследвания до тогава, се прави обзор на научните постижения и развитие по темата.

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 си 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 стъблото, както и разположението на сумарната натискова 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 плочогре-

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

довите 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.

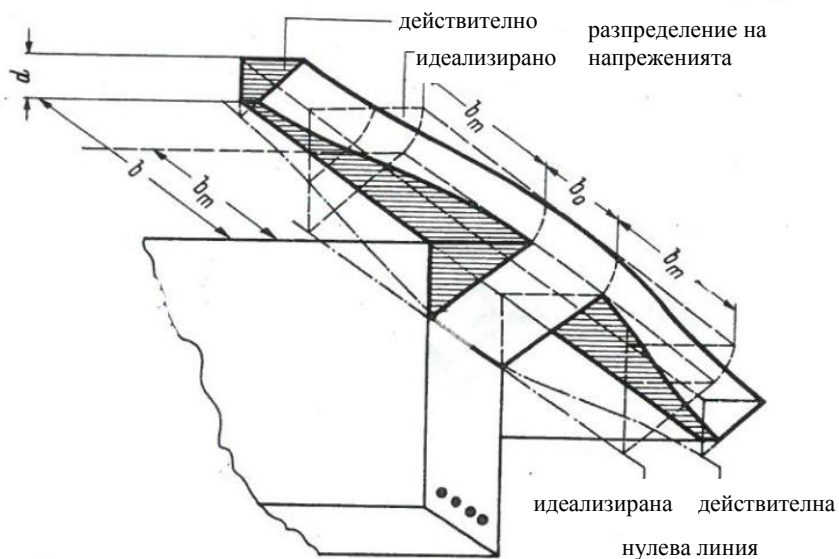
2. Проучени разработки

2.1. Публикации от 1921 г. [1] и 1924 г. [2]

2.1.1. Теоретична постановка

При огъване на плочогредовото сечение ефективността на плочата се активира благодарение на коравината на плочата на срязване и на огъване. Колкото по-тънка е плочата, толкова повече коравината на срязване има водеща роля при определяне на ефективната ширина от плочата, която има роля в огънатата коравина на цялото плочогредово сечение. В разгледаните теоретични изследвания се вземат под внимание много тънки плочи, които работят с тяхната коравина в равнината на плочата (коравината на срязване). Това означава, че в тези изследвания се пренебрегва коравината на плочата на огъване.

Силите на срязване в сечението между стеблото (гредата) и плочата действат като сили на опън в стеблото и сили на натиск в плочата. С отдалечаване от стеблото натисковите напрежения в плочата намаляват. Това се обяснява от факта, че с отдалечаване от стеблото коравината на срязване в плочата намалява.



Фиг. 1. Приблизително разпределение на натисковите напрежения в едно плочогредово сечение [7]

Изчисляването на разпределението на напреженията в плочата е свързано с много трудности. На фиг. 1 е изобразено едно приблизително разпределение на натисковите напрежения в плочата при огъване на плочогредовото сечение.

На схемата се наблюдават следните два ефекта, касаещи действителното разпределение на натисковите напрежения:

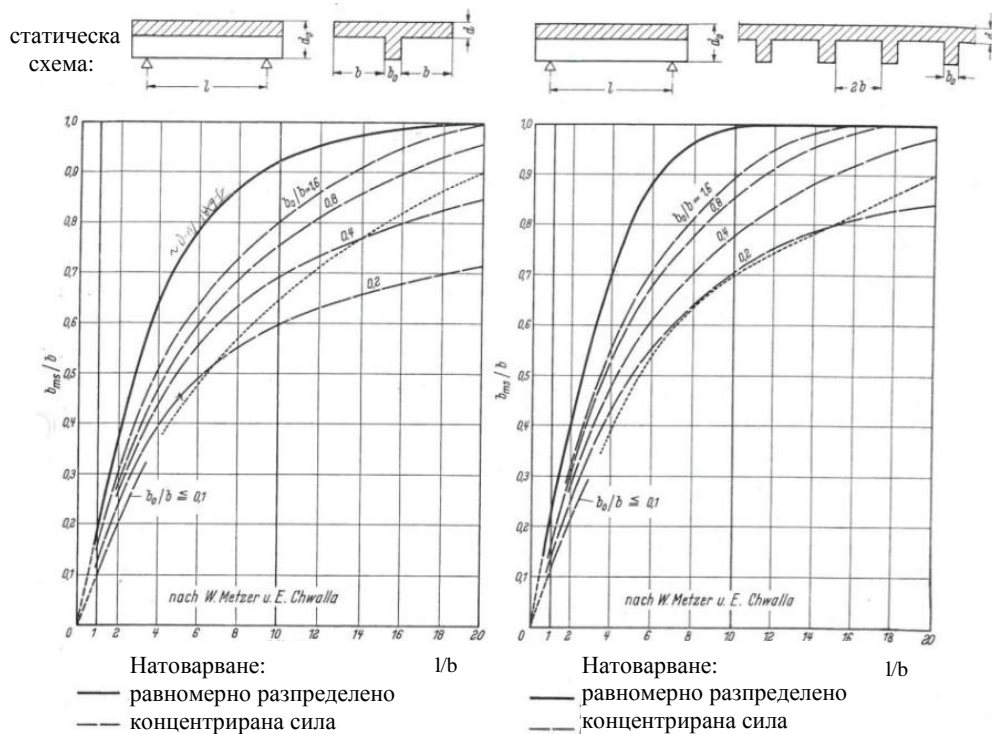
- Благодарение на коравината на плочата на огъване натисковите напрежения от долната страна на плочата са по-малки от тези от горната страна.
- С отдалечаване от гредата (стеблото) намалява ефектът свързан с коравината на плочата на срязване (сили на срязване T) и вследствие на натисковите напрежения се доближават до нулеви.

2.1.2. Приложение в практиката

В практиката от съществено значение е големината на максималното натисково напрежение над стеблото, както и разположението на сумарната натискова сила по височина, с цел намиране на разстоянието d за изчисляване на армировката в гредата при огъване.

Новата ефективна ширина на плочата се дефинира, като към действителната ширина на плочата от двете страни на стеблото (гредата) се добавя една ефективна ширина b_m . В зависимост от това дали плочата със своето въздействие работи повече с коравината си на срязване или с тази на огъване, се получава различно разпределение на натисковите напрежения. Ефективната ширина на плочата вследствие коравината ѝ на срязване се отбелязва с b_{ms} . Тя се определя при теоретична предпоставка, при която не се взема под внимание коравината на плочата на огъване. Логично ефективната ширина b_{ms} е винаги по-малка от цялата b_m , при която са отчетени и двата ефекта (коравина на огъване и коравина на срязване).

2.2. Публикации от 1929 г. [3] и 1936 г. [4]



Фиг. 2. Ефективна ширина в средата на полето [7]

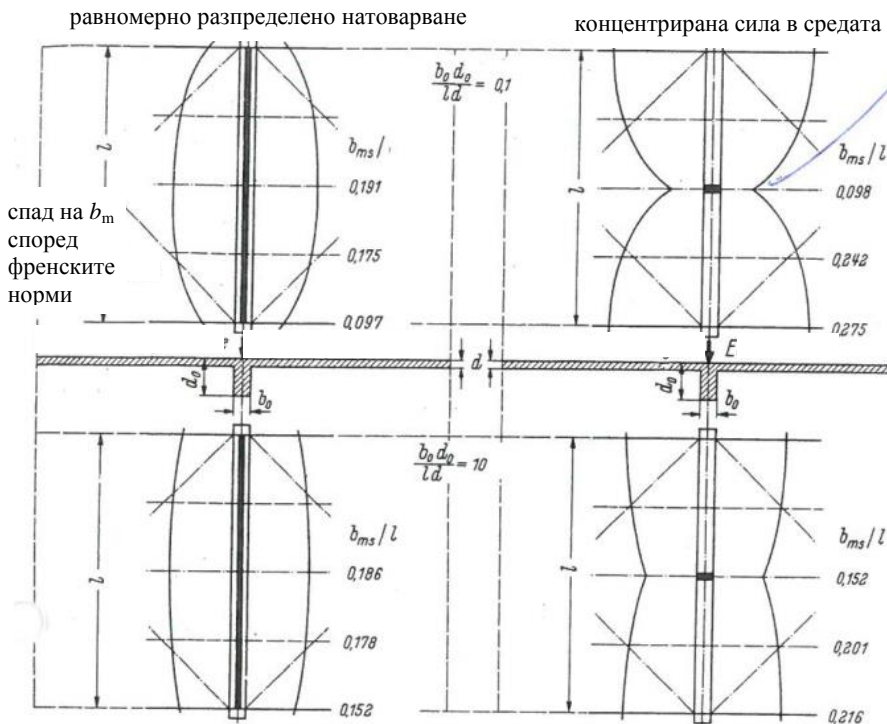
2.2.1. Теоретична постановка

Разработките са свързани с влиянието на подпорното разстояние и вида на натоварването за определяне на ефективната ширина. При разгледаната теоретична постановка се определя ефективната ширина b_{ms} , като се пренебрегва коравината на плочата на огъване. Това е теоретична постановка, при която определената съдействаща ширина е винаги по-малка от действителната. В зависимост от геометрията на сечението тази разлика може да бъде пренебрежимо малка.

2.2.2. Приложение в практиката

С помощта на графика в зависимост от подпорното разстояние се определя ефективната ширина във функция на наличната ширина на плочата за средата на една проста греда. Прави се разлика за това дали натоварването е от една концентрирана сила в средата на плочогредовото сечение или е от равномерно разпределен товар, както и за това дали плочата е със свободен ръб или плочогредовото сечение е част от непрекъсната гредова плоча, при която преместванията на ръба на плочата са възпрепятствани.

При едно сравнение на графиките от фиг. 2 относно това дали натоварването е от една концентрирана сила в средата на полето (пунктирна линия) или от равномерно разпределен товар (непрекъсната линия) се наблюдава едно намаляване на ефективната ширина при концентрираното натоварване. Теоретично това се обяснява с факта, че там, където се появи заостряне (рязка смяна на посоката) в моментната диаграма, се наблюдава свиване на ефективната ширина. Този ефект е илюстриран на фиг. 3, където с помощта на графика се определя промяната на ефективната ширина b_{ms} (коравината на плочата на огъване не е взета под внимание) по дължината на гредата.



Фиг. 3. Ефективна действаща ширина според Chwalla (коравината на плочата на огъване е пренебрегната) [7]

Когато ръбът на плочата при плочогредовото сечение на мястото на подпиране на гредата е свободен, тогава според теорията на плочите ръбовото напречно напрежение в плочата е $\sigma_b = 0$. Това води до едно сериозно намаляване на ефективната широчина в свободните краища. Това се обяснява с факта, че именно тук от свободния край на плочата тепърва започва предаването на срязващите сили от гредата към плочата.

Всички тези графични резултати, направени при изследване на проста греда, важат и за непрекъсната греда, при предпоставка, че заменим подпорното разстояние l с разстоянието l_0 между точките, в които моментът е нула. Също така, изследванията до тук бяха направени при предпоставка на равномерно разпределен товар или на сила в средата на полето. Всички други видове натоварвания могат да се представят като функция на тези две и по този начин да се определят ефективните широчини във всички сечения на изследвания елемент.

2.3. Публикация от 1952 г. [5]

2.3.1. Теоретична постановка

Досега беше разгледано само влиянието на коравината на плочата на срязване при определянето на ефективната действаща широчина. При огъване на плочогредовото сечение плочата с нейната коравина на огъване също участва в поемането на огъващите моменти. Участието на плочата е толкова по-голямо, колкото е по-голямо отношението на дебелината на плочата d към височината на плочогредовото сечение d_0 .

Сумарната ефективна действаща широчина се дефинира като сума от тази, произлизаща от коравината на плочата на срязване и тази, произлизаща от коравината на плочата на огъване ($b_m = b_{ms} + b_{mb}$). Задачата е, според геометрията на плочогредовото сечение, да се определи влиянието на двете компоненти към големината на общата ефективна действаща широчина.

2.3.2. Приложение в практиката

След като бъдат определени стойностите на b_{ms} и b_{mb} и с отчитане на тяхната тежест в сумарния инерционен момент, може да се изчисли общата ефективна действаща широчина. Тъй като този начин е много трудоемък, за практиката са изработени таблицы, чрез които (в зависимост от подпорното разстояние и геометричните характеристики на сечението) може да се определи ефективната действаща широчина b_{mb} за средата на полето при едно равномерно разпределено натоварване. Примерно при отношение $l/b \geq 4$, стойността на $b_{mb} = b$, при $l/b \leq 1$ тогава частта от ефективната действаща широчина, която отговаря за коравината на огъване $b_{mb} = 0,5b$.

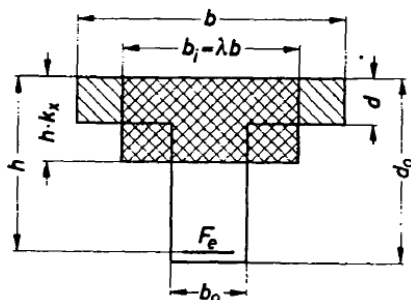
2.4. Публикация от 1959 г. [6]

2.4.1. Теоретична постановка

В този нормативен документ се говори за заместваща широчина b_i , която представлява ефективната действаща широчина, която се определя по теорията на еластичността.

2.4.2. Приложение в практиката

Заместващата ширина b_i е част от цялата ширина b ($b_i = \lambda b$). Коефициентът λ се изразява в проценти и се определя единствено от геометричните характеристики на напречното сечение.



Фиг. 4. Графично изобразяване на заместващата ширина b_i ; [6]

2.5. Публикация от 1960 г. [7]

2.5.1. Теоретична постановка

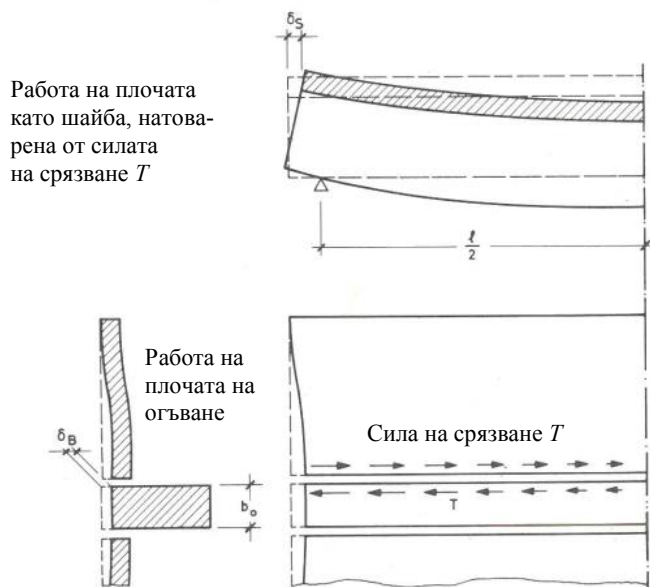
Принципът на работа на едно плочогредово сечение е следният: плочата работи като натиснат пояс, гредата като стебло и армировката в нея като опънат пояс. За да може да се осигури една корава връзка на срязване между пояса на натиск и този на опън, в стеблото и в плочата е нужна напречна армировка. Благодарение на коравата връзка на срязване, надлъжното удължение в мястото на присъединяване на стеблото към плочата в плочата и в стеблото, при огъване е еднакво. С отдалечаване от мястото на присъединяване на стеблото към плочата, удълженията (напреженията) в плочата намаляват. Така се определя широчината от плочата, която ефективно работи като натиснат пояс при поемане на огъващия момент. От мястото на стъпване на плочогредовото сечение към полето ефективната широчина от плочата се активира и нараства. Това може да се обясни с главните траектории на натисковите и опънните напрежения. От мястото на подпиране към полето се развиват натисковите напрежения, като за оразмеряването на огъване се взема под внимание натисковата компонента в надлъжно направление.

2.5.2. Приложение в практиката

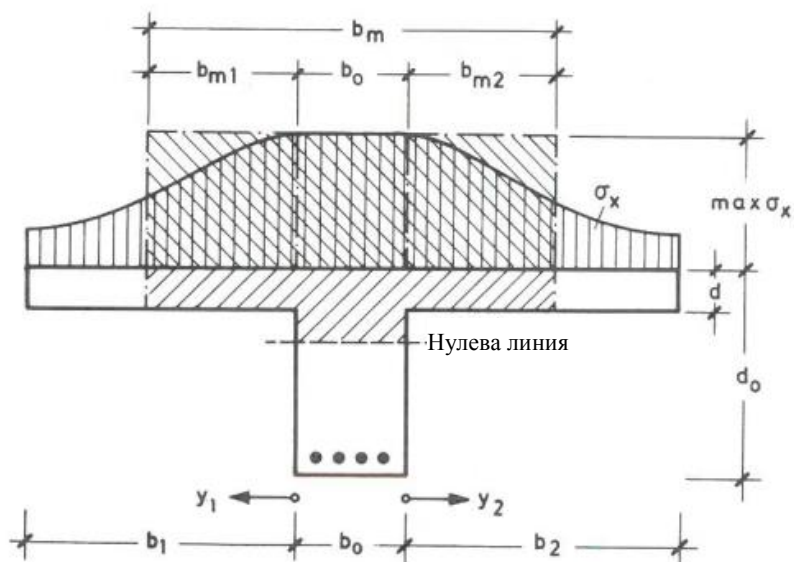
За определяне на ефективната действаща широчина от плочата се въвежда по дължината на връзката между стеблото и плочата една срязваща сила T . Тази сила натоварва плочата в равнината ѝ. На следващата графика е показано по какъв начин се деформира плочата при активиране на коравината и на срязване и тази на огъване.

За да се определи точното разпределение на напреженията, е необходимо решаването на диференциални уравнения. В практиката, в повечето случаи е достатъчно определянето на ефективната действаща широчина от таблици, в които се дефинира една заместваща широчина.

Следващата графика представя едно друго изобразяване на действителните и идеализираните надлъжни напрежения, което е най-близко до нормативната база за определяне на действащата съдействаща широчина.



Фиг. 5. Въздействие на плочата при едно плочогредово сечение според Брендел [7]



Фиг. 6. Сравнение между действителните и идеализираните константни ръбови напрежения при проста греда [7]

Тъй като в широчината на стеблото b_0 не се наблюдават промени на надлъжните натискови напрежения, то условията за еднакви натискови напрежения трябва да бъдат изпълнени само извън широчината на стеблото:

$$b_{m1} \max \sigma_x \approx \int_0^{b_1} \sigma_x dy_1 ;$$

$$b_{m2} \max \sigma_x \approx \int_0^{b_2} \sigma_x dy_2 .$$

Ефективната действаща ширина, в полза на сигурността се определя по линейната еластична теория, при предпоставка за ненапукано сечение (първо гранично състояние) според напреженията в плочогредовото сечение. Ефективната действаща ширина b_{eff} е тази, която се получава при предпоставка за еднакви натискови напрежения, които отговарят на максималните напрежения над стеблото на плочогредовото сечение. Стойността на b_{eff} зависи от съответното подпорно разстояние l_0 , а също така и от вида натоварване и подпирането на конструкцията.

В надлъжна посока е налична промяна на ефективната действаща ширина. В близост до краен опорен лагер ефективната действаща ширина е по-малка, отколкото в полето. Също така, тя е по-малка в близост до междинна опора, отколкото в полето. Това е така, защото от опората към полето тепърва се натрупва срязващата сила T , с която се описва определянето на ефективната действаща ширина.

3. Заключение

В статията е направен обзор на литературните източници до средата на 20-ти век в Германия по темата за изследване на стоманобетонни елементи с широки натискови зони и в частност определяне на ефективната съдействаща ширина на натисковата зона в едно плочогредово стоманобетонно сечение, подложено на огъване. Изследванията са както теоретични, така и експериментални и дават една основа за бъдещо развитие на науката по темата. Публикацията на проф. Брендел [7] от 1960 година изяснява принципа на работа на плочогредовото сечение, подложено на огъване. Приложение в практиката намират изработените графики и таблици, на базата на които в бъдеще се стига до познатата консервативна формула от европейските стандарти за проектиране Еврокод.

Благодарности

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bortsch, R.* Die mitwirkende Plattenbreite. Bauingenieur H.23, 1921.
2. *Karman, Th. v.* Die mittragende Breite. August-Föppl-Festschrift, 1924.
3. *Metzer, W.* Die mittragende Breite. Luftfahrtforschung, 1929.

4. *Chwalla, E.* Die Formeln zur Berechnung der „voll mittragende Breite“ dünner Gurt- und Rippenplatten. Stahlbau H. 10, 1936.
5. *Marguerre, K.* Über die Beanspruchung von Plattendägern. Stahlbau H.8, 1952.
6. DIN 4224 Bemessung im Stahlbetonbau, 1959.
7. *Brendel, G.* Die „mitwirkende Plattenbreite“ nach Theorie und Versuch. BETON- UND STAHLBETONBAU 55. Jahrgang Heft 8, August 1960.

EFFECTIVE WIDTH OF FLANGES IN T-BEAMS THAT WORKS ON BENDING – DEVELOPMENT OF THE TOPIC TO THE MIDDLE OF THE 20TH CENTURY

P. Vasilev¹

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

ABSTRACT

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

The paper comments on the scientific and applied scientific achievements from the beginning to the middle of the 20th century. With the help of an article from the 1960s, which brings together and comments on all research so far, an overview of scientific achievements and developments on the topic is made.

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