ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ СОФИЯ

Том Volume 55 2022 Брой Issue 3

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

Получена: 24.06.2022 г.
Приета: 08.07.2022 г.

ПОВЕДЕНИЕ НА КУТИЕОБРАЗНО СТОМАНОБЕТОННО СЕЧЕНИЕ С ШИРОКА НАТИСКОВА ЗОНА ПРИ НЕСИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ

П. Василев[1], П. Николов[2]

Ключови думи: *кутиеобразно стоманобетонно сечение, промяна на профила на сечението, несиметрично натоварване*

РЕЗЮМЕ

Изпълнението на кутиеобразното стоманобетонно сечение, като надлъжен елемент при стоманобетонните мостове, е много разпространено. Това е така, поради високата огъвна коравина, както и високата коравина на усукване на сечението, при относително малък разход на материал.

Изследването на поведението на кутиеобразното сечение под несиметрично натоварване в зоните, в които липсват напречни елементи, допринасящи за увеличаване на коравината на усукване, е важен етап от проектирането на конструкцията.

Асиметричната част на един несиметричен товар предизвиква както усукване, така и промяна на профила на сечението. В настоящата статия ще бъде обърнато внимание именно на ефектите, възникващи от промяна на профила на сечението.

1. Въведение

Едно много разпространено напречно сечение при стоманобетонните мостове е кутиеобразното сечение. То може да бъде, както едно-, така и многокамерно. Предимствата, които имат кутиеобразните връхни мостови конструкции, са високата огъвна коравина, както и високата коравина на усукване, при малък разход на материал.

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

[2] Петър Николов, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения", УАСГ, бул. „Хр. Смирненски" № 1, 1046 София, e-mail: nikolov_fte@uacg.bg

Изпълнението на кутиеобразни връхни конструкции в повечето случаи е без напречни елементи в полето и с напречни греди в местата на подпиране. Голямото предимство на това сечение, както в експлоатация, така и по време на изпълнението (например, по метода на потактовото избутване) е голямата коравина на усукване при ексцентрично натоварване.

Целта на настоящата статия е показване на поведението на кутиеобразно сечение в зоните, в които липсват напречни елементи, допринасящи за увеличаване на коравината на усукване. Редица експериментални изследвания доказват, че разпределението на усилията между отделните стебла при едно ексцентрично натоварване не е равномерно, както се приема при предпоставка за „кораво на усукване сечение“, например при изчисление на конструкцията като пръстов модел. Стеблото, което се намира в близост до натоварването, получава много по-голям товар в сравнение с това, което е по-отдалечено от него. Непознаването или не отчитането на този факт може да доведе до неправилно проектирани напречни сечения и съответно – до образуване на пукнатини.

Именно поради тази причина е изключително важно изследването на проблема, както и даването на решение, което е приложимо в практиката.

2. Поведение на кутиеобразно стоманобетонно сечение без напречни елементи

Пътната плоча, която е част от връхната конструкция на стоманобетонен мост, има за цел да поеме натоварването от превозните средства и да го разпредели към останалите елементи, от които е изградена връхната конструкция. Това разпределение се осъществява благодарение на съответните коравини, както на отделните елементи, така и на цялото напречно сечение. Отделните елементи на връхната конструкция, а именно пътната плоча, стеблата и долната плоча, са кораво свързани и образуват една пространствена конструкция, която обуславя разпределението на усилията. Елементите могат да бъдат както армирани с обикновена армировка, така и предварително напрегнати.

Въвеждат се геометрични ограничения, при които дадена връхна конструкция може да се изчисли по опростения пръстов модел, като непрекъсната греда или рамкова конструкция. Основна предпоставка за този опростен метод на изчисление е запазването на формата на напречното сечение, дори при едно ексцентрично натоварване на усукване.

Фиг. 1. Геометрични размери на кутиеобразното сечение [1]

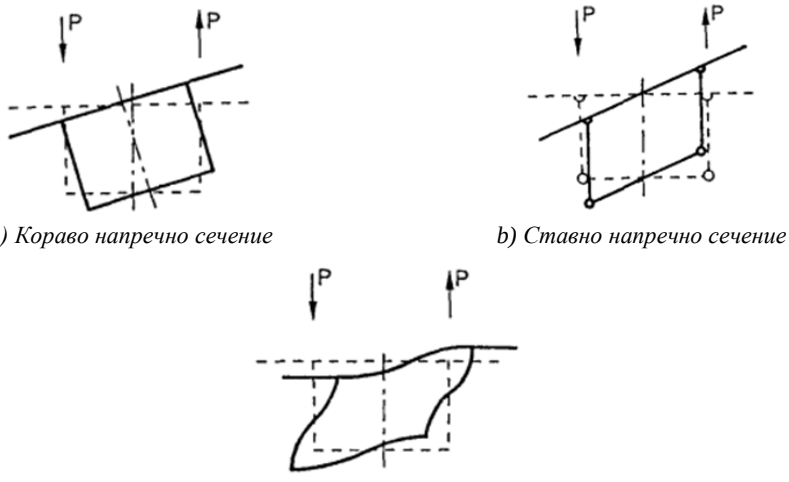
В случаите, в които геометричните размери на напречното сечение удовлетворяват посочените във фиг. 1 ограничения, е позволено определянето на надлъжните и съответните им напречни напрежения по теорията на безкрайно коравия прът на усукване. Това е условие, което е необходимо при изчисляването на връхната конструкция чрез пръстов модел, при който се провежда самостоятелно изчисляване в надлъжно направление.

Когато, поради малката коравина на огъване на отделните елементи на връхната конструкция или поради липсата на напречни елементи, напречното сечение не може да си запази началната форма при ексцентрично натоварване, тогава не би било възможно поотделното изчисляване в надлъжно и напречно направление. В този случай се появяват допълнителни премествания, при които надлъжното и напречното решение си влияят взаимно. Този ефект се нарича „промяна на профила на сечението“. Необходимо е отчитане на неравномерното натоварване на отделните стебла, както и огъването в напречно направление, поради промяна на профила на сечението.

3. Еднокамерно кутиеобразно сечение – принцип на действие

Симетричното натоварване в напречно направление в по-голямата си част е резултат от собственото тегло на конструкцията и от симетрично разпределения подвижен товар. При такова натоварване е възможно изчисляване на конструкцията в надлъжно направление, при предпоставката за кораво напречно сечение, което не си променя формата и съответно – получаване на разрезните усилия (огъващ момент, срязваща сила, нормална сила и евентуално усукващ момент). По този начин, по метода на „прътовата“ статика, се провежда изчисление в надлъжно направление, без да се отчита напречното решение, което следва да се изследва самостоятелно, като рамка.

Докато при изчисляването на напречното сечение в полето (област без напречни „корави“ елементи) при симетрично натоварване не се очакват допълнителни ефекти, то при несиметрично натоварване надлъжното и напречното решение си влияят взаимно – при изчисляване на надлъжната посока е необходимо отчитането на фактори, предизвикани от промяната на профила в напречната посока.



a) Кораво напречно сечение *b) Ставно напречно сечение*

c) Напречно сечение с нормална напречна коравина

Фиг. 2. Премествания при кутиеобразно сечение при асиметрично натоварване, в зависимост от напречната коравина [1]

На фиг. 2 е показано влиянието на напречната коравина върху преместванията и промяната на формата на сечението при асиметрично натоварване.

Случай „*a*“ може да бъде разгледан като горна граница, която може да се достигне при едно безкрайно кораво напречно сечение. Това поведение може да бъде постигнато чрез напречни елементи през малки разстояния, които закоравяват напречното сечение. Това води до едно неикономично проектиране, поради голямото собствено тегло на конструкцията и по-сложното изпълнение. Кутиеобразното сечение само се завърта без да се наблюдава промяна на формата.

Случай „*b*“ представлява долната граница, при която няма никаква коравина в напречна посока, със ставна връзка между отделните елементи. Това поведение в напречната посока не въздейства по никакъв начин на надлъжното решение и разпределението между отделните стебла се осъществява по простият „лостов“ механизъм.

Действителното поведение на едно кутиеобразно сечение (случай „*c*“), като връхна конструкция на стоманобетонен мост, се намира между двата гранични случаи. Към кой случай ще се доближи повече, зависи от много фактори – коравина на огъване на пътната плоча, коравина на усукване на сечението, връзка между отделните елементи, както и разстояние между напречните елементи.

Разчленяването на едно несиметрично натоварване (линеен товар или единична сила върху едно от стеблата) на симетрична и асиметрична част и съответното поведение на кутиеобразното сечение е показано на фиг. 3.

Симетричната част от натоварването води до огъване в надлъжна посока и до напрегнато състояние, което може да се реши по правилата на статиката с помощта на прътов модел. При много широки пътни плочи е необходимо при разпределение на надлъжните напрежения да се отчете влиянието на съдействащите широчини. Това влияние е възможно да бъде отчетено при изчисляване на връхната конструкция с помощта на прътов модел.

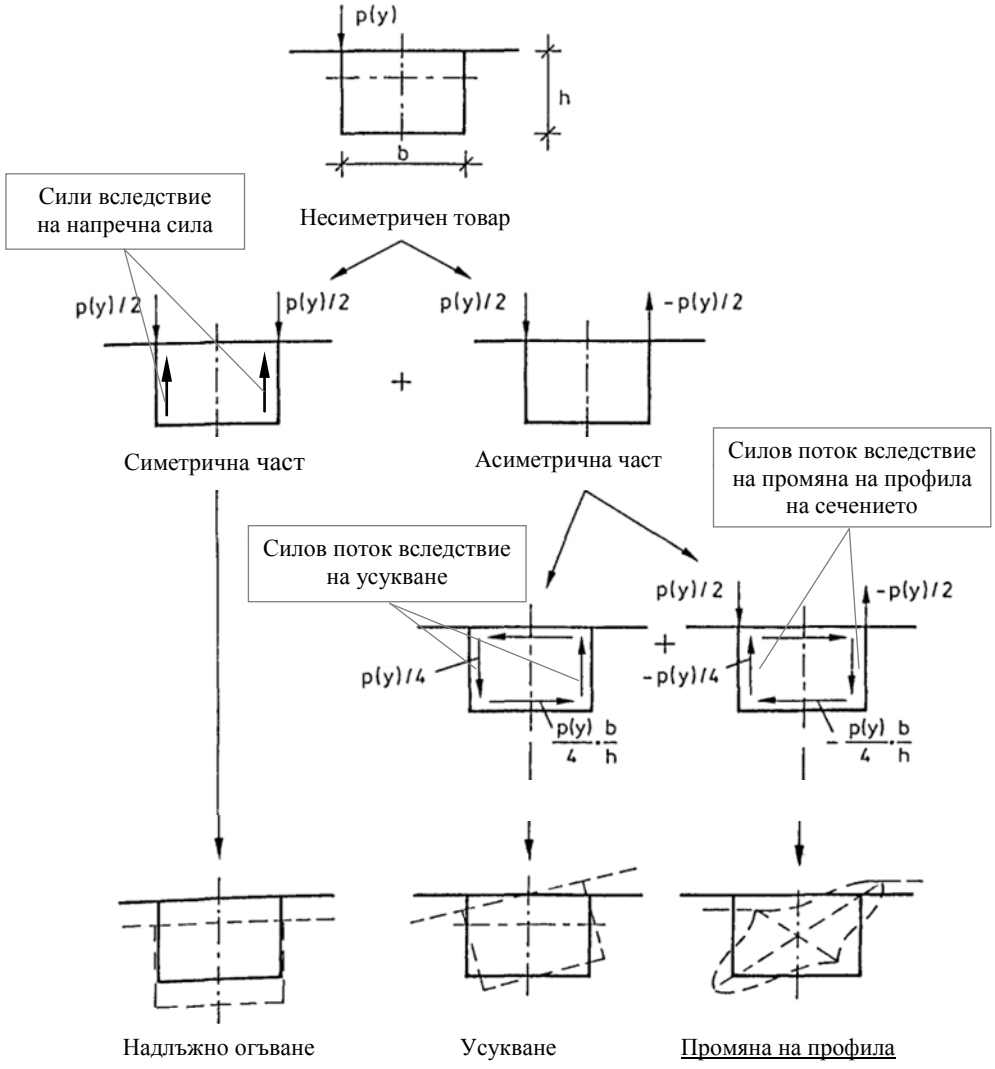
Асиметричната част от натоварването сама по себе си може да бъде разделена на две части. Първата и по-лесна за разбиране част е тази на завъртане, при която от значение е коравината на усукване на сечението. Тук все още нямаме промяна на профила на сечението, а единствено едно „чисто“ завъртане. Дотук поведението на напречното сечение отговаря на едно кораво, неикономично проектирано сечение, с достатъчен брой и разположени на малки разстояния напречни закоравяващи елементи. В практиката обаче това не е целесъобразно и поради тази причина сеченията в полето не разполагат с гъсто разположени напречни елементи. Тогава се проявява втората част на асиметричното натоварване, а именно тази, която води до промяна на профила на сечението. Формата на сечението не се запазва и възлите диагонално или се отдалечават, или се приближават един към друг.

Поради тези премествания, в резултат на промяната на профила на сечението, се появяват допълнителни усилия, които са резултат от неравномерното разпределение на усилията между отделните стебла на кутиеобразното сечение.

За да бъде възможно изчисляването в надлъжно направление на стоманобетонен мост с кутиеобразно сечение чрез прътов модел, е необходимо въвеждането на допълнителни фактори, които отчитат неравномерното разпределение на усилията между отделните стебла, в резултат от промяната на профила на сечението при несиметрично натоварване. С получения фактор следва да бъде умножено съответното натоварване в прътовия модел. По-този начин може да се гарантира правилното проектиране на сечението и в частност най-натовареното стебло.

Описаните по-горе фактори се определят в зависимост от неравномерното разпределение на напречната сила между отделните стебла. Неравномерно разпределение, вследствие несиметрично натоварване, се проявява и при надлъжните напрежения при

огъване. Тъй като в крайно гранично състояние се очаква появата на пукнатини в долната плоча, които не биха се съсредоточили в областта на едно от стеблата, следва активиране на цялата армировка от широчината на плочата. Поради тази причина цялата широчина от сечението ще бъде активирана и определянето на фактори, които биха отчели частичното включване на армировката (само на част от плочата) не е необходимо.



Фиг. 3. Разчленяване на едно несиметрично натоварване на отделни по-прости силови потоци [1]

4. Заключение

В статията е разгледано поведението на кутиеобразно стоманобетонно сечение под несиметрично натоварване. Показани са геометричните граници, при които дадено

сечение би било възможно да се изчисли с помощта на прътов модел, при предпоставка за валидност на теорията на безкрайно коравия прът на усукване. В случай, че геометричните характеристики на напречното сечение не удовлетворяват посочените ограничения, напречното сечение не може да запази началната си форма при ексцентрично натоварване. Вследствие на това ексцентрично натоварване се появяват допълнителни премествания, при които надлъжното и напречното решение си влияят взаимно. Ефектът на промяна на профила на сечението може да бъде отчетен чрез изчисляването на фактори, благодарение на които можем да отчетем всички тези ефекти при оразмеряването на конструкцията с помощта на прътов модел.

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. *K. Kordina, E. Grossert*. Rechnerische Untersuchungen zum Lastabtrag massiver unausgesteifter Kastenträger. 1988.

BEHAVIOR OF A BOXED REINFORCED CONCRETE SECTION WITH A WIDE PRESSURE ZONE UNDER ASYMMETRIC LOAD

P. Vasilev[1], P. Nikolov[2]

Keywords: *boxed reinforced concrete section, profile deformation, asymmetric load*

ABSTRACT

The implementation of a boxed reinforced concrete section as a longitudinal element in massive bridges is very common. This is due to the high bending stiffness, as well as the high torsional stiffness of the section with low material consumption.

The study of the behavior of the box-shaped section under asymmetric load in the areas where there are no transverse elements contributing to the increase of torsional stiffness is an important stage of the dimensioning of the structure.

The asymmetrical part of an eccentric load causes both torsion und profile deformation. The present paper pays attention to the effect of profile deformation.

[1] Plamen Vasilev, Eng. PhD Student, Dept. “Road Construction and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: plamen_www@yahoo.com

[2] Peter Nikolov, Assoc. Prof., Dept. “Road Construction and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: nikolov_fte@uacg.bg