

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОСИМОСПОСОБНОСТТА НА ВЪЗЕЛ В МОСТОВА КОНСТРУКЦИЯ ЧРЕЗ ОПРОСТЕНИ МЕТОДИ

И. Керелезова<sup>1</sup>

*Ключови думи:* механика на разрушението, носимоспособност, стоманен мост

*Научна област:* механика на разрушението

### РЕЗЮМЕ

Представената разработка е част от проект за определяне на носимоспособността на съществуващ стоманен мост. В предходни изследвания са използвани нелинейни методи на механика на разрушението за определяне на носимоспособността на връзката главна-второстепенна греда на мостовата конструкция. В настоящата статия е предложено опростено определяне на тази носимоспособност. Целта на тези изчисления е да се проконтролират резултатите от нелинейните решения. Представени са някои сравнения и заключения.

### 1. Въведение

Настоящата работа е част от цялостно изследване на поведението на възел от мостова конструкция. Разглежданата конструкция е на стоманен мост, който се намира в Дания и е влязъл в експлоатация през 1937 г. Съединенията на отделните елементи в конструкцията са чрез нитове. Като статическа схема мостът представлява герберова греда. През последните години във връзката между главната и второстепенната греда на моста се наблюдава появата на пукнатини. Целта на цялостното изследване на моста е да се определи настоящата носимоспособност на възела на мостовата конструкция. Причина за това е фактът, че появата на допълнителна става в тази определена конструкция би довело до нейното разрушение.

В други части от изследването са направени множество модели по МКЕ на съединението на моста. С методите на нелинейната механика на разрушението са получени резултати както за носимоспособността на възела, така и за развитието на пукнатините. В настоящата статия са представени резултати от опростени модели и

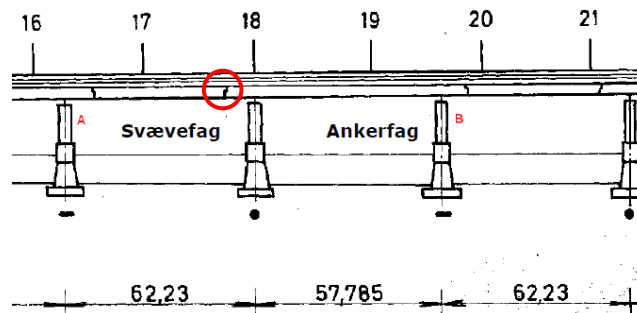
---

<sup>1</sup>Ирина Керелезова, доц. д-р инж., кат. „Строителна механика”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: igk\_fce@uacg.bg

изчисления, базирани на линейната механика на разрушението. Цел на тези изчисления е да се получи допълнителна информация за носимоспособността на възела и да се калибрират резултатите от сложните математически модели.

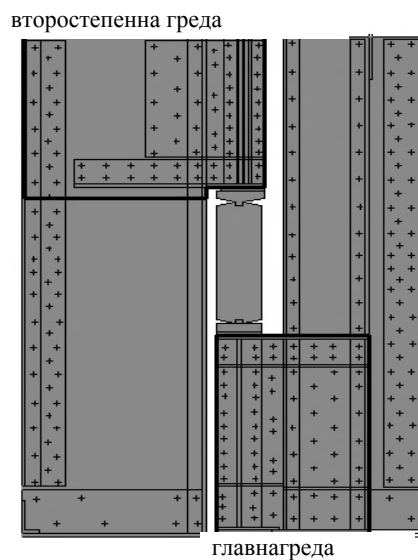
## 2. Схема на моста и на връзката главна-второстепенна греда

Както беше споменато, статическата схема на моста в надлъжно направление представлява герберова греда. На фиг. 1 е показана схема на моста. С кръг е означено местоположението на проблемния участък, а именно връзката главна-второстепенна греда.



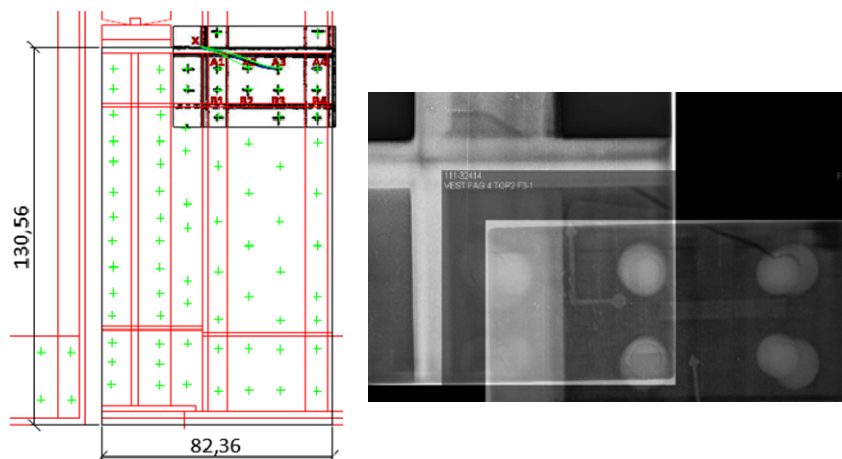
Фиг. 1. Статическа схема на моста и местоположение на проблемната зона

На фиг. 2 е показано детайлно ставното съединение на двете греди. От тази фигура се вижда, че връзката е шарнирна. Също така се виждат, макар и само в поглед отпред, многобройните планки и усилители, които съставят сеченията на двете греди. Означено е и местоположението на нитовите отвори.



Фиг. 2. Осъществяване на ставната връзка между гредите

На фиг. 3 е показано местоположението на пукнатините във връзката и рентгеновото им заснемане, любезно предоставено от датските ни партньори [4]. В случая е показан детайл от главната греда, но пукнатини се наблюдават и във второстепенната греда.



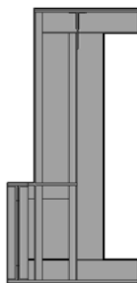
**Фиг. 3. Местоположение на пукнатините и рентгеново заснемане**

Авторите на проекта, част от който е и настоящата статия, са направили анализ на базата данни на заснетите пукнатини по дължина на моста. В резултат е установено, че повечето пукнатини са с идентичен характер. Това позволява да се приеме, че се наблюдава един тип пукнатина за главната греда и втори тип за второстепенната. В представената статия е изследвана типова пукнатина в главната греда.

### **3. Кратко описание на използвания модел**

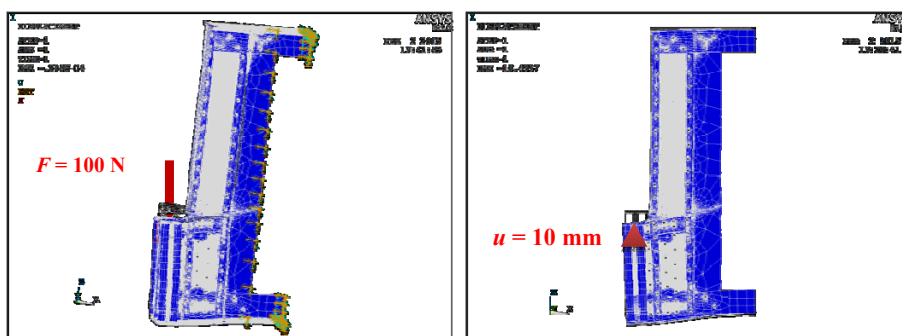
За настоящото изследване са използвани резултати, получени от предходни изследвания на моста, описани подробно в [3] и [5]. Тук за яснота на изложението моделите ще бъдат описани накратко.

За осъществяване на изследването е направен модел по МКЕ на част от главната греда във възела на моста. Схема на моделираната част е показана на фиг. 4.



**Фиг. 4. Схема на част от главната греда, използвана в модела**

Този модел е тримерен, като в него са включени всички усилващи и закрепващи планки според конструктивния чертеж на моста [6]. Нанесени са всички отвори за нитове, като връзката между отделните елементи в модела се осъществява именно в тези места. На фиг. 5 са показани мрежата от крайни елементи и натоварването, използвани за изследването.



Фиг. 5. Модел и натоварване, използвани са изследването

В мястото на отделяне на детайла от останалата част от главната греда е поставено идеално запъване. В предходно изследване [7] беше доказано, че влиянието на пружинни опори на това място е значително само в началния етап от натоварването, но не и в крайния, в близост до момента на разрушение. От друга страна, в настоящата работа се набляга на опростена разработка, което още веднъж позволява използването на идеално запъване. Както се вижда от фиг. 5, моделът е решен в два варианта – контрол по преместване и контрол по сили. Извършени са множество линейни решения при различни дължини на пукнатината. Пътят на пукнатината е взет от данните, предоставени от [4]. След всяко извършено решение е иззета вътрешната енергия на тялото. Подобно решение е извършено при предходните изследвания на авторите на научната разработка с цел да се извърши по-нататъшно решение с нелинейния модел на Нилсен за развитие на пукнатини и описан подробно в [5] и [8]. Тук тези решения са разширени с контрол по преместване. Базата данни за вътрешната енергия на тялото отново, както и в [5] и [8], е апроксимирана с полином, с цел да се изгладят функциите и да се получат резултати в подробни точки от дължината на пукнатината. Както е видно от фиг. 5, решенията са извършени при сила, равна на 100 N и преместване 10 mm. Стойностите за вътрешната енергия при произволна стойност на натоварването се определят от изразите както следва:

$$W(u, a) = \left(\frac{u}{u_0}\right)^2 W(u_0, a) \quad W(F, a) = \left(\frac{F}{F_0}\right)^2 W(F_0, a). \quad (1)$$

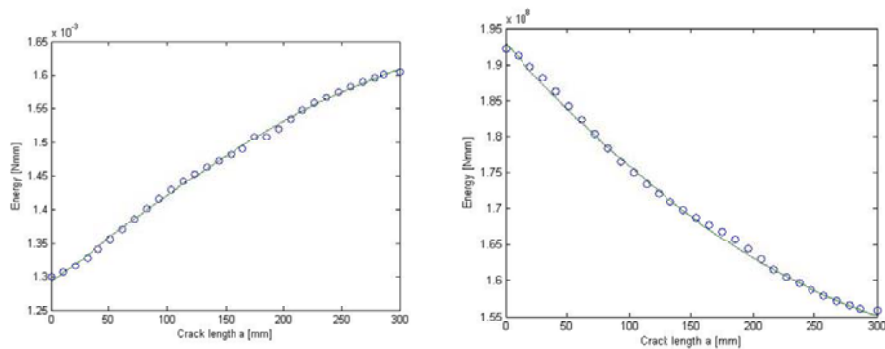
Получените функции впоследствие са използвани, за да се получат стойности за функцията на коефициента за интензивност на напреженията в зависимост от дължината на пукнатината. Това е извършено и за двата вида натоварване – контрол по преместване и контрол по сили.

Резултатите, получени от функции за коефициента за интензивност на напреженията, са анализирани и е определена носимоспособността на съединението. Тези резултати са базирани на линейна механика на разрушението. Както е известно, това е най-простият подход за определяне на носимоспособност на елемент, съдържащ

пукнатина. Получените резултати са сравнени с резултати от предходни изследвания и са представени в следващата точка на представената статия.

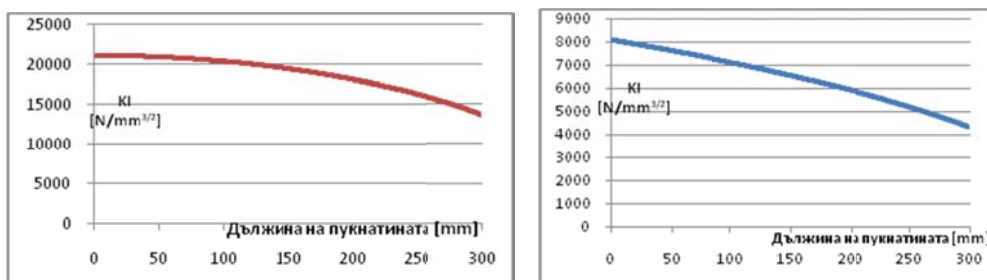
### 3. Резултати и анализи

Както беше описано по-горе, първоначално определена и отчетена е вътрешната енергия на част от главната греда. Впоследствие енергията е апроксимирана с полином. На фиг. 6 са показани зависимостите на вътрешната енергия спрямо дължината на пукнатината при силово натоварване вляво и преместване вдясно.



Фиг. 6. Вътрешна енергия в зависимост от дължината на пукнатината

Апроксимацията е извършена с полином от трета степен. На фиг. 6 може да се види разликата в разпределението на енергията в двата случая. В първия случай при контрол по сили енергията нараства, а във втория при контрол по премествания намалява, което е очакван резултат. Причина за нарастването на енергията в първия случай е, че преместването на приложната точка на силата постоянно се увеличава, а оттам и енергията расте. След като са получени апроксимационните полиноми, е изчислен коефициентът за интензивност на напреженията (КИН) при модул на еластичност  $E = 195\,000 \text{ kN/mm}^2$ . На фиг. 7 са представени зависимостите на КИН при двата вида натоварване.

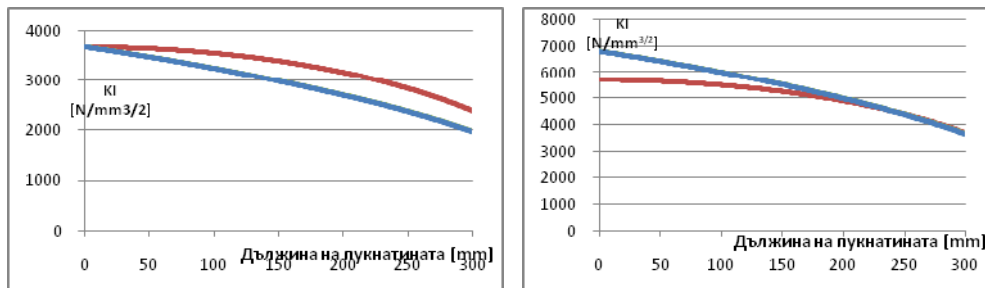


Фиг. 7. КИН в зависимост от дължината на пукнатината

Тези две решения на този етап са независими. Зависимостта от фиг. 7 вляво е определена при стойност на силата 10 kN, а диаграмата вдясно – при стойност на преместването 0,1 mm. От графиките се вижда, че и в двата случая стойността на КИН намалява с отваряне на пукнатината.

За целта на изследването е необходимо да се получи стойност на натоварването и преместването, при които тялото започва да се разрушава според линейната теория на еластичността. За да се достигне до тези стойности, е използван критерият на линейната механика на разрушението, а именно коефициентът за интензивност на напреженията да достигне своята критична стойност. Критичната стойност на КИН е изчислена на базата на енергията на разрушение за материала. Данните са предоставени от [4] и са както следва:  $G_f = 70 \text{ N/mm}$ , оттам и  $KI_C = 3695 \text{ N/mm}^{3/2}$ . Когато посочената стойност на КИН се достигне, във върха на пукнатината разрушението ще започне. Тъй като решението е в рамките на линейната механика на разрушението, се предполага, че началото на разрушението съвпада със самото разрушение.

При представеното решение се разглеждат две решения. Първо решение – при което пукнатината е с нулева дължина, т.е. изследваме КИН в ъгловата точка на конструкцията. Второ решение – изследваме КИН във върха на вече наличната пукнатина.



Фиг. 8. КИН в началото и в края на пукнатината

На фиг. 8 са показани графиките на коефициента за интензивност на напреженията при различна дължина на пукнатината за двете пояснени по-горе решения. Вляво е случаят, когато в началната точка на пукнатината е достигнат критичният коефициент за интензивност, а вдясно – случаят, когато критичната стойност на КИН е достигната в края на наличната пукнатина. Първата ситуация се достига при стойности на натоварването и преместването съответно  $F = 174550 \text{ N}$  и  $u = 0,04556 \text{ mm}$ . Втората ситуация е достигната при стойности на силата и преместването съответно  $F = 269600 \text{ N}$  и  $u = 0,084 \text{ mm}$ .

Резултатът, получен от нелинейните модели е за силата  $F = 3\,000\,000 \text{ N}$  и преместване  $u = 0,8 \text{ mm}$ .

## Заклучение

Като заключение от тези резултати може да се каже, че според линейната механика на разрушението носимоспособността на съединението е около 10 пъти по-малка от тази, получена чрез методите на нелинейната механика на разрушението. Този резултат е очакван, тъй като в нелинейните модели се отчитат много повече фактори, влияещи върху носимоспособността на тялото.

Представеният резултат се явява като долна граница на решението.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Kerelezova, I., L. Malezanov, M. P. Nielsen.* Analysis of the cracked beam joint strength of Storstrømsbroen in Denmark. International Conference on Civil Engineering, Design and Construction, Varna Free University, Varna, Bulgaria, (2014), ISBN: 978-954-322-310-7.
2. *Malezanov, Lazar, Irina Kerelezova, Mogens Peter Nielsen.* Numerical modelling of the cracked beam joint in Storstrømsbroen in Denmark. International Conference on Civil Engineering, Design and Construction, Varna Free University, Varna, Bulgaria, (2014), ISBN: 978-954-322-310-7.
3. *Kerelezova, I., L. Malezanov, B. Laustsen, M. P. Nielsen.* Modelling of the nonlinear performance of the beam connection of an existing steel bridge. Jubilee International Conference: Science & Technic, 65th anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15th anniversary Hydraulic Engineering in German, UACEG, Sofia (2014).
4. Brottmekanisk provning av stål från Storstrømsbroen – I, Rambøll Danmark, DK-2300 København S, Hannemanns Allé 53, 2012.
5. *Керелезова, И., М. П. Нилсен, Л. Малезанов.* Изследване на пукнатинообразуването в конструкцията на съществуващ мост. Научен отчет, ЦНИП при УАСГ, София, 2015.
6. *Dorman Long & C. L.* Storstrom bridge approach spans, standard anchor and suspended span. drawing N F6255, 55 Broadway, Westminster, London, September 1933.
7. *Kerelezova, I., L. Malezanov, B. Laustsen, M. P. Nielsen.* Modelling of the nonlinear performance of the beam connection of an existing steel bridge. Jubilee International Conference: Science & Technic, 65th anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15th anniversary Hydraulic Engineering in German, UACEG, Sofia (2014).
8. *Nielsen, M. P.* An Energy Balance Crack Growth Formula. Bygningsstatistiske Meddelelser, Ed. By Danish Society for Structural Science and Engineering, Volume 61, No 3-4, pp. 1-125, (1990).

Постъпила: април 2015 г.

# DETERMINATION OF THE BEARING CAPACITY OF THE BRIDGE JOINT USING SIMPLE METODS

I. Kerelezova<sup>1</sup>

*Keywords: fracture mechanics, bearing capacity, steel bridge*

*Research area: fracture mechanics*

## ABSTRACT

Numerous studies have shown the involvement of various factors affecting the bearing capacity of the shear beams. Models that establish formulas for size effect try to study the impact of all factors affecting the shear bearing capacity. In fact, their reporting in a closed form is impossible, which leads to numerous empirical relationships. This study makes parametric analysis of one of the models of the size effects on beams. An analysis of the influence of various parameters on the bearing capacity of the shear is made.

---

<sup>1</sup> Irina Kerelezova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Structural Mechanics", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: igk\_fce@uacg.bg