

---

## **ВЛИЯНИЕ НА ТИПА ДОЛНО СТРОЕНЕ ВЪРХУ КОНСТРУКТИВНИЯ КАПАЦИТЕТ ПРИ СТОМАНОБЕТОННИ МОСТОВЕ**

**Александър Илиев, Димитър Стефанов, Димитър Димитров**  
[eng.alexander.iliev@gmail.com](mailto:eng.alexander.iliev@gmail.com) ; [dstefanov@geophys.bas.bg](mailto:dstefanov@geophys.bas.bg) ; [dim1959sk@abv.bg](mailto:dim1959sk@abv.bg)

*Българска Академия на Науките (БАН)*  
*Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География (НИГГГ)*  
*гр. София, ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 3*  
**БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** стоманобетонни мостове, нелинейни статични анализи, дуктилност по преместване

**Резюме:** Мостовите съоръжения представляват голяма важност за логистичната и икономическата дейност в нашата държава. Поради това, тяхната уязвимост в следствие на природни хазарти (опасности) следва да бъде ясно определена и по възможност редуцирана. Изследванията на сеизмичната устойчивост на конструкциите на мостовете са в известна степен подценявани в сравнение с тези на сградите. Обяснението за този факт е приемането, че при земетресение възможните жертви в сградите се очаква да бъдат значително повече, отколкото при разрушенията на мостовете. В настоящето изследване е определен капацитетът на триотворен стоманобетонен пътен надлез от проект на автомагистрала „Струма“. Проведени са група нелинейни статични анализи посредством Методът на Крайните Елементи. Предмет на изчисленията е определяне влиянието на вида на долното строене върху конструктивния капацитет на моста. Разгледани са три варианта за процент на армиране в конструктивните сечения- 1%, 2% и 4%, както и три вида колони за долното строене- две квадратни сечения, две кръгли сечения и едно прогоъгълно (стенно) сечение. Получени са резултати във вид на капацитивни криви (реакция в основата към целево преместване на върха на конструкцията). Направени са съответни изводи за влиянието на типа на долното строене и начина на армиране на напречните сечения върху капацитета на конструкцията за поемане на хоризонтални натоварвания.

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Мостовите конструкции имат изключителна важна логистична функция, без чието функциониране биха настъпили големи икономически загуби. Това обвързва техният капацитет за хоризонтални въздействия със сеизмичния риск и възможните последици от него. Анализирането на мостове в България е пренебрегвано поради разбирането, че разрушението на сгради води до човешки загуби, които имат приоритет над икономическите такива. Настоящото изследване има за цел да отговори на важен въпрос, стоящ пред проектантската гилдия в областта, а именно, какво е влиянието на

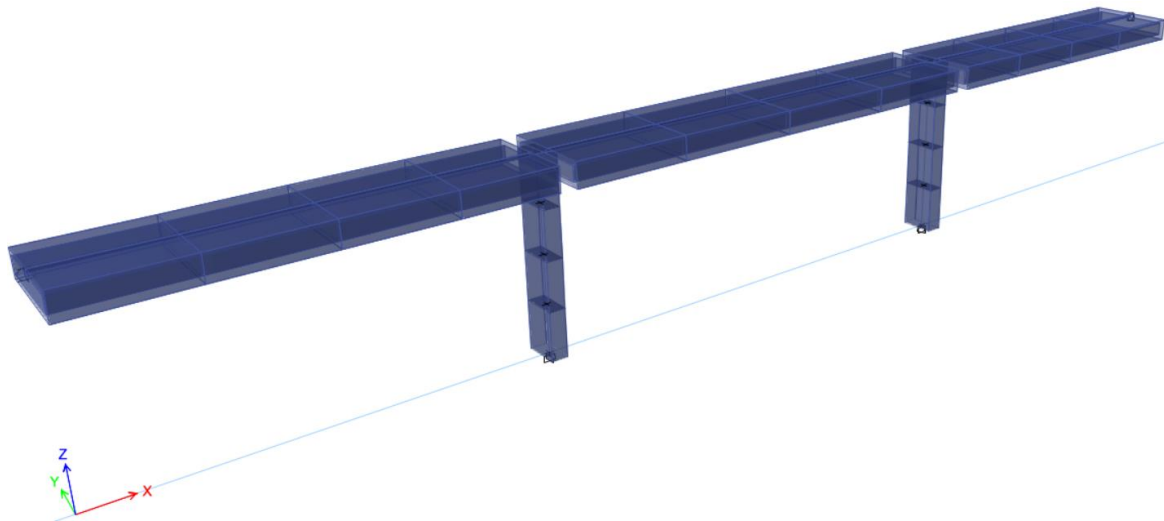
типа на долното строене върху сеизмичния капацитет при мостови конструкции. За целта са проведени необходимите числени анализи със специализиран инженерен програмен продукт, имащ широки възможности за достоверно представяне на нелинейното поведение на стоманобетонните конструкции. Изведени са важни инженерни характеристики, като преместването на върха на конструкцията към срязващите сили в основата, на чиято база е определен така нареченият “коэффициент на дуктиленост по премествания” на системата. Направени са съответните изводи относно влиянието на типа на долното строене и начина на армиране на напречните сечения върху капацитета на конструкцията за поемане на хоризонтални натоварвания.

## **2. ИЗСЛЕДВАНА КОНСТРУКЦИЯ И ИЗПОЛЗВАНИ МОДЕЛИ**

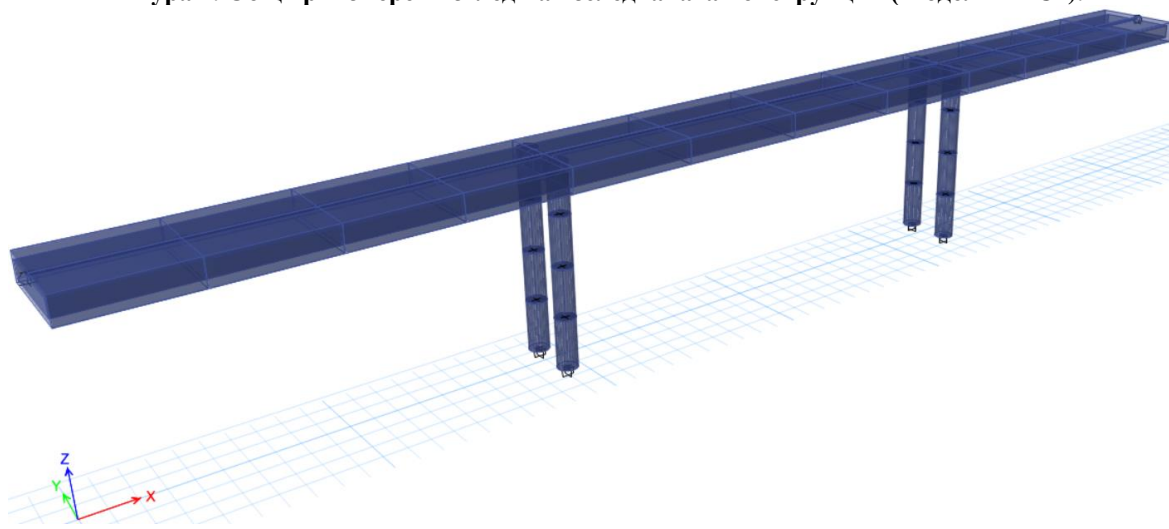
Предметът на изследване е триотворен стоманобетонен пътен надлез от автомагистрала „Струма“. Трите отвора са 33 м, 41 м и 33 м, като общата му дължина е 107 м. Статическият модел на съоръжението е рамка с корава връзка при стълбовете и подпряна върху колоните при устоите посредством всестранно подвижни лагери. Върхната конструкция представлява стоманобетонна греда с 3 кухни с константна дебелина 2 м и две конзоли с дължина 3.2 м с променлива дебелина, изпълнени от бетон С45/55. Долното строене представлява монолитни стоманобетонни колони при стълбовете и при устоите. Колоните са изпълнени от бетон клас С35/45.

За численото анализиране на изследваната конструкция са разработени два модела по крайни елементи (Модел “REC” и Модел “SQR/CIR”), различаващи се по начина на моделиране на долното строене. При модел “REC” е разгледано долно строене със стенно (правоъгълно) напречно сечение с размери 1,35/ 3 м. За този вариант колоните са моделирани чрез гредови елементи единствено в оста на съоръжението, виж фигура 1. При модел “SQR/CIR” е разгледан вариант на долното строене с две отделни колони, съответно с кръгло (“CIR”) и квадратно (“SQR”) напречно сечение. Размерите на колоните с квадратно (“SQR”) сечения са 1400/1400мм, а при вариант на моста с кръгло сечение (“CIR”), диаметърът на колоните е 1580мм. За този вариант е избрано моделиране чрез дублиране на гредовите елементи в напречно направление (Y), отразявайки по този начин съответния вариант на долното строене, виж фигура 2. Тъй като върхната конструкция и при двата варианта е моделирана чрез гредови елементи в оста на конструкцията, при модел “SQR/CIR” връзката между двете колони и пътната плоча е извършено чрез безкрайно корав елемент, имащ нулева маса.

Размерите на напречните сечения за трите варианта колони е избрано така, че те да имат приблизително еднаква площ и инерционни моменти. Това има за цел определянето на влиянието на вида на долното строене върху сеизмичния капацитет на конструкцията при еднакви количества стоманобетон и армировки (еднаква цена за строителство).



Фигура 1. Общ триизмерен изглед на изследваната конструкция (Модел "REC").



Фигура 2. Общ триизмерен изглед на изследваната конструкция (Модел „SQR/CIR“).

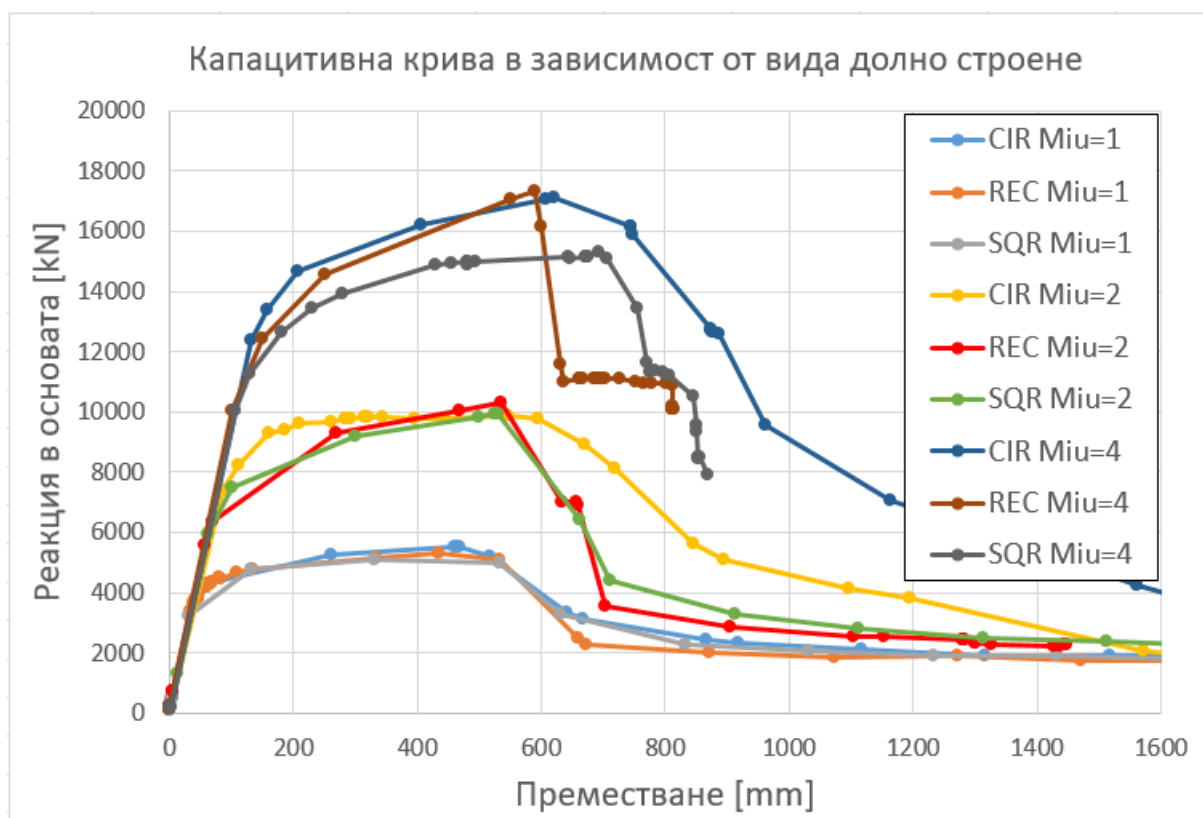
### 3. НЕЛИНЕЙНИ СТАТИЧНИ АНАЛИЗИ

Нелинейният статичен анализ е надежден и приложим за мостови конструкции, чието поведение може да бъде апроксимирано като „Система с една степен на свобода“. Такива мостове са приблизително прави мостове с незначителна промяна на тяхната височина и коравина на стълбовете. Избраният мост за изследване отговаря на тези изисквания.

За изследването на конструкцията посредством Метода на Крайните Елементи е използвана програмата ETABS 2000, v.2015 [1]. Разработен е модел на изследваната мостова конструкция посредством използването на гредови (beam) елементи. Връзката между колоните и връхната конструкция е приета за корава (общи възли за модел "REC" и безкрайно корави елементи за модел "SQR/CIR"). Конструкцията е приета за кораво свързана към горен ръб фундамент/ запъната (ограничени са всичките шест степени на свобода във възлите). Анализирано е реагирането на конструкцията само в надлъжно направление (ос x).

За изследване влиянието на типа долно строене върху сеизмичния капацитет на конструкцията, са проведени три анализа с различно напречно сечение на колоните- с две квадратни колони (вариант „SQR“), две кръгли колони (вариант „CIR“) и вариант „REC“ с едно правоъгълно сечение (тип стена). За всеки модел са разгледани и три варианта на процентно армиране на долното строене- 1%, 2% и 4%.

Нелинейното реагиране е моделирано посредством използването на концентрирана нелинейност (пластични стави) в крайщата на гредовите елементи, използвайки опцията „FIBER HINGE“ (т.н. фибров модел). Получените капацитивни криви за трите конструкции и трите вида процент на армиране са показани на фигура 3.



Фигура 3. Капацитивни криви в зависимост от вида долно строене и процент армиране

От получените резултати може да се направи извода, че резултатите се групират по количество армировка в напречните сечения и съответното увеличение на капацитета при по- високи нива на армиране. При сравнението на реагирането на конструкцията при трите вида напречни сечения, не можем да говорим за съществено влияние на вида на долното строене върху способността на системата да поема хоризонтални натоварвания, тъй като резултатите са приблизително еднакви, а решението на системата от уравнения е итеративно и в „неявен“ вид (implicit integration scheme).

Капацитивните криви за стенно сечение (“REC”) с 1%, 2% и 4% процента армиране са билинеаризирани в табл.1 с цел по-лесното и точно определяне на дуктилността по преместване за изследваната конструкция.

Табл.1. Стойности на билинеаризирани капацитивни криви за сечение “REC”-  $\rho=1\%$ ,  $2\%$  и  $4\%$ .

$\rho=1\%$		$\rho=2\%$		$\rho=4\%$	
Преместване „ $\Delta$ “ [mm]	Сила [kN]	Преместване „ $\Delta$ “ [mm]	Сила [kN]	Преместване „ $\Delta$ “ [mm]	Сила [kN]
0	0	0	0	0	0
40	4300	75	7500	140	13200
540	5500	540	10500	600	17300

След така определените точки от билинеаризираните капацитивни криви се определя и дуктилността по премествания за модела със стенно напречно сечение (“REC”) и различен процент на армиране.

$$\mu_{1\%} = \Delta u / \Delta y = 540 / 40 = 13.5$$

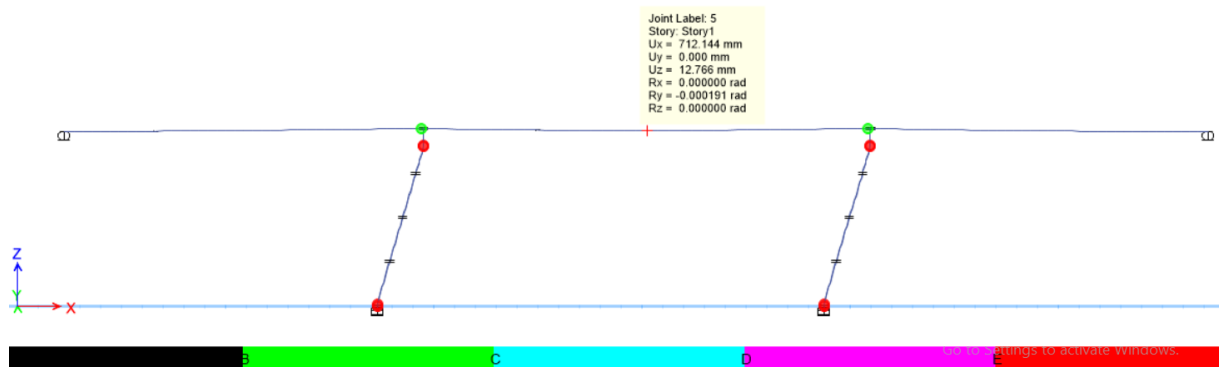
$$\mu_{2\%} = \Delta u / \Delta y = 540 / 75 = 7.2$$

$$\mu_{4\%} = \Delta u / \Delta y = 600 / 140 = 4.3$$

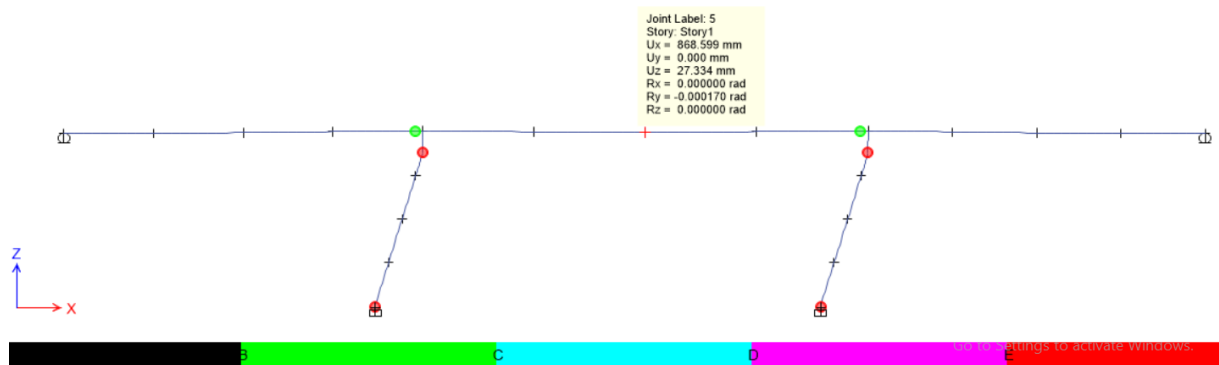
От получените резултати ясно се вижда, че с увеличаване процента на армиране, дуктилността на конструкцията намалява, което доказва факта, че преармираните сечения водят до по-крехко разрушение на конструкциите. На фигура 4 до фигура 6 са показани механизмите на разрушение и зоните на пластификация в конструкцията при различни варианти на долно строене. Със зелен цвят (зона А) се отбелязва зоната с провлачане в сечението, а с червен цвят (зона Е) се отбелязва зоната с натрупване на големи гранични деформации, близки до крайната.



Фигура 4. Зони на пластификация на модел с 2 кръгли колони, 2% армиране.



Фигура 5. Зони на пластификация на модел с 2 квадратни колони, 2% армиране.



Фигура 6. Зони на пластификация на модел с 1 правоъгълна колона (стена), 2% армиране.

#### 4. ИЗВОДИ

Изследвана е конструкцията на триотворен стоманобетонен пътен надлез от автомагистрала „Струма“ посредством Методът на Крайните Елементи. Проведени са група нелинейни статични анализи посредством програмен продукт ETABS. Предмет на изчисленията е определяне влиянието на вида долно строене върху конструктивния капацитет на моста. Получените резултати във вид на капацитивни криви (реакция в основата към преместване на върха) показват:

- Конструкцията се разрушава по т.н. огъвен механизъм на разрушение, чрез формиране/ развиване на пластични зони в крайщата на колоните;
- Капацитетът (силите в основата) на конструкцията се увеличава с увеличаване процента армиране в конструктивните елементи;
- Увеличаването на процента на армиране води до намаляване на дуктилността на конструкцията;
- Не се забелязва съществено различие в капацитета на конструкцията в зависимост от вида напречно сечение/ долно строене (при приблизително еднаква напречна площ и еднакви инерционни характеристики).

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] ETABS 2015: CSI Analysis Reference Manual.

## INFLUENCE OF THE COLUMN TYPE ON THE CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES

**Alexander Iliev, Dimitar Stefanov, Dimitar Dimitrov**

[eng.alexander.iliev@gmail.com](mailto:eng.alexander.iliev@gmail.com) ; [dstefanov@geophys.bas.bg](mailto:dstefanov@geophys.bas.bg) ; [dim1959sk@abv.bg](mailto:dim1959sk@abv.bg)

*Bulgarian Academy of Sciences  
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography  
Sofia, Acad. G. Bonchev str., bl. 3  
BULGARIA*

**Key words:** *reinforced concrete bridges, nonlinear static analysis, ductility*

**Abstract:** *The bridge facilities are of great importance for the logistics and economic activities in our country. Therefore, their vulnerability to natural hazards should be clearly identified and, where possible, reduced. Studies of the seismic resistance of bridge structures are somewhat underestimated compared to those of buildings. The explanation for this fact is the assumption that in an earthquake the possible casualties in buildings are expected to be significantly higher than in the destruction of bridges. This study analyses a reinforced concrete road overpass from the Struma highway. The assessment is done by a set of nonlinear static analyses based on the Finite Element Method. The purpose of calculations is to assess the influence of the substructure to the ductility of the system. Three variants of reinforcement ratio are considered- 1%, 2% u 4%, as well as three types of columns for the substructure- two square sections, two round sections and one rectangular (wall) section. The results are capacity curves for different reinforcement ratio and cross sections. Conclusions are done for the influence of the substructure and the reinforcement's type in the cross sections.*