ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ СОФИЯ

Том 57 Volume 2024 Брой 2 Issue

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

*Получена: 04.12.2023 г.*
*Приета: 21.12.2023 г.*

# ИЗЧИСЛИТЕЛНИ ПРОВЕРКИ ЗА КРАЙНО ГРАНИЧНО СЪСТОЯНИЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ЕТАПНО ИЗГРАЖДАНЕ

**И. Топурова**[1]

***Ключови думи:*** *етапно изграждане, усилване на колони, крайно гранично състояние*

**РЕЗЮМЕ**

Спецификата на строителните конструкции и тяхното разнообразие прави невъзможно описването в нормативните документи на всички възможни случаи от практиката. Инженерният подход при специфични конструкции включва не само позоваването на нормативите, но и теоретично разглеждане на проблемите и творческото им прилагане в проектантската практика.

На базата на конкретни специфични случаи, свързани с елементи, бетонирани етапно, се коментират някои проверки в крайно гранично състояние, сравнени с прилаганите процедури в нормите, разработени за типови конструкции. Познаването на проблема при тези специфични случаи е първата необходима стъпка за получаване на реалистичен резултат.

## 1. Въведение

Честа практика при проектирането на мостове с малки и средни отвори е прилагането на плочогредови конструкции, изпълнени като сглобяемо-монолитни [1]. При тях изпълнението става на два етапа. Сглобяеми греди от обикновен или предварително напрегнат стоманобетон се монтират и върху тях след това се изпълнява пътна плоча по монолитен или сглобяемо-монолитен способ. Възможно е и

[1] Иванка Топурова, гл. ас. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ivankatopurova@yahoo.com

приложението на сглобяеми елементи – плътно наредени панели с допълнително положен монолитен бетон при плочни конструкции.

Крайните гранични състояния се свързват с проверка за неразрушение на конструкцията. Те не трябва да бъдат достигани и описват едно въображаемо състояние. Тази група проверки цели да осигури съответната степен на сигурност чрез подходящи частни коефициенти на сигурност. Този начин на проектиране се основава на така наречения „полувероятностен метод“. Съгласно определението, дадено в БДС EN 1990 това са „състояния, които предшестват разрушаването на конструкцията, и които за опростяване се разглеждат вместо самото разрушаване“. Това води до въпроса необходимо ли е при този тип проверки, при които не се контролират напреженията, формиращи се в армировката и бетона, те да подлежат на суперпониране.

## 2. Проверка на огъващ момент и осова сила

В крайно гранично състояние на етапно бетониране проверката за огъващ момент теоретично не се различава по нищо от тази при едноетапно бетониране. Тя се базира на основната постановка, залегнала в ЕС – правилото на трите точки и приемане на основната хипотеза за равнинност на сечението (линейно разпределение на деформациите по височина на сечението) до достигане на разрушение (вж. фиг. 1).

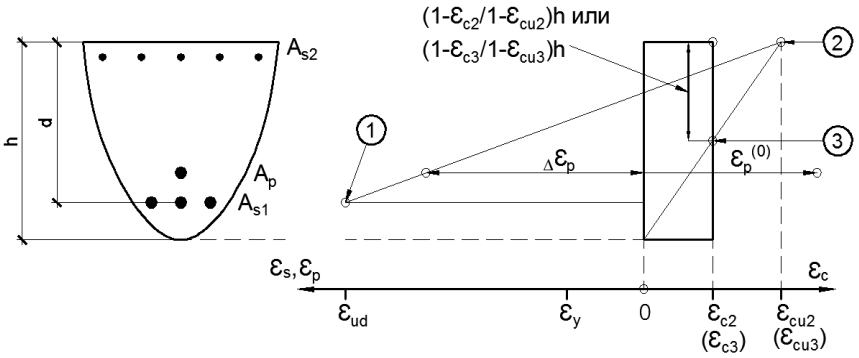
*Панели и монолитна плоча*

*Плочогредово сечение със сглобяемо-монолитна конструкция*

**Фиг. 1. Поетапно изграждане на съоръжения**

Съгласно [2] е приложимо използването както на двулинейна, така и квадратна парабола с хоризонтален клон за зависимостта напрежения-деформации. Възможно е при проверките на огъване или огъване с осова сила в натисковата зона работната диаграма на бетона да се апроксимира с правоъгълна такава. На фиг. 2 е дадено напрегнато и деформирано състояние на сечения при двуетапно бетониране.

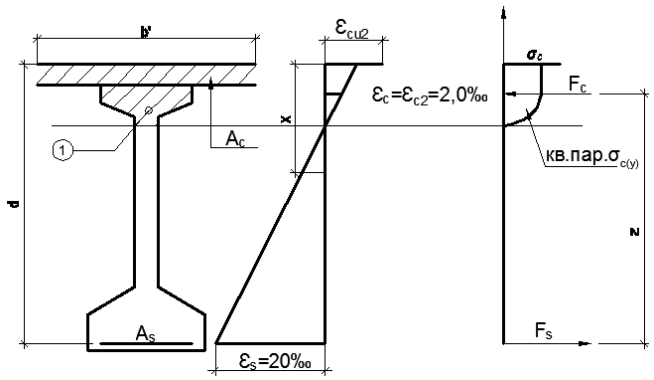
При нецентричен натиск с малък ексцентрицитет и/или условно центричен натиск, поради невъзможността при такова напрегнато състояние да има съдействие на нишки, които не са попаднали в зоната на пластифициране, е нормирано да не се допуска скъсяване на бетона, по-голямо от $\varepsilon_{c2}$, което при неограничен бетон е равно на 2 ‰. Същото се отнася и за центъра на тежестта на натисковата зона на сечения, натоварени на огъване или голям нецентричен натиск.




**Фиг. 2. Възможно разпределение на деформациите по височина на сечението в крайно гранично състояние**

*1 – гранично удължаване на армировката; 2 – гранично скъсяване на бетона; 3 – точка с нулеви деформации*

Важно е да се поясни, че поради характера на крайните гранични състояния – фиктивно състояние при разрушение, при тази процедура не е валиден методът на суперпозицията. Критерият за разрушение е свързан с достигане на гранични деформации в опъната армировка или в най-отдалеченото натиснато влакно на бетона или едновременното достигане на крайните гранични деформации. Той не е базиран на напрежения, които се формират в армировката и бетона, за да подлежат на суперпониране. Освен това въздействията, отчитани при това гранично състояние, не са реалните, а отразяват характеристичните завишени с частичните коефициенти за сигурност.




**Фиг. 3. Напрегнато и деформирано състояние на плочогредово сечение при втори етап, след изпълнение на плочата и едновременно разрушение от опънна и натискова зона**

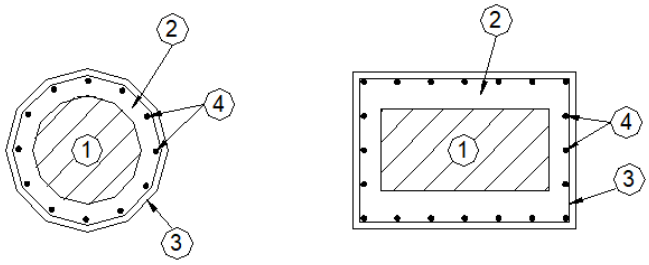
При етапно бетонирано сечение, като правило, трябва да се докаже, че проверката на огъване в крайно гранично състояние се удовлетворява за всеки етап на бетониране при даденото количество армировка, съответната височина на сечението и формата на натисковата зона. В повечето случаи на плочогредови мостови сечения от типа, даден на фиг. 3, меродавна е проверката на огъване в крайно гранично състояние във втория етап на работа.

При този тип сечения, при проверките на огъване в първия етап на работа, се очаква разрушението на сечението да настъпи от към натисковата зона, докато при втория етап това е вероятно да стане откъм опънната зона или при едновременно достигане на граничните деформации.

Може да се обобщи, че при процедурата за проверка на огъване в крайни гранични състояния при обикновен стоманобетон, след като е известен огъващият момент, се решава обратната задача (обикновено в практиката наричана „оразмеряване“). В крайно гранично състояние се определя необходимата армировка във втория етап. Това се прави при предпоставка на едновременно разрушение от опънната и натисковата зона. Като следваща стъпка би било необходимо с така определената армировка да се извърши и проверка в първия етап на сечението.

## 3. Проверка за осова сила и евентуално огъващи моменти

При усилване на колони от съществуващи мостове може да се получи етапно бетонирано сечение, натоварено с осова сила и евентуално огъващ момент. Като правило, усилването с допълнително бетонно сечение се изпълнява при натоварено състояние на елемента от първия етап. Следователно основният въпрос, който възниква, е как новият бетон и допълнителната надлъжна армировка ще се включат в работата при условен центричен натиск или огъващ момент с малък ексцентрицитет. На фиг. 4 са дадени две сечения, усилени със стоманобетонен кожух.




**Фиг. 4. Усилване на напречното сечение на колони със стоманобетонен кожух**

*а) Колона с кръгло напречно сечение; б) Колона с правоъгълно напречно сечение;*
*1 – съществуваща колона; 2 – нов бетон; 3 – нови стремена;*
*4 – допълнителна надлъжна армировка*

Когато напречната армировка на допълнителното стоманобетонно сечение е конструирана така, че не може да създаде ограничен бетон, при натоварване на сечението след усилването напреженията ще се разпределят равномерно върху съществуващата колона и новоизпълнения бетон. Това ще доведе до допълнително натоварване на „стария“ бетон и съответно възможност той да се претовари. При предпоставката, че съществуващата колона – първи етап на работа – е проектирана в крайно гранично състояние със стойности на напреженията в бетона, близки до граничната си изчислителна носимоспособност – $f_{cd}$ (с отчитане на всички коефициенти), това означава, че осовото усилие от увеличения товар изцяло ще се поеме от стоманобетонния кожух. Това ще се получи в крайно гранично състояние, след като „старият“ бетон започне да пълзи и новоизпълненият, който до този момент не е натоварен, ще поеме всички допълнителни усилия. Този процес ще настъпи дори на още по-ранен етап, тъй като има разлика в началните модули на еластичност на бетона на

частите на сечението – „стар“ и „нов“ бетон. Това се обяснява с работната диаграма на бетона при различното напрегнато състояние в отделните елементи. Трябва да се отбележи, че част от натоварването ще се поеме от надлъжната армировка на „стария“ бетон, ако тя има граница на провлачане $f_{yd} \geq 400$ MPa. Това завишение, ако изобщо има такова, може да се пренебрегне. Може да се обобщи, че в крайно гранично състояние, поради „протичане“ на бетона на съществуващата колона, ще настъпи преразпределение на усилията между него и кожуха и по този начин товарът изцяло ще се поеме от новобетонираната част от сечението. По този начин, в случай на липса на ограничен бетон и условен центричен натиск или натиск с малък ексцентрицитет, усилването може да се проектира като нова колона със сечение, съставено от допълнителния бетон и натоварено с цялата стойност на увеличената осова сила.

Тук следва да се отбележи, че направените разсъждения са при предпоставката, че при усилването са взети мерки за получаване на добър контакт с горната част на колоната (плочата, чрез която се предава осовата сила). Възможни подходи за постигане на това са чрез прилагане на несъсъхващи състави и/или подходящ начин на бетониране.

Приемането, че допълнителният бетон от усилването поема изцяло увеличената осова сила, не винаги е приемливо. Увеличение на въздействието с повече от частните коефициенти за сигурност би означавало, че в съществуващата колона бетонът ще достигне границата на „протичане“ за експлоатационни товари, което трябва да се счита за недопустимо. Поради тази причина, при невъзможност от постигане на ограничен бетон при усилването, с цел постигане на необходимата сигурност е препоръчително увеличението на носимоспособността с кожуха да не надвишава 1,3, което представлява минималният частен коефициент за сигурност.

Ако съществуващата колона има запас в носимоспособност (при проектирането и преди усилването не е достигната граничната носимоспособност), горното ограничение може да бъде дадено със следния израз:

$$N_{Ed} \leq 1{,}3\, N_{Rd,old}, \tag{1}$$

където $N_{Ed}$ е общата осова сила в крайно гранично състояние, включително увеличението, за която трябва да се проектира стоманобетонният кожух;

$N_{Rd,old}$ – изчислената носимоспособност на съществуващата колона в крайно гранично състояние.

При предположение, че се налага да се поеме по-голяма сила, е необходимо да се създаде ограничен бетон. Това ще увеличи способността за получаване на по-големи деформации в съществуващия бетон, а оттам да се увеличи и носимоспособността на старата колона. Това може да се постигне чрез подходящо конструиране на напречната армировка – със съответно сгъстяване на стремената и/или чрез подходящо обвиване с платна от въглеродни или други нишки в матрица. Може да се приложи и стоманен кожух, но това не е предмет на настоящото изложение.

При усилване на колона с голям ексцентрицитет процедурата е подобна на тази, коментирана при двуетапно бетониран елемент, подложен на огъване. Допълнително следва да се отчете съвместното действие на огъващ момент и осова сила.

## 4. Проверка за напречна сила

Носимоспособността на напречната армировка зависи от вероятната пукнатина, в която армировката получава съответни деформации и наклона на натисковите

диагонали. Тези два параметъра са различни при отделните състояния на работа, свързани с етапите на бетониране на сечението. Съгласно нормите, проверката в крайно гранично състояние за носимоспособност за поемане на напречни сили при етапно бетониране не се различава от тази при едноетапно бетониране. Тук е важно да се отбележи, че аналогично на проверката за огъване, при изчисленията не е в сила методът на суперпозицията, поради факта, че става дума за имагинерно състояние.

Като правило проверката за носимоспособност за поемане на напречни сили в крайно гранично състояние следва да бъде направена и при двата етапа на работа. При плочогредово сечение, характерно за конструкциите на сглобяемо-монолитно изпълнени мостове, с голяма вероятност меродавна за определяне на стремената ще е проверката във втория етап на работа. Това се обяснява с несъществено увеличение на височината на елемента при втория етап, при което броят на стремената, които ще се включат в поемане на напречната сила, и големината на пукнатината при равни други условия става сравнима с тази от първия етап, но въздействието е значително увеличено.

При конструирането в първия етап на работа е необходимо да се предвиди елемент – „капак“, затварящ стремето, което основно е свързано с изискването на изчислителния модел. Също така е задължително наличието на надлъжна армировка в куката на стремето в натисковата зона. Тъй като оформянето на кука на клон, който продължава, за да може да участва в поемането на срязващата сила във втория етап, не е възможно, то трябва да се предвиди „капак“ с необходимата дължина на застъпване с вертикалните клонове на стремето. Това се отнася за случаи, когато е необходима по изчисление напречна армировка в първия етап. При положение, че напречната сили в първия етап се поема изцяло от бетона, то тогава не е необходимо да се спазват коментираните конструктивни изисквания.

## 5. Заключение

Коментираните специфични случаи на изчислителни проверки за крайно гранично състояние при стоманобетонни конструкции, бетонирани двуетапно, демонстрират влиянието на технологията на изграждане върху избора на подход при изчисляването им. Целта на изложението е да се обърне внимание на съществуването на този вид специфични случаи, необхванати от препоръките, дадени в БДС EN-1992. Може да се отбележи, че за случаите на усилване на съществуващи конструкции разработването и въвеждането на норми за преизчисляването им ще може да даде насоки за изчислителните методи на такъв вид елементи [3, 4].

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Nikolov, P.* Viadukt na km 327+050 ot AM „Struma“ – prilozhenie na sistemata Evrokod. Chetvarti simpozium po transportni saorazhenia „Transportnite saorazhenia: klyuchov element na infrastrukturata“ – UASG, 2015.

2. EN 1992: Proektirane na betonni i stomanobetonni konstruktsii.

3. *Topurov, K.* Stomanobetonni patni i zhelezopatni mostove. ABS „Tehnika“, Sofia, 2012.

4. *Topurova, Iv.* Normativi za sashtestvuvashti mostove. Chetvarti simpozium po transportni saorazhenia „Transportnite saorazhenia: klyuchov element na infrastrukturata“ – UASG, 2015.

5. *Topurova, Iv., Gaysler, K.* Otsenka na sashtestvuvashti patni mostove. Mezhdunarodna nauchna konferentsia, UASG, 2012.

# COMPUTATIONAL CHECKS FOR THE ULTIMATE LIMIT STATE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER STAGED CONSTRUCTION

**I. Topurova**[1]

***Keywords:*** *staged construction, retrofiting of columns, ultimate limit state*

## ABSTRACT

The specificity of building structures and their diversity makes it impossible to describe all possible cases from practice in the normative documents. The engineering approach to specific structures includes not only the reference to the regulations, but also a theoretical examination of the problems and their creative application in the design practice.

On the basis of particular cases related to elements concreted in stages, some checks in ultimate limit state are commented compared to the applied procedures in the norms developed for typical structures. Knowing the problem in these specific cases is the first necessary step to obtain a realistic result.

[1] Ivanka Topurova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ivankatopurova@yahoo.com