

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

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

48 ^{ТОМ}
vol.

2015

св.
fasc. 12 – II

ВЛИЯНИЕ НА СТОЙНОСТТА НА ПРЕДВАРИТЕЛНОТО НАТОВАРВАНЕ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА УСИЛВАНЕТО НА СТОМАНОБЕТОННИ ПЛОЧИ СЪС СТОМАНОБЕТОН

Т. Чардакова¹, М. Трайкова²

Ключови думи: усилване, стоманобетон, предварително натоварване

Научна област: възстановяване и усилване на стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

При усилване на стоманобетонни плочи от особено важна роля за окончателното решение има стойността на предварителното натоварване на плочата. Усилващата част може да се включи в поемането само на новите товари, които се очаква да се появят след усилването. В практиката най-често се прилага подход за изследване на усиления елемент като нов с усилията от пълния товар на елемента. Този подход обикновено не е в посока на сигурността.

Статията разглежда влиянието на стойността на предварителното натоварване при усилване на стоманобетонни плочи със стоманобетон върху крайните параметри на усилящата конструкция – дебелина на доливката при усилване в натискава зона и количество на усилящата армировка при усилване в опънна зона. За целта е разгледан числен пример – еднопосочно армирана свободно подпряна стоманобетонна плоча с недостатъчен капацитет за поемане на изчислителния момент. Разглеждат се два варианта за усилване – с допълнителна опънна армировка и торкретиране от долната страна на плочата и с допълнителна бетонна доливка от горната страна на плочата, като стойността на предварителното натоварване се изменя от нула до стойността на квазипостоянното натоварване.

¹ Таня Чардакова, д-р инж., e-mail: tanq_chardakova@abv.bg

² Марина Трайкова, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. "Христо Смирненски" № 1, 1046 София, e-mail: marina5261@abv.bg

1. Въведение

Плочите са конструктивни елементи, които директно са подложени на въздействието от експлоатационните товари. Този факт предопределя и тяхната по-бърза амортизация, както и по-бързата поява на евентуални дефекти, в сравнение с всички останали конструктивни елементи. Често плочи, които ще бъдат усилявани, са реализирали големи деформации и пукнатини, които са се появили в процеса на тяхната работа в рамките на цялостната конструкция.

Имайки предвид горното, можем да заключим, че установяването на реалното напрегнато и деформирано състояние е от решаващо значение за правилното проектиране при усиляване. Безспорен факт е, че усиливащите части на конструкцията могат да се включат само в поемането на въздействия, възникнали след усиляването. Често прилаганият в практиката подход за оразмеряване на усилена плоча като изцяло нова с усилията от пълното натоварване на елемента е некоректен и при високи стойности на предварителното натоварване не е в посока на сигурността.

2. Състояние на проблема

Отчитането на предварителното натоварване е една важна задача, с чието решение трябва да започне всяка процедура за оразмеряване на усиливащата част на плочата. В [6] подробно е разгледана процедура по определянето на ефекта от предварително натоварване, като за целта се определя стадият на напрегнато и деформирано състояние под действие на усилията от предварително натоварване.

Освен теоретично, влиянието на предварителното натоварване върху поведението на различни усиления елементи е доказвано многократно и експериментално. Например резултатите от експерименталните изследвания, публикувани в [7], ясно показват намаляването с до 21% на ефективността на усиляването по отношение на увеличаване на носимоспособността на огъване на изследваните елементи при увеличаване на предварителното натоварване. Също така в изследването, публикувано в [8], експериментално е доказано, че при по-голямо предварително натоварване усиливащите материали развиват по-малки деформации при разрушение.

3. Числен пример

3.1. Характеристики на разглежданите елементи и усилия

За целите на изследването се разглежда свободно подпряна по дългите си страни еднопосочно армирана плоча със светъл отвор 270 cm. Плочата се разглежда при различен начален избор на височината \dot{y} – от 1/35 до 1/20 от изчислителния \dot{y} отвор l_{ef} , който се приема както за свободно подпряна плоча – равен на светлия, плюс избраната височина на плочата h . Така височината на плочата варира от 8 cm (случай на "силна" армировка и "слаб" бетон) и 14 cm (случай на "слаба" армировка и "силен" бетон).

С така избраните височини плочата се оразмерява за равномерно разпределено натоварване, състоящо се от собственото тегло на плочата, постоянно характеристично натоварване $1,5 \text{ kN/m}^2$ и променливо характеристично натоварване 3 kN/m^2 . За определяне на изчислителното натоварване са използвани коефициенти на натоварване съгласно [4] – 1,1 за собственото тегло на плочата, 1,3 за останалите постоянни товари

и 1,2 за променливото натоварване. Така изчислителната стойност на оригиналното натоварване на плочата става

$$P_{d,ex} = h \cdot \gamma_c \cdot \gamma_{f,c} + g_k \cdot \gamma_{f,g} + q_k \cdot \gamma_{f,q} = h \cdot 25 \cdot 1,1 + 1,5 \cdot 1,3 + 3 \cdot 1,2. \quad (1)$$

С това натоварване плочата е оразмерена на огъване съгласно [5]. Приетите материали са бетон клас В15, стомана клас АІ. Изчислителните характеристики на материалите са приети също съгласно [5] – изчислително съпротивление на натиск на бетона 8,5 МРа, изчислително съпротивление на опън на армировката 225 МРа. Съгласно [5] бетонното покритие на армировката е прието 10 mm за плочи с височина 8 cm и 10 cm, а за плочи с височина 12 cm и 14 cm – 15 mm. Основните параметри от оразмеряването са представени в табл. 1 – момент M_{ex} (определен като за проста греда), полезна височина d , необходима площ на армировката A_s и съответно вложена такава $A_{s,e}$, отговаряща на диаметър Φ и брой пръти на метър n .

Таблица 1. Оразмеряване на плочата при различен начален избор на височината ѝ

| l/h | h | l_{ef} | $P_{d,ex}$ | M_{ex} | d | A_s | Φ | n | $A_{s,e}$ | ρ |
|-------|-----|----------|-------------------|----------|-----|--------------------|--------|-------|--------------------|--------|
| - | cm | cm | kN/m ² | kN.m/m | mm | mm ² /m | mm | бр./m | mm ² /m | % |
| 35 | 8 | 278 | 7,75 | 7,49 | 65 | 581 | 10 | 8 | 628 | 0,97 |
| 28 | 10 | 280 | 8,30 | 8,13 | 86 | 452 | 8 | 10 | 503 | 0,58 |
| 24 | 12 | 282 | 8,85 | 8,80 | 101 | 409 | 8 | 9 | 452 | 0,45 |
| 20 | 14 | 284 | 9,40 | 9,48 | 121 | 362 | 8 | 8 | 402 | 0,33 |

За така оразмерените сечения се проектира усилване, което има за цел да увеличи носимоспособността на огъване на плочите до такава, която е в съответствие с изискванията на системата Еврокодове. Характеристичните стойности на въздействията остават непроменени. Изчислителното натоварване, както и квазипостоянното натоварване, спрямо което се определя предварителното натоварване на плочата, са определени съгласно [1], [2]:

$$P_{Ed} = (h \cdot \gamma_c + g_k) \cdot \gamma_{f,g} + q_k \cdot \gamma_{f,q} = (h \cdot 25 + 1,5) \cdot 1,35 + 3 \cdot 1,5; \quad (2)$$

$$P_{qp} = h \cdot \gamma_c + g_k + q_k \cdot \Psi_2 = h \cdot 25 + 1,5 + 3 \cdot 0,3. \quad (3)$$

Изчислителните характеристики на материалите са определени според [3]: класът на бетона е приведен към еквивалентния на В15 – С12/16 с изчислителна якост на натиск $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_s = 12 \cdot 1 / 1,5 = 8 \text{ N/mm}^2$; изчислителната граница на провлачване е приета $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 235 / 1,15 = 204 \text{ N/mm}^2$. Изчислителният момент M_{Ed} , пресметнат за така определеното изчислително натоварване, се сравнява с граничния момент M_{lim} , определен съгласно [6] – табл. 2. При всички височини се оказва, че плочата няма достатъчна носимоспособност на огъване.

3.2. Напрегнато и деформирано състояние на критичните сечения от предварително натоварване

Приема се усилването на плочите да се изследва за стойности на предварителното натоварване p_1 , равни на 0, 20, 40, 60, 80 и 100% от квазипостоянното натоварване. За най-големия момент от предварително натоварване $M_{p1} = M_{qp}$ е определен случаят на напрегнато и деформирано състояние на критичното сечение преди усилване съгласно [6]. За този момент, а следователно и за всички по-малки моменти от предварително натоварване, се получава случай 2, отговарящ на непровлачила армировка и непластифицирал (с деформации под 0,00175) бетон – табл. 2. За този случай, като се използва предложеният в [6] алгоритъм, се определят напреженията $\sigma_{ce,p1}$ и $\sigma_{se,p1}$ и деформациите $\varepsilon_{ce,p1}$ и $\varepsilon_{se,p1}$ в бетона и армировката в критичното сечение от различни стойности на предварително натоварване и за различните височини на плочата. Определени са и съответно максимално допустимите напрежения в бетона и армировката от натоварване, приложено след усилването – $\max\sigma_{ce,p2}$ и $\max\sigma_{se,p2}$. Съответните стойности на напреженията и деформациите са показани в табл. 3.

Таблица 2. Проверка за необходимостта от усилване и случая на напрегнато и деформирано състояние на критичното сечение от предварително натоварване

| h | M_{lim} | p_{Ed} | M_{Ed} | $M_{lim} < M_{Ed}$ | p_{qp} | M_{qp} | $M_{sy(a)}$ | $M_{qp} < M_{sy(a)}$ |
|-----|-----------|-------------------|----------|--------------------|-------------------|----------|-------------|----------------------|
| cm | kN.m/m | kN/m ² | kN.m/m | | kN/m ² | kN.m/m | kN.m/m | |
| 8 | 7,32 | 9,23 | 8,91 | да – усилване | 4,40 | 4,25 | 6,71 | да – сл. 2 |
| 10 | 8,17 | 9,90 | 9,70 | да – усилване | 4,90 | 4,80 | 7,35 | да – сл. 2 |
| 12 | 8,80 | 10,58 | 10,51 | да – усилване | 5,40 | 5,37 | 7,91 | да – сл. 2 |
| 14 | 9,52 | 11,25 | 11,34 | да – усилване | 5,90 | 5,95 | 8,57 | да – сл. 2 |

Таблица 3. Определяне на напреженията и деформациите в критичното сечение от предварително натоварване

| p_1 | h | M_{p1} | $\varepsilon_{se,p1}$ | $\sigma_{se,p1}$ | $\varepsilon_{ce,p1}$ | $\sigma_{ce,p1}$ | $\max\sigma_{se,p2}$ | $\max\sigma_{ce,p2}$ |
|--------------------|-----|----------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | cm | kN.m/m | - | N/mm ² | - | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² |
| p_{qp} | 8 | 4,25 | 0,00065 | 130 | 0,00093 | 4,25 | 75 | 3,75 |
| | 10 | 4,80 | 0,00067 | 134 | 0,00068 | 3,10 | 71 | 4,90 |
| | 12 | 5,37 | 0,00069 | 139 | 0,00059 | 2,70 | 66 | 5,30 |
| | 14 | 5,95 | 0,00071 | 142 | 0,00050 | 2,28 | 63 | 5,72 |
| $0,8 \cdot p_{qp}$ | 8 | 3,40 | 0,00052 | 104 | 0,00074 | 3,40 | 101 | 4,60 |
| | 10 | 3,84 | 0,00053 | 107 | 0,00054 | 2,48 | 98 | 5,52 |
| | 12 | 4,29 | 0,00056 | 111 | 0,00047 | 2,16 | 93 | 5,84 |
| | 14 | 4,76 | 0,00057 | 113 | 0,00040 | 1,82 | 91 | 6,18 |

| p_1 | h | M_{p1} | $\varepsilon_{se,p1}$ | $\sigma_{se,p1}$ | $\varepsilon_{ce,p1}$ | $\sigma_{ce,p1}$ | $\max\sigma_{se,p2}$ | $\max\sigma_{ce,p2}$ |
|---------------------|-----|----------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | cm | kN.m/m | - | N/mm ² | - | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² |
| 0,6.p _{qp} | 8 | 2,55 | 0,00039 | 78 | 0,00056 | 2,55 | 127 | 5,45 |
| | 10 | 2,88 | 0,00040 | 80 | 0,00041 | 1,86 | 124 | 6,14 |
| | 12 | 3,22 | 0,00042 | 83 | 0,00035 | 1,62 | 121 | 6,38 |
| | 14 | 3,57 | 0,00043 | 85 | 0,00030 | 1,37 | 119 | 6,63 |
| 0,4.p _{qp} | 8 | 1,70 | 0,00026 | 52 | 0,00037 | 1,70 | 153 | 6,30 |
| | 10 | 1,92 | 0,00027 | 53 | 0,00027 | 1,24 | 151 | 6,76 |
| | 12 | 2,15 | 0,00028 | 56 | 0,00024 | 1,08 | 149 | 6,92 |
| | 14 | 2,38 | 0,00028 | 57 | 0,00020 | 0,91 | 148 | 7,09 |
| 0,2.p _{qp} | 8 | 0,85 | 0,00013 | 26 | 0,00019 | 0,85 | 178 | 7,15 |
| | 10 | 0,96 | 0,00013 | 27 | 0,00014 | 0,62 | 178 | 7,38 |
| | 12 | 1,07 | 0,00014 | 28 | 0,00012 | 0,54 | 177 | 7,46 |
| | 14 | 1,19 | 0,00014 | 28 | 0,00010 | 0,46 | 176 | 7,54 |
| 0 | 8 | 0,00 | 0,00000 | 0 | 0,00000 | 0,00 | 204 | 8,00 |
| | 10 | 0,00 | 0,00000 | 0 | 0,00000 | 0,00 | 204 | 8,00 |
| | 12 | 0,00 | 0,00000 | 0 | 0,00000 | 0,00 | 204 | 8,00 |
| | 14 | 0,00 | 0,00000 | 0 | 0,00000 | 0,00 | 204 | 8,00 |

3.3. Оразмеряване на усилването

Оразмеряването на усилването става в два алтернативни варианта:

- усилване чрез торкретиране от долната страна на плочата, при което се оразмерява усилващата опънна армировка $A_{s,r}$; армировката е приета от клас В420 с изчислителна граница на провлачване 365 N/mm²;
- усилване чрез допълнителна бетонна доливка от горната страна на плочата (в натискова зона), при което се оразмерява височината на доливката $h_{r,req}$; класът на новия бетон е приет в изчисленията равен на съществуващия – С12/16.

Дебелината на торкрета се приема във всички случаи 5 cm, а покритието на носещата армировка – 25 mm, спрямо което е изчислена и полезната височина на новата армировка d_r). Натоварването от собствено тегло на усилването е отразено при определянето на изчислителния момент, съответно на момента след усилване $M_{p2} = M_{Ed} - M_{p1}$. В случая на усилване с доливка оразмерителният процес е итеративен – избира се начална дебелина на доливката $h_{r,0}$, изчислява се моментът M_{p2} , с който се провежда оразмеряването съгласно [6]. Ако получената дебелина на доливката е по-голяма от първоначално приетата, се преизчислява с новата височина. Процесът се повтаря до получаване на сходимост на резултатите. Ако сходимост не се получи до увеличаване на височината до една приета като максимално допустима стойност, например 150 mm, следва да се приеме, че избраната техника за усилване не е подхо-

дяща и би трябвало да се избере по-ефективна техника за усилване (в табл. 4 при тези случаи не е направен финален избор на височина на доливката $h_{r,prov}$). Тук с изследователска цел са търсени стойностите на сходимост във всички случаи. Както се вижда от табл. 4, в два от случаите сходимост на резултатите не може да се получи и при безкрайно голяма стойност на височината на доливката, където за безкрайно голяма височина, предвид на физическия смисъл на параметъра, е приета 10 000 mm. Вижда се също така, че увеличение на класа на бетона на доливката няма да доведе до подобрене на резултатите, тъй като височината на натисквата зона x във всички случаи е не по-голяма от 20 mm, а големите стойности на височината на доливката се получават поради големи стойности на рамото на вътрешната двоица z_r , които от своя страна се получават поради акумулиране на големи напрежения в армировката от предварително натоварване $\sigma_{se,pl}$.

Таблица 4. Определяне на необходимата нова армировка при торкретиране и на дебелината на доливката при усилване в натискава зона

| p_1/p_{qp} | h | торкрет | | | бетонна доливка | | | | | | | |
|--------------|-----|----------|--------|-----------|--------------------|----------|--------|------|-------|-------------|---------------------|--------------|
| | | M_{p2} | d_r | $A_{s,r}$ | $h_{r,0}$ | M_{p2} | z_r | x | d_r | $h_{r,req}$ | $h_{r,req}/h_{r,0}$ | $h_{r,prov}$ |
| | | cm | kN.m/m | mm | mm ² /m | mm | kN.m/m | mm | mm | mm | | |
| 1 | 8 | 6,29 | 102 | 116 | 121 | 8,61 | 183 | 7,3 | 186 | 121 | 1,00 | 140 |
| | 10 | 6,55 | 122 | 89 | 752 | 29,76 | 836 | 5,6 | 838 | 752 | 1,00 | - |
| | 12 | 6,82 | 142 | 80 | 10000 | 340,6 | 11480 | 4,6 | 11482 | 11381 | 1,14 | - |
| | 14 | 7,10 | 162 | 72 | 10000 | 345,7 | 13737 | 3,9 | 13739 | 13618 | 1,36 | - |
| 0,8 | 8 | 7,14 | 102 | 114 | 54 | 7,26 | 115 | 9,9 | 119 | 54 | 1,00 | 60 |
| | 10 | 7,51 | 122 | 88 | 113 | 9,59 | 196 | 7,7 | 199 | 113 | 1,00 | 120 |
| | 12 | 7,90 | 142 | 79 | 238 | 14,21 | 337 | 6,6 | 339 | 238 | 1,00 | - |
| | 14 | 8,28 | 162 | 71 | 884 | 36,68 | 1003 | 5,7 | 1005 | 884 | 1,00 | - |
| 0,6 | 8 | 7,99 | 102 | 112 | 34 | 7,46 | 94 | 12,4 | 99 | 34 | 1,00 | 50 |
| | 10 | 8,47 | 122 | 86 | 58 | 8,73 | 140 | 9,8 | 144 | 58 | 1,00 | 60 |
| | 12 | 8,97 | 142 | 77 | 92 | 10,37 | 189 | 8,6 | 193 | 92 | 1,00 | 100 |
| | 14 | 9,47 | 162 | 69 | 152 | 12,93 | 270 | 7,5 | 273 | 152 | 1,00 | - |
| 0,4 | 8 | 8,84 | 102 | 111 | 25 | 8,01 | 84 | 15,0 | 90 | 25 | 1,00 | 50 |
| | 10 | 9,43 | 122 | 85 | 38 | 9,03 | 119 | 11,9 | 124 | 38 | 1,00 | 50 |
| | 12 | 10,04 | 142 | 75 | 55 | 10,20 | 151 | 10,5 | 156 | 55 | 1,00 | 50 |
| | 14 | 10,66 | 162 | 68 | 79 | 11,65 | 196 | 9,3 | 200 | 79 | 1,00 | 80 |
| 0,2 | 8 | 9,69 | 102 | 109 | 20 | 8,70 | 78 | 17,5 | 85 | 20 | 1,00 | 50 |
| | 10 | 10,40 | 122 | 83 | 28 | 9,66 | 108 | 14,0 | 114 | 28 | 1,00 | 50 |
| | 12 | 11,12 | 142 | 74 | 38 | 10,72 | 134 | 12,5 | 139 | 38 | 1,00 | 50 |
| | 14 | 11,85 | 162 | 66 | 52 | 11,92 | 168 | 11,1 | 173 | 52 | 1,00 | 60 |
| 0 | 8 | 10,54 | 102 | 108 | 17 | 9,46 | 74 | 20,1 | 82 | 17 | 1,00 | 50 |
| | 10 | 11,36 | 122 | 82 | 22 | 10,43 | 102 | 16,0 | 108 | 22 | 1,00 | 50 |
| | 12 | 12,19 | 142 | 73 | 29 | 11,49 | 124 | 14,4 | 130 | 29 | 1,00 | 50 |
| | 14 | 13,04 | 162 | 65 | 38 | 12,63 | 154 | 12,8 | 159 | 38 | 1,00 | 50 |

3.3. Анализ на резултатите

3.3.1. За усилване чрез торкретиране от долната страна на плочата

Получените стойности на необходимата допълнителна опънна армировка са систематизирани в табл. 5, като е показано и процентно сравнение на всеки от резултатите с този, получен при нулево предварително натоварване за съответната плоча. Процентната разлика е определена по формулата

$$\delta_{a,req} = \left(\frac{A_{s,req}(p_1)}{A_{s,req}(0)} - 1 \right) \cdot 100\% , \quad (4)$$

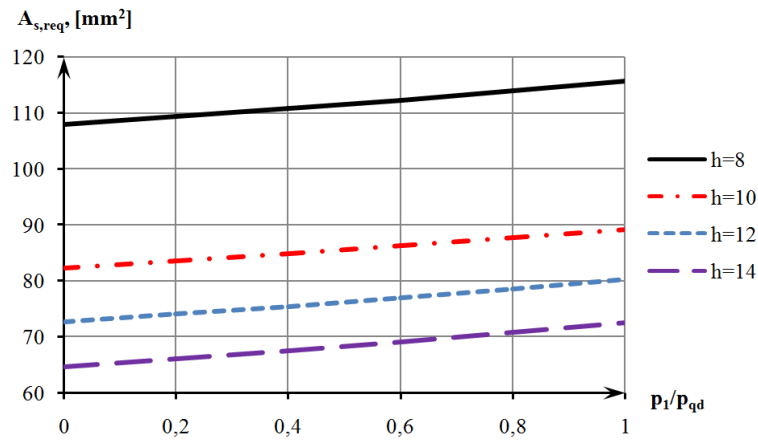
където $A_{s,req}(p_1)$ е необходимата армировка при предварително натоварване p_1 , а $A_{s,req}(0)$ – при нулево предварително натоварване.

Резултатите са показани и графично на фиг. 1 и фиг. 2. Получените абсолютни стойности за необходима допълнителна опънна армировка са малки и във всички случаи могат да бъдат покрити с 5 пръта на метър с диаметър Ф6, отговарящи на $141 \text{ mm}^2/\text{m}$. Това се дължи на неговията разлика от около 20% между изчислителния и граничния момент. Най-много допълнителна армировка е необходима при най-тънката плоча с най-голям коефициент на армиране (при "силна" армировка), което се дължи на по-малкото рамо на вътрешната двоица.

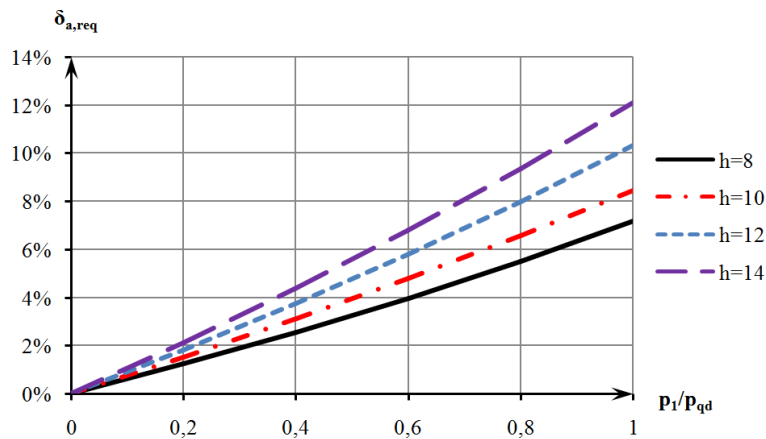
По-интересно в случая е изменението на резултатите. От диаграмите на фиг. 1 и фиг. 2 се вижда, че стойността на необходимата армировка нараства при нарастване на предварителното натоварване, като зависимостта е много близка до линейна. При това влиянието на предварителното натоварване е по-голямо при дебели плочи с малък коефициент на армиране, т.е. при плочи със "слаба" армировка и "силен" бетон: при плочата с височина 14 cm увеличението на необходимата армировка достига до 12%, докато при плочата с височина 8 cm – до 7%. Това означава, че в някои случаи влиянието на предварителното натоварване върху количеството на усилващата опънна армировка може да бъде в рамките на стандартното преоразмеряване при финален избор на армировка, при което неотчитането му няма да окаже влияние. Когато обаче предварителното натоварване е сравнително голямо или армировката е "слаба", влиянието на предварителното натоварване не може да бъде пренебрегнато.

Таблица 5. Сравнение на необходимата допълнителна опънна армировка при усилване чрез торкретиране при различни стойности на предварителното натоварване

| $P\sqrt{P_{qp}}$ | $h = 8$ | | $h = 10$ | | $h = 12$ | | $h = 14$ | |
|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| | $A_{s,req}$ | $\delta_{a,req}$ | $A_{s,req}$ | $\delta_{a,req}$ | $A_{s,req}$ | $\delta_{a,req}$ | $A_{s,req}$ | $\delta_{a,req}$ |
| 1 | 116 | 7,2% | 89 | 8,5% | 80 | 10,3% | 72 | 12,1% |
| 0,8 | 114 | 5,5% | 88 | 6,6% | 79 | 8,0% | 71 | 9,4% |
| 0,6 | 112 | 4,0% | 86 | 4,8% | 77 | 5,8% | 69 | 6,8% |
| 0,4 | 111 | 2,6% | 85 | 3,1% | 75 | 3,8% | 68 | 4,4% |
| 0,2 | 109 | 1,2% | 83 | 1,5% | 74 | 1,8% | 66 | 2,1% |
| 0 | 108 | 0,0% | 82 | 0,0% | 73 | 0,0% | 65 | 0,0% |



Фиг. 1. Зависимост на необходимата допълнителна опънна армировка от стойността на предварителното натоварване



Фиг. 2. Зависимост на изменението на допълнителната опънна армировка от стойността на предварителното натоварване

Трябва да се отбележи, че при елементи, различни от плочи, например греди с правоъгълно напречно сечение, при които височината и широчината на натисквата зона са съизмерими (докато при плочи широчината на натисквата зона е обикновено десетки пъти по-голяма от височината), резултатите може да имат доста по-различен характер.

3.3.2. За усилване чрез бетонна доливка от горната страна на плочата

Получените стойности на необходимата височина на доливката са систематизирани в табл. 6, като е показано и процентно сравнение на всеки от резултатите с този, получен при нулево предварително натоварване за съответната плоча. Процентната разлика е определена по формулата

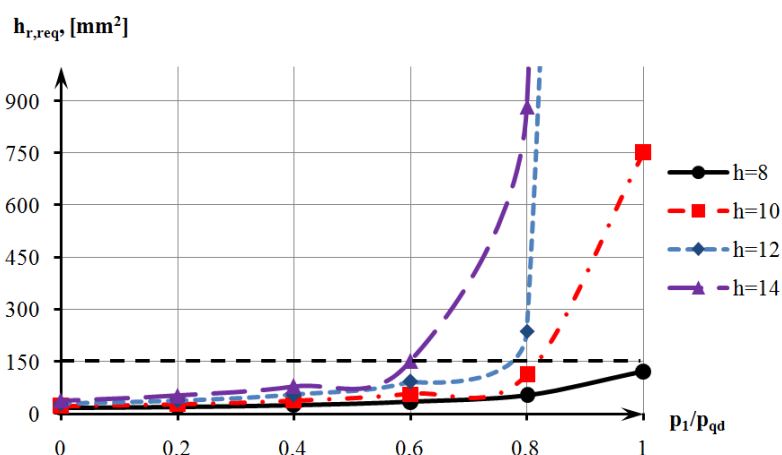
$$\delta_{h,req} = \left(\frac{h_{r,req}(P_1)}{h_{r,req}(0)} - 1 \right) \cdot 100\% , \quad (3)$$

където $h_{r,req}(p_1)$ е необходимата височина на доливката при предварително натоварване p_1 , а $h_{r,req}(0)$ – при нулево предварително натоварване.

Резултатите са показани и графично на фиг. 3 и фиг. 4. Вижда се, че тук влиянието на предварителното натоварване е много по-силно, като при големи негови стойности може дори да се окаже, че тази техника на усилване е на практика неприложима.

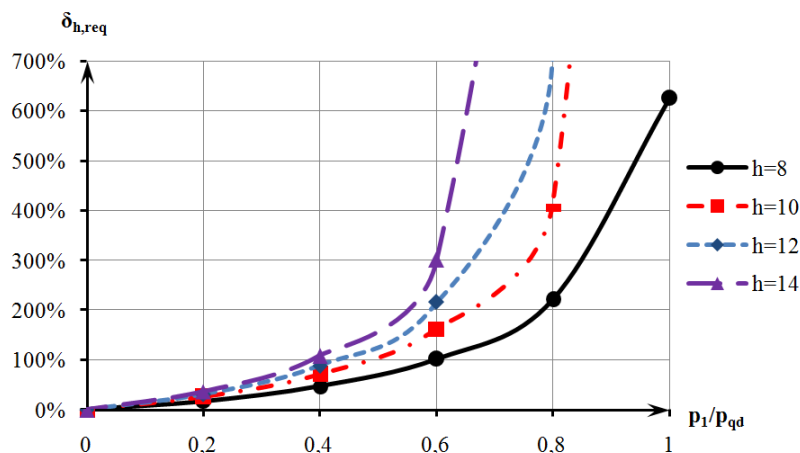
Таблица 6. Сравнение на необходимата бетонна доливка при усилване в натискава зона при различни стойности на предварителното натоварване

| p_1/p_{qd} | $h = 8$ | | $h = 10$ | | $h = 12$ | | $h = 14$ | |
|--------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| | $h_{r,req}$ | $\delta_{h,req}$ | $h_{r,req}$ | $\delta_{h,req}$ | $h_{r,req}$ | $\delta_{h,req}$ | $h_{r,req}$ | $\delta_{h,req}$ |
| 1 | 121 | 626% | 752 | 3327% | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| 0,8 | 54 | 222% | 113 | 413% | 238 | 721% | 884 | 2237% |
| 0,6 | 34 | 103% | 58 | 163% | 92 | 216% | 152 | 301% |
| 0,4 | 25 | 48% | 38 | 72% | 55 | 89% | 79 | 109% |
| 0,2 | 20 | 18% | 28 | 27% | 38 | 32% | 52 | 37% |
| 0 | 17 | 0% | 22 | 0% | 29 | 0% | 38 | 0% |



Фиг. 3. Зависимост на необходимата височина на бетонната доливка от стойността на предварителното натоварване

Стойността на предварителното натоварване, след която усилването чрез допълнителна бетонна доливка може да се счита за неефективно, варира в зависимост от дебелината на плочата и съответно от нейния коефициент на армиране: при "слаба" армировка тази стойност е много по-ниска, в сравнение със случаите на "силна" армировка. В конкретния случай стойността се изменя от около $0,6p_{qd}$ за най-слабо армираната плоча с дебелина 14 cm до около p_{qd} за най-силно армираната плоча с дебелина 8 cm.



Фиг. 4. Зависимост на изменението на необходимата височина на бетонната доливка от стойността на предварителното натоварване

4. Заключение

В тази статия е изследвано влиянието на предварителното натоварване върху количеството на допълнителната опънна армировка при усилване в опънна зона и съответно върху височината на бетонната доливка при усилване в натискава зона на стоманобетонни плочи с недостатъчна носимоспособност на огъване. За целта е разгледан числен пример при различни дебелини и съответно проценти на армиране на съществуващата еднопосочно армирана плоча.

Резултатите показват, че в някои случаи влиянието на предварителното натоварване върху количеството на усилващата опънна армировка може да бъде в рамките на стандартното преоразмеряване при финален избор на армировка, при което неотчитането му няма да окаже влияние. Когато обаче предварителното натоварване е сравнително голямо или армировката е "слаба", влиянието на предварителното натоварване не може да бъде пренебрегнато. По отношение на усилването чрез бетонна доливка, влиянието на предварителното натоварване е много по-силно, като при големи негови стойности може дори да се окаже, че тази техника на усилване е на практика неприложима.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1990:2002 Еврокод: Основни положения за проектиране на строителните конструкции.
2. БДС EN 1991-1-1:2002 Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Част 1-1: Основни въздействия. Плътности, собствени тегла и полезни натоварвания в сгради.
3. БДС EN 1992-1-1:2004 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.
4. Норми за натоварвания и въздействия върху сгради и съоръжения. 1989.

5. Норми за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. 1987.

6. Чардакова, Т., К. Възгечев, М. Трайкова. Усилване на конструктивни елементи от монолитни стоманобетонни скелетно-гредови конструкции – Числени примери. "Нова Кампания", С., 2015.

7. Patrikh, K., C. D. Modhera. Application of GFRP on Preloaded Retrofitted Beam for Enhancement in Flexural Strength. International Journal of Civil and Structural Engineering, Vol. 2, No. 4, 2012.

8. Staskiewicz, M., R. Kotynia, K. Lasek. Flexural Behavior of Preloaded RC Slabs Strengthened with Prestressed CFRP Laminates. Journal of Composites for Construction, June 2014.

INFLUENCE OF THE VALUE OF THE PRELIMINARY LOADING IN THE DESIGN OF THE STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE SLABS WITH REINFORCED CONCRETE

T. Chardakova¹, M. Traykova²

Keywords: strengthening, reinforced concrete, preliminary loading

Research area: retrofitting and strengthening of RC structures

ABSTRACT

The value of the preliminary loading of a strengthened slab is very important for the final solution. The strengthening part can only participate in the bearing of loads which are applied after the strengthening. The most popular approach in the practice is to design the strengthened slab as a new one with full loads, which is usually not on the safe side.

This paper addresses the influence of the value of the preliminary loading of RC slabs under strengthening with reinforced concrete on the final parameters of the strengthening structure – thickness of the added concrete layer when the strengthening is in the compression zone and quantity of the reinforcement when it is in the tension zone. For this purpose a numerical example is presented – one-way simply supported RC slab, with insufficient bending capacity. Two strengthening alternatives are considered - additional concrete layer at the top side of the slab or additional tension reinforcement and shotcreting at the bottom side. The value of the preliminary loading varies from zero to the quasi-permanent loading.

¹ Tanya Chardakova, Dr. Eng., e-mail: tanq_chardakova@abv.bg

² Marina Traykova, Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: marina5261@abv.bg

