

## ЗНАЧАЈ МЕРЕ ИЗДРЖЉИВОСТИ У ПРОЈЕКТИМА ПОДНИХ ПЛОЧА АРМИРАНИХ ВЛАКНИМА

Никола Гаžo<sup>1</sup>

Милан Бошњаковић<sup>2</sup>

УДК: 692.53:620.178.3

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.016

**Резиме:** *Раџом је истакнут значај дефинисања мере издржљивости као јединог релевантног параметра приликом пројектовања подних плоча армираних влакнима. Корелација носивости подне плоче и мере издржљивости приказана је аналитички и кроз практичан пример у случају одабраног пројекта из домаће праксе.*

**Кључне речи:** *Подне плоче, влакна, мера издржљивости, носивост плоче, дозажа*

### 1. УВОД

Бетон армиран влакнима има побољшане механичке карактеристике, од којих је најзначајнија повећање његове способности апсорпције енергије и искоришћење заостале-резидуалне носивости (*residual strength*) елемента, кроз пластичне деформације, односно повећање издржљивости (енг. *toughness* или понекад *ductility*) при савијању кроз пластификацију материјала.

Управо је мера издржљивости меродаван параметар за избор влакана и прорачун бетонске конструкције армиране влакнима и као таква непоходно је да буде експлицитно дефинисана у пројектима подних плоча, што у домаћој пракси није случај.

### 2. ВЛАКНА

Најзначајнија подела влакана је у погледу њихове функције, на макро и микро влакна, од којих само макро влакна учествују у прерасподели напона и стварању резидуалне чврстоће, квантификоване кроз меру издржљивости. Макро влакна су најчешће израђена од високовредног челика или полипропилен специјалне структуре. Механичке карактеристике челичних и макро-синтетичких влакана су, редом, у следећем опсегу:

<sup>1</sup> Никола Гаžo, дипл. грађ. инж. MISP-IPA2010-EPTISA, Шуматовачка 3а, Београд, Србија, тел: 064 2469420 gazo.nikola@gmail.com

<sup>2</sup> Милан Бошњаковић, дипл. грађ. инж. Институт за путеве, Кумодрашка 257, Београд, Србија, тел: 064 1790970 milan.bosnjakovic@highway.rs

Табела 1. карактеристике челичних и макро-синтетичких влакана

	челична влакна	макро-синтетичка влакна
затезна чврстоћа	950-1700 МПа	350-700 Мпа
модуо еластичности	200 GPa	3.0-3.5 GPa
специфична тежина	7.8 t/m <sup>3</sup>	0.9 t/m <sup>3</sup>
пречник	0.25-1.2 mm	10-50 μm
дужина	20-70mm	40-50 mm

Постоје разни облици влакна: од правих до закривљених, деформисаних и тестерастих, док облик попречног пресека варира између кружног, полукружног и правоугаоног.



Слика 1: Различита геометрија челичних влакана [1]

Количина влакана која се додаје бетонској маси изражава се као маса влакана у јединици запремине бетона, а дозажа је у опсегу 20-100kg/m<sup>3</sup> за челична и 1.8-7.0 kg/m<sup>3</sup> за макро-синтетичка влакна. Услед огромне разноликости самих влакана и сложених фактора интеракције бетона и влакана, меру издржљивости није могуће предвидети на основу елементарних карактеристика влакана и бетона, већ је неопходно испитати готов композит.

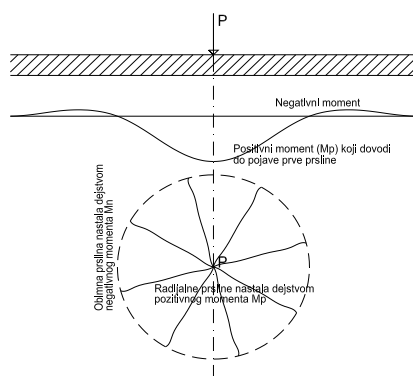
### 3. МЕРА ИЗДРЖЉИВОСТИ (TOUGHNESS)

Издржљивост, односно мера издржљивости дефинисана је као могућност композита да прихвати оптерећења и након појаве прве прслине у бетону. Појавом прве прслине у бетону долази до активације челичних влакана која имају могућност прерасподеле утицаја (енергије) и напрезања у елементу, због чега бетони армирани челичним влакнима и након појаве прслина поседују носивост. Постојање дуктилности и живавости у композиту доводи до резидуалног капацитета на савијање, који је последица пластичног понашања материјала и може се искористити за пројектовање конструкција с контролисаним деформацијама, као што су плоче ослоњене на тло. Прорачун носивости конструкција армираних челичним влакнима, заснован је на принципима теорије пластичности и спроводи се на основу мере издржљивости, односно заостале носивости. Меру издржљивости треба препознати као једини релевантан параметар приликом пројектовања бетонских конструкција армираних влакнима, а као репрезентативан пример из праксе, наводи се примена код плоча ослоњених на тло, армираних челичним макро влакнима. Подне плоче армиране влакнима се увелико примењују у домаћој пракси, иако је евидентан недостатак критеријума за њихово пројектовање и извођење. Примена мере издржљивости је најзначајнија

приликом димензионисања предметних плоча и параметар кроз који се, приликом извођења, одабира одговарајућа дозажа изабраних влакана. У даљем тексту дат је пример у коме се показује неподобност одређивања дозаже влакана без специфицирања захтеване (пројектоване) мере издржљивости.

#### 4. ПРОРАЧУН ПОДНЕ ПЛОЧЕ АРМИРАНЕ ВЛАКНИМА – ПРИМЕР

У даљем тексту приказан је пример пројекта подне плоче у оквиру производне хале у Србији, где је пројектним задатком задато оптерећење V300 и/или 50 kN/m<sup>2</sup>. За конкретан прорачун меродавно је оптерећење од возила V300. Збијеност подлоге је 80MPa према подацима из пројекта без разматрања конкретних геотехничких услова.



Слика 2: Линије лома у подној плочи према [2]

Применом теорије линија лома, гранична концентрисана сила за лом плоче по кружној линији лома (периметарска линија лома са горње стране плоче, а радијалне линије лома са доње стране плоче, слика 2), за силу на релативној удаљености од ивице плоче, занемарујући учешће носивости еластичне подлоге, може се израчунати следећим формулама:

$$P_u = 2\pi(M_p + M_n) \quad \text{за } a/l = 0$$

$$P_u = 4\pi(M_p + M_n) / \left(1 - \frac{a}{3l}\right) \quad \text{за } a/l > 0.20$$

где је: **M<sub>p</sub>** – гранични позитивни момент (са доње стране); **M<sub>n</sub>** – гранични негативни момент (са горње стране), **a** – замењујући полупречник оптерећене површи, **l** – полупречник релативне крутости система плоче и подлоге.

Граничне вредности носивости позитивног и негативног момента савијања:

$$M_p = \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_c} \cdot R_{e,3} \cdot \frac{h^2}{6}; \quad M_n = \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_c} * \frac{h^2}{6}$$

где је: **h** – укупна дебелина бетонске плоче; **R<sub>e,3</sub>** – мера издржљивости (добijена по Јапанском стандарду) [5],[6]. Минимална потребна вредност за примену датог поступка је 0.3 [2],[3]; **f<sub>ctk,fl</sub>** – чврстоћа на савијање неармираног бетона (по

стандарду за бетон), по потреби редукована за акумулиране напоне од скупљања;  $\gamma_c$  – парцијални фактор сигурности за бетон (према "ЕС")

Прорачун потребне дебљине подне плоче спроводи се итеративно, тако што се усвоји класа бетона и мера издржљивости бетона армираног влакнима, а претпостави дебљина плоче, при чему је претходно већ усвојена диспозиција спојница и одређена носивост подлоге. За тако дефинисане параметре спроводи се прорачун граничне силе која се упоређује са оперећењем увећаним са одговарајућим фактором сигурности.

$$P_{u,min} > P \cdot \gamma_q \quad (4)$$

где је: **P<sub>u,min</sub>** – минимално гранично оптерећење према свим граничним условима **P** – меродавно оптерећење,  $\gamma_q$  – одговарајући парцијални фактор сигурности за оптерећење (према "ЕС")

Према усвојеним подацима у примеру, за C30/37, чврстоћа на савијање бетона је  $f_{ctk,fl} = 4.06$  МПа, која се редукује за величину нагомиланих напона од спречених померања услед скупљања. Уколико се прецизно не анализирају заостали напони, препоручује се редукација за вредност од 1.5Мпа, те је рачунска чврстоћа на савијање  $f_{ctk,fl}'' = 2.56$  Мпа. За возило V300, димензије точка су 20x40cm, те је однос замењујућег полупречника и полупречника релативне крутости ( $a/l$ ) између датих граница за примену формула, па је неопходно применити интерполацију. Из наведеног следи да је гранични негативни (са горње стране) момент савијања

$$M_n = \frac{2.56 * 10^{-3}}{1.5} \cdot \frac{0.2^2}{6} = 11.37 KNm$$

За одређивање граничног позитивног (са доње стране) момента, неопходно је усвојити меру издржљивости којом се уводи у прорачун резидуална чврстоћа бетона у пластичној области након појаве прелине. Дискреционо право пројектанта је да усвоји потребну меру издржљивости, као приликом усвајања класе и количне класичне арматуре, на основу које се одређује крајња носивост. Усвојено за дати пример  $R_{e,3} = 0.50$ , па је:

$$M_p = \frac{2.56 * 10^{-3}}{1.5} \cdot \frac{0.2^2}{6} * 0.50 = 5.68 KNm$$

након интерполације вредности добијене применом израза (1) и (2), добија се гранична сила  $P_{u,1} = 150KN$ , односно редукацијом са парцијалним фактором сигурности  $\gamma_q = 1.60$ , срачуната је допуштена сила  $P_{d,op} = 94KN$  у пољу плоче.

За потребе извођења, потребно је дефинисати количину изабраних влакана (дозажу), која је у јединственој функцији од тражене мере издржљивости за сваку појединачну врсту влакана, што је илустровано на примеру неколико типова различитих влакана од различитих произвођача:

Tabela 3. потребна дозажа  $[kg/m^3]$  за захтевану меру издржљивости  $R_{e,3}$  [8]

ознака влакана / декларисани $R_{e,3}$	0.30	0.50	0.60	0.80
SH 80/60	<15	20	25	35
FS3N	20	30	40	55
FF1	15	20	30	45
CHO 65/35	<15	25	35	50

Потребна количина влакна за захтевану меру издржљивости је декларисана од стране произвођача на техничком листу производа, а у складу са релевантним стандардима. Приказаним примером је укратко илустровано да пројектовањем само дозаже влакана у подним плочама армираним влакнима, није једнозначно одређена носивост плоче. Наведени пример из праксе илуструје још један важан аспект значаја прецизног прорачуна, а то је економичност пројеката подних плоча у функцији одговарајућих прорачуна, примене и адекватног дефинисања влакана за макро армирање.

Према оригиналном пројекту, наведена подна плоча, дебљине 25cm, армирана је мрежастом арматуром Q335 у обе зоне плоче и са 7.0 kg/m<sup>3</sup> челичних влакана. С обзиром на очигледну предимензионисаност, пројекат је ревидован, тако да је усвојена подна плоча дебљине 20cm, армирана у доњој зони мрежастом арматуром Q335 и ојачана челичним влакнима у дози од 25kg/m<sup>3</sup>. У оба случаја предложено је комбиновано армирање са мрежастом арматуром и влакнима, с тим да ни у једној варијанти није дефинисана потребна мера издржљивости влакана, нити је на прави начин утицај влакана уведен у прорачун. Према приказаном упрошћеном и скраћеном прорачуну, потребна носивост плоче је обезбеђена само армирањем влакнима која су декларисана са вредношћу мере издржљивости  $R_{e,z} = 0.50$ , што у зависности од изабраног типа влакана одговара дози у опсегу 0.20-0.30 кг/м<sup>3</sup>.

\* Табела 3. упоредни приказ пројектованих решења са компарацијом материјала и вредности радова

	дебљина плоче	арматура горње / доње зоне	челична влакна	количина			вредност изградње
				бетона	арматур е	влакан а	
				[m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Иницијални пројекат	25	Q335 / Q335	7	0.25	13.06	1.75	41.36
ревидовани пројекат	20	- / Q335	25	0.20	6.53	5.00	33.88
приказани прорачун	20	- / -	25	0.20	0.00	5.00	28.00

Вредност радова је срачуната на бази претпоставке о јединичним ценама (бетон: 110 €/m<sup>3</sup>, арматурна мрежа: 0.90€/kg, влакна: 1.20€/kg). Ревидовано решење је око 18% економичније од иницијалног, а приказано решење још додатних 17%.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Из приказаног примера, недвосмислено се може закључити да пројектовањем подних плоча армираних влакнима, без адекватне анализе утицаја влакна и дефинисања мере издржљивости као јединог релевантног параметра, могу се произвести неекономична решења, а у неким случајевима и подбачаји у смислу адекватне носивости. У светлу горе наведених примера и чињеница, аутори сматрају да је мера издржљивости једини релевантан параметар при одређивању квалитета бетона и да као таква мора једнозначно бити дефинисана у пројекту, што није реалност у домаћој пракси, где се дозажа влакана усваја без икаквог

прорачуна, образложења или осврта на тип и потребне карактеристике влакана, што је непрецизно и неоправдано. Овим радом аутори указују на потребу увођења регулативе у ову област грађевинских конструкција, усвајањем одређеног иностраног прописа или формирањем новог, како би се уредила област пројектовања и извођења подних плоча, као и начин тестирања и специфицирања влакана и њиховог утицаја на издржљивост бетона. Укључивање шире стручне јавности и регулисање ове области би допринело квалитету и одрживости пројеката у којима се примењују плоче армиране влакнима.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] James I. Daniel, Vellore S. Gopalaratnam and others Reported by ACI Committee 544 - State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete Design, **1996**
- [2] Concrete industrial floor - a guide to design and construction, Technical report no. 34 third edition, Concrete society, **2003**
- [3] Frank Papworth, Royce Ratcliffe, Peter Norton, Design of steel fiber reinforced concrete slabs on ground and shotcrete linings
- [4] [http://www.concreteflooring.co.za/files/content/docs/norfibre\\_paper.pdf](http://www.concreteflooring.co.za/files/content/docs/norfibre_paper.pdf) (март **2015**)
- [5] Patrick Greer, Fiber reinforced concrete,
- [6] [http://www.foundationperformance.org/pastpresentations/Greer\\_FPAPresSlides-13June12.pdf](http://www.foundationperformance.org/pastpresentations/Greer_FPAPresSlides-13June12.pdf) (март **2015**)
- [7] ASTM 1018 standard
- [8] JSCE-SF4 standard
- [9] Luc Lemoine, Steel fibers reinforced concrete for slabs on ground: from knowledge to application, 2nd Material Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering Montréal, Québec, Canada, June 5-8, **2002**
- [10] Никола Гаžo и Милан Бошњакковић, Прорачун дебљине бетонских подних плоча армираних влакнима, Конгрес ДГКС Нови Сад, **2014**
- [11] Александар Цветановић, Боровоје Банић, Коловозне конструкције, Академска мисао

## IMPORTANCE OF TOUGHNESS PARAMETER IN DESIGN OF FIBER REINFORCED FLOOR SLABS

*Summary: The paper emphasized importance of the toughness parameter as the only relevant parameter in design of steel fiber reinforced floor slabs. Correlation between floor slab bearing capacity and toughness is shown analytically and through an example in case study of chosen domestic project.*

*Keywords: Floor slab, fiber, toughness, floor slab bearing capacity, dosage*