

ECONOMIC DEPTH OF SOLID ONE-WAY RC SLABS TO PBAB'87 AND EUROCODE 2

ЕКОНОМИЧНА ДЕБЉИНА ПУНИХ АБ ПЛОЧА НОСИВИХ У ЈЕДНОМ ПРАВЦУ ПРЕМА ПБАБ'87 И ЕВРОКОДУ 2

Danica Goleš¹

UDK 624.073.012.25

DOI: 10.14415/zbornikGFS37.08

CC-BY-SA 4.0 license

Summary: The paper presents the procedure and criteria for determining the economic overall depth of solid one-way reinforced concrete slabs of 2 to 10 m span, with imposed load of 1.5 to 10 kN/m², to PBAB'87 and Eurocode 2. The results obtained according to both regulations are compared and recommendations for the adoption of economic depth of solid RC slabs, span-to-depth ratio and percentage of reinforcement are given.

Keywords: Solid RC slabs, economic depth, PBAB'87, Eurocode 2

1. INTRODUCTION

The knowledge and practical experience of our civil engineers in the field of reinforced concrete structures is based on more than three decades of application of the Rulebook on technical standards for concrete and reinforced concrete from 1987 (PBAB'87) [1]. The entry into force of the new Rulebook for building structures of the Republic of Serbia [2], on December 26, 2019, which introduces mandatory application of Eurocodes in the design and construction of buildings, imposes the need to review the previous procedure of preliminary design of RC members, based on experience with PBAB '87, and adapting the design of concrete

Резиме: У раду су приказани поступак и критеријуми за одређивање економичне дебљине пуних армиранобетонских плоча носивих у једном правцу, распона од 2 до 10 м, оптерећених корисним оптерећењем од 1.5 до 10 kN/m², према ПБАБ'87 и Еврокоду 2. Упореджени су резултати добијени по оба прописа и дате препоруке за усвајање економичне дебљине пуних АБ плоча, односа распон/дебљина и процента армирања.

Кључне речи: Пуне АБ плоче, економична дебљина, ПБАБ'87, Еврокод 2

1. УВОД

Знање и практично искуство наших грађевинских инжењера у области армиранобетонских конструкција засновано је на више од три деценије примене Правилника о техничким нормативима за бетон и армирани бетон из 1987. године (ПБАБ'87) [1]. Ступање на снагу новог Правилника за грађевинске конструкције Републике Србије [2], 26. децембра 2019. године, којим се уводи обавезна примена еврокодова у пројектовању и извођењу грађевинских конструкција, намеће и потребу преиспитивања досадашњег поступка прелиминарног усвајања димензија АБ елемената заснованог

¹ Prof. dr Danica Goleš, dipl.inž.grad., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: +381 24 554 300, e-mail: dgoles@gmail.com

structures to the rules given by Eurocode 2 [3], [4].

This paper presents the determination of the economic depth of solid one-way RC slabs according to both regulations. Span lengths and imposed load's intensities were varied, and the depth with the lowest cost which at the same time satisfies all the requirements for safety, serviceability, durability and fire resistance from the relevant regulations has been declared the economic depth of the slab. Differences in the obtained slab depths, span-to-depth ratios and percentages of reinforcement were emphasized and their possible causes were pointed out.

The limit values of the span-to-depth ratio of the slab and the percentage of reinforcement for which, according to the valid regulations (Eurocode 2) the most economic solutions are obtained, are especially emphasized, and the criteria and procedure for their determination are explained. The obtained values sometimes differ significantly from those according to previous practice (ПБАБ'87).

2. INPUT DATA

The analysis of economic overall depth of RC slab according to both considered regulations is based on several common assumptions and input data, in order to achieve mutual comparability of results.

Structural model - one-way, simple supported slab with span lengths from 2 to 10 m.

Fire resistance and durability - REI 60; XC1.

Superimposed dead load (finishes, services, etc.) of 1.5 kN/m^2 is included in the analysis.

Imposed load – 1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 7.5 and 10 kN/m^2 .

Concrete – C30/37 (MB35).

Reinforcement – B500.

The economic depth of a slab is the one that satisfies the ultimate and

на искуству са ПБАБ'87, те прилагођавање пројекта бетонских конструкција правилима садржаним у Еврокоду 2 [3], [4].

У овом раду је приказано одређивање економичне дебљине пуних АБ плоча носивих у једном правцу према оба прописа. Варијанти су распони и корисна оптерећења, а за економичну дебљину плоче проглашена је она која има најнижу цену и истовремено задовољава све захтеве носивости, употребљивости, трајности и пожарне отпорности из одговарајућег прописа. Наглашене су разлике у добијеним дебљинама плоча, односима распона и дебљине и процентима армирања и указано на њихове могуће узроке.

Посебно се истичу граничне вредности односа распон/дебљина плоче и процената армирања за које се, према важећим прописима (Еврокоду 2) добијају најјекономичнија решења, те објашњавају критеријуми и поступак за њихово одређивање. Добијене вредности се некад значајно разликују од оних према досадашњој пракси (ПБАБ'87).

2. УЛАЗНИ ПОДАЦИ

Анализа економичне дебљине пуне АБ плоче по оба разматрана прописа је заснована на неколико заједничких поставки, како би се постигла међусобна упоредивост резултата.

Статички систем – плоча носива у једном правцу, система просте греде, распона од 2 до 10 m.

Отпорност на пожар и трајност – REI 60; XC1.

Додатно стално оптерећење (под, плафон, инсталације и сл.) од 1.5 kN/m^2 је укључено у анализу.

Корисно оптерећење – 1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 7.5 и 10 kN/m^2 .

Бетон – C30/37 (MB35).

Арматура – B500.

Економична дебљина плоче је она

serviceability limit states (ULS and SLS) and has the minimum cost. The cost of 1m² of slab is, following the example of [5], formed as the sum of the costs of concrete (100 €/m³), reinforcement (1 €/kg) and allowance for self-weight of the slab, which is the measure of additional cost of the supporting structure for every additional 1 kN of slab weight (2.5 €/kN). The costs of formwork and cladding are not considered.

In order to obtain realistic solutions, the slab overall depth was rounded to 0.5 cm, and after calculating the required reinforcement area, bar diameters were adopted (thinner bars - Ø6 to Ø16, in order to control cracks), and their spacing was rounded to lower 0.5 cm. Although Art. 117 of the PBAВ'87 recommends limit deflection of $l/300$, for achieving comparability, the value $l/250$ (in accordance with Ch. 7.4.1 of the Eurocode 2) is adopted in the analyzes to both regulations. This is necessary, since to both regulations, except for short spans (2 and 2.5 m), deflection control is deciding for design.

All further designations are in accordance with Eurocode 2.

3. PBAВ'87

PBAВ'87 prescribes minimum overall depth of RC slabs and limit spacings of reinforcement. In this paper, these requirements are accompanied by the requirement of fire resistance REI 60, which according to Table 5.8 in [6] can be considered fulfilled if the depth of slab is not less than 8 cm. The minimum slab thickness is, therefore determined from:

$$h \geq \max \begin{cases} 8 \text{ cm} - \text{Табела/Табле 5.8 [6]} \\ 7 \text{ cm} - \text{чл. 207 ПБАВ'87/Art. 207 of the PBAВ'87} \\ \frac{l}{35} - \text{чл. 207 ПБАВ'87/Art. 207 of the PBAВ'87} \end{cases} \quad (1)$$

која задовољава гранична стања носивости и употребљивости (ГСН и ГСУ) и има најнижу цену. Цена 1m² плоче је, по угледу на [5], формирана као збир цене уграђеног бетона (100 €/m³), арматуре (1 €/kg) и додатка због сопствене тежине плоче, која повећава цену подконструкције на сваки додатни 1 kN тежине плоче (2.5 €/kN). Цене оплате и облоге нису узете у обзир.

Ради добијања реалистичних решења, дебљина плоче је заокруживана на 0.5 cm, а након срачунавања потребне површине арматуре усвајани су реални пречници (тање шипке - Ø6 до Ø16, због контроле прслина), а размак заокруживан на мањих 0.5 cm. Иако се у чл. 117 ПБАВ'87 за гранични угиб препоручује величина $l/300$, ради упоредивости је у анализама по оба прописа усвојена вредност $l/250$, у складу са т. 7.4.1 Еврокода 2. Ово је неопходно, будући да је по оба прописа, изузев у случају врло малих распона (2 и 2.5 m), контрола угиба меродавна за димензионисање.

Ознаке свих величина у даљем тексту су у складу са Еврокодом 2.

3. ПБАВ'87

ПБАВ'87 прописује минималне дебљине АБ плоча, као и граничне размаке арматуре. У овом раду је овим захтевима придружен и захтев отпорности на пожар REI 60, који се према табели 5.8 у [6] може сматрати испуњеним уколико дебљина плоче није мања од 8 cm. Минимална дебљина плоче је стога одређена из:

where l is the slab span. The concrete cover for a slightly aggressive environment XC1 is 1.5 cm (Art. 135 PBAB'87), but not less than diameter of the bar.

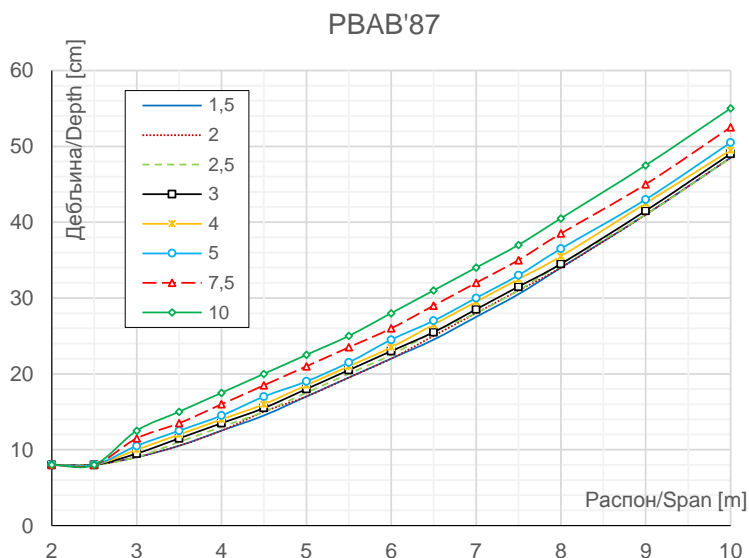
The application of condition for deflection control without direct calculation (Art. 118 PBAB'87) results in unacceptably large slab depths. Therefore, the slab deflection is here calculated using Branson's method [7], with the final creep coefficient $\varphi_{\infty}=3,65$. It should be noted that, according to this method, increasing the amount of reinforcement has a very small influence on the final deflection, which resulted in achieving the SLS requirements always by increasing the slab depth above the value required by ULS, while the area of reinforcement was adopted from ULS conditions. Application of other method of calculating the deflection could lead to different results.

The economic overall slab depths in relation to span lengths, for various imposed loads q , according to PBAB'87, are shown in Figure 1.

где је l распон плоче. Заштитни слој бетона до арматуре је за слабо агресивну средину 1.5 cm (чл. 135 ПБАБ'87), али не мањи од пречника арматуре.

Примена услова за контролу угиба без директног прорачуна (чл. 118 ПБАБ'87) захтева неприхватљиво велике дебљине плоче. Због тога је овде угиб плоче рачунат применом Брансонове методе [7], са коначним коефицијентом течења $\varphi_{\infty}=3,65$. Треба напоменути да, по овој методи, повећање количине арматуре у пресеку има врло мали утицај на коначан угиб, што је резултирало тиме да је задовољење ГСУ увек постигано тек повећањем дебљине плоче изнад величине потребне за задовољење ГСН, док је арматура усвајана из ГСН услова. Примена друге методе прорачуна угиба могла би довести до другачијих резултата.

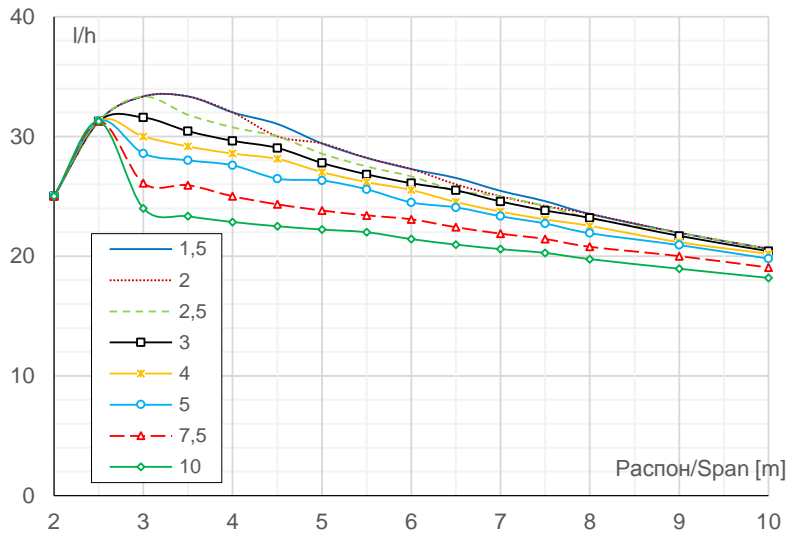
Економичне дебљине плоче у функцији распона, за различита корисна оптерећења q , према ПБАБ'87 приказане су на слици 1.



Слика 1 – Економичне дебљине плоче према ПБАБ'87 за корисна оптерећења $q=1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 7.5$ и 10 kN/m^2

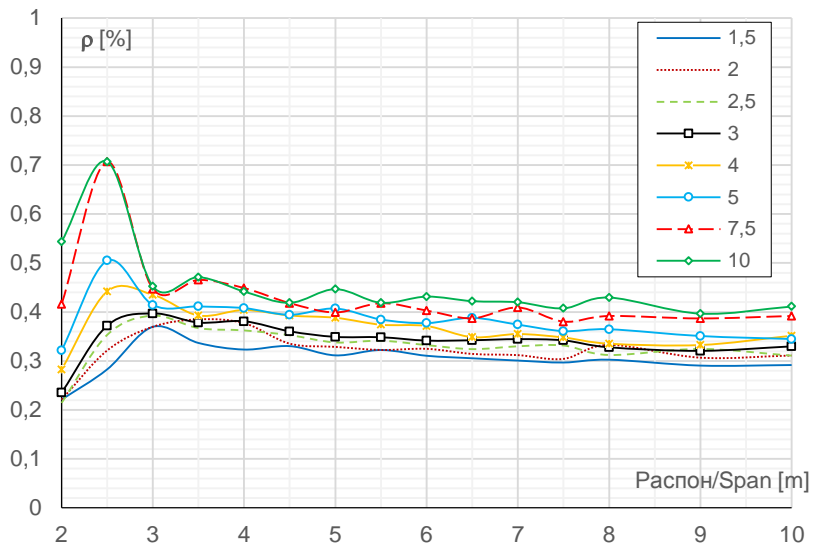
Figure 1 – Economic overall slab depths according to PBAB'87 for imposed loads $q=1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 7.5$ и 10 kN/m^2

РВАВ'87



Слика 2 – Економичан однос распона и дебљине плоче према ПБАВ'87
Figure 2 – Economic span-to-overall depth ratio according to РВАВ'87

РВАВ'87



Слика 3 – Економични проценти армирања плоче према ПБАВ'87
Figure 3 – Economic percentages of slab reinforcement according to РВАВ'87

The span-to-depth ratios which gave the most economic solutions are shown in Figure 2. This ratio is always below 35. For common imposed loads in buildings (2 to 5 kN/m²) and spans for which solid slabs are economic solution (4 to 6 m), this ratio is in the range of 25 to 32.

The percentages of reinforcement ρ (Figure 3) for which an economic solution according to PBAB'87 was obtained are between 0.22 and 0.72%, and for common spans and loads they are between 0.32 and 0.42%.

4. EUROCODE 2

A minimum slab thickness of 8 cm was adopted in accordance with the fire resistance requirement [6]. The nominal concrete cover, calculated as in [8], is 2 cm for reinforcement diameters $\varnothing 6$ to $\varnothing 10$, 2.5 cm for $\varnothing 12$ and $\varnothing 14$, and 3 cm for $\varnothing 16$, and is always greater than that determined according to PBAB'87. The economic overall depth of the slab is determined as the depth with the lowest cost, which at the same time meets the ULS requirements (for bending [9] and shear), its provided area of reinforcement $A_{s1,prov}$ is in the range between $A_{s1,min}$ and $A_{s1,max}$, and its span-to-effective depth ratio l/d meets the requirements for deflection control without direct calculation (expressions 7.16 of Ch 7.4.2 of Eurocode 2 [3]). In this analysis, the l/d ratio is further limited to $40K$ (BS EN 1992-1-1/NA). The value $K=1.0$ is adopted according to Table 7.4N of Eurocode 2 for a simply supported one-way slab. In accordance with pt. 7.4.2 (2) of Eurocode 2, for spans $l_{eff} > 7$ m, the limit value of the l/d ratio was corrected by multiplication factor $7/l_{eff}$. Fulfilment of conditions for deflection control without direct calculation can be achieved in two ways: by the appropriate slab depth, reinforced with the required area of reinforcement

Слика 2 приказује однос распона и укупне дебљине плоче којима је постигнуто најекономичније решење. Овај однос је увек испод 35. За уобичајена корисна оптерећења у зградарству (2 до 5 kN/m²) и распоне за које је примена пуних АБ плоча економична (4 до 6 m), овај однос се налази у границама између 25 и 32.

Проценти армирања ρ (слика 3) за које је добијено економично решење према ПБАБ'87 налазе се између 0.22 и 0.72 %, а за уобичајене распоне и оптерећења између 0.32 и 0.42 %.

4. ЕВРОКОД 2

Минимална дебљина плоча од 8 cm усвојена је у складу са захтевом отпорности на пожар [6]. Номинална дебљина заштитног слоја бетона, срачуната као у [8], износи 2 cm за арматуру пречника $\varnothing 6$ до $\varnothing 10$, 2.5 cm за $\varnothing 12$ и $\varnothing 14$, односно 3 cm за $\varnothing 16$, и увек је већа од оне одређене према ПБАБ'87.

Економична дебљина плоче одређена је као дебљина која има најнижу цену и истовремено испуњава услове ГСН (за савијање [9] и смицање), њена усвојена површина арматуре $A_{s1,prov}$ се налази у границама између $A_{s1,min}$ и $A_{s1,max}$, а однос распона и статичке висине l/d испуњава услове за контролу угиба без директног прорачуна (изрази 7.16 тачке 7.4.2 Еврокода 2 [3]). У овој анализи је вредност l/d додатно ограничена на $40K$ (BS EN 1992-1-1/NA). Вредност $K=1.0$ је усвојена према табели 7.4N Еврокода 2 за слободно ослоњену плочу која носи у једном правцу. У складу са тачком 7.4.2 (2) Еврокода 2, за распоне $l_{eff} > 7$ m извршена је корекција граничне вредности односа l/d њеним множењем фактором $7/l_{eff}$. Задовољење услова за контролу угиба без директног прорачуна могуће је постићи на два начина:

$A_{s1,req}$ determined by ULS analysis, or by a thinner slab reinforced with a larger amount of reinforcement $A_{s1,prov}$. In this analysis, the increase in reinforcement area is limited to $A_{s1,prov} \leq 1.5A_{s1,req}$ (BS EN 1992-1-1/NA). This increase reduces the stress in the reinforcement σ_s for quasi-permanent load q_{QP} , and the limit ratio l/d can be increased (ch. 7.4.2 of Eurocode 2) by multiplying by a factor of $310/\sigma_s$, which leads to a smaller required slab depth. This approach, combined with the application of real reinforcement diameters at real spacings, led to a stepwise or "wavy" curve of the economic slab depth (Figure 4), the span-to-overall depth ratio (Figure 5) and the percentage of reinforcement (Figure 6) as a function of span length and load. Namely, in the aspiration to obtain as realistic solutions as possible, it happened that for one span the economic thickness, achieved with $A_{s1,req}$, is greater than for the next larger span, which has an increased reinforcement area $A_{s1,prov} \leq 1.5A_{s1,req}$. The following factors were used to determine the quasi-permanent load: $\psi_2 = 0.3$ for $q = 1.5$ to 2.5 kN/m^2 , $\psi_2 = 0.6$ for $q = 3$ to 5 kN/m^2 and $\psi_2 = 0.8$ for $q = 7.5$ and 10 kN/m^2 , in accordance with [10], [11] and [12].

Although shear was controlled in the analysis, the deciding criteria for dimensioning was always the deflection control. Exceptions are slabs of extremely small span (2 and 2.5 m), whose depth was determined from the ULS requirements.

In Figure 5, it can be seen that the economic span-to-overall depth ratio to Eurocode is always in the range of 20 to 34. For common imposed loads in buildings (2 to 5 kN/m^2) and spans for which the use of solid RC slabs is economic (4 to 6 m), this ratio should be kept between 26 and 34.

The percentages of reinforcement ρ (Figure 6) for which an economic solution was obtained according to Eurocode 2 are between 0.32 and

одговарајућом дебелином плоче која је армирана потребном површином арматуре $A_{s1,req}$ одређеном из услова ГСН, или тањом плочом армираном већом количином арматуре $A_{s1,prov}$. У овој анализи је повећање површине арматуре ограничено на $A_{s1,prov} \leq 1.5A_{s1,req}$ (BS EN 1992-1-1/NA). Овим повећањем смањује се напон у арматури σ_s за квази-стално оптерећење q_{QP} , а гранични однос l/d може да се повећа (тачка 7.4.2 Еврокода 2) множењем фактором $310/\sigma_s$, што води ка мањој потребној дебелини плоче. Овакав приступ, комбинован са применом реалних пречника арматуре на реалним размацама, довео је до „скоковите“, односно „таласасте“ криве економичне дебелине плоче (слика 4), односа распон/укупна дебелина (слика 5) и процента армирања (слика 6) у функцији распона и оптерећења. Наиме, у тежњи ка добијању што реалистичнијих решења, десило се да за један распон економична дебелина, постигнута са $A_{s1,req}$, буде већа него за њему суседни већи распон, који има увећану површину арматуре $A_{s1,prov} \leq 1.5A_{s1,req}$.

При одређивању квази-сталног оптерећења коришћени су следећи коефицијенти: $\psi_2 = 0.3$ за $q = 1.5$ до 2.5 kN/m^2 , $\psi_2 = 0.6$ за $q = 3$ до 5 kN/m^2 и $\psi_2 = 0.8$ за $q = 7.5$ и 10 kN/m^2 , у складу са [10], [11] и [12].

Иако је у анализи контролисано смицање, меродаван услов за димензионисање увек је био контрола угиба. Изузетак су плоче изузетно малог распона (2 и 2.5 m), које су димензионисане из услова ГСН.

На слици 5 се може запазити да је економичан однос распона и укупне дебелине плоче према Еврокоду увек између 20 и 34. За уобичајена корисна оптерећења у зградарству (2 до 5 kN/m^2) и распоне за које је примена пуних АБ плоча економична (4 до 6 m), овај однос би требало

0.86%, and for common spans and loads between 0.5 and 0.82%.

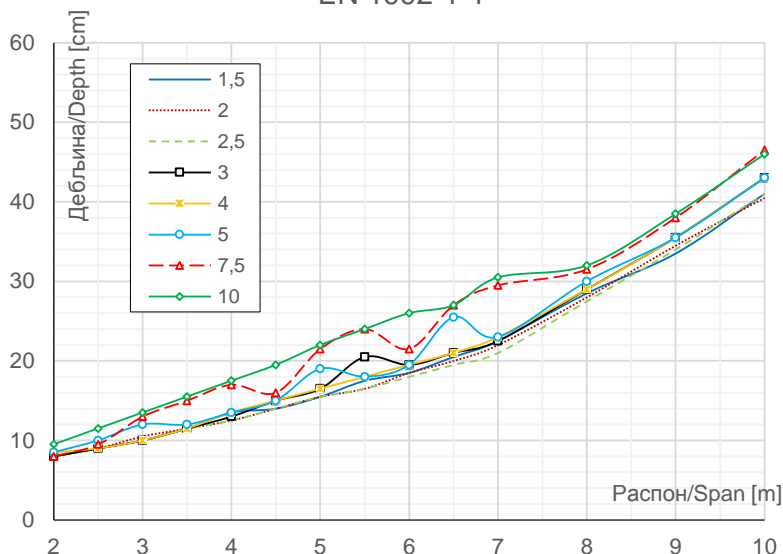
Table 1 shows the numerical values of the economic overall depths of the slab, and the zones in which a certain criterion was deciding are marked. For very small spans and loads, the slab depth was determined from the requirements of fire resistance, and an economic solution was obtained by calculating the reinforcement according to ULS. For solid slabs of the usual span and load up to 5 kN/m^2 , a more economic solution is with a thinner slab and an increased reinforcement area. For a load of 5 kN/m^2 , both solutions are equally economic, while for large imposed loads (7.5 and 10 kN/m^2) it is more economic to adopt thicker slabs, with reinforcement calculated from the ULS analysis.

држати у границама између 26 и 34.

Проценти армирања ρ (слика 6) за које је добијено економично решење према Еврокоду 2 налазе се између 0.32 и 0.86 %, а за уобичајене распоне и оптерећења између 0.5 и 0.82 %.

У табели 1 су приказане нумеричке вредности економичних дебљина плоче, а сликовито су означене зоне у којима је био меродаван одређени критеријум. Код врло малих распона и оптерећења дебљина плоче је одређена из захтева отпорности на пожар, а економично решење је добијено прорачуном арматуре према ГСН. За пуне плоче уобичајеног распона и оптерећења до 5 kN/m^2 економичније је решење са тањом плочом и увећаном површином арматуре. За оптерећење од 5 kN/m^2 оба решења су подједнако економична, док је за велика корисна оптерећења (7.5 и 10 kN/m^2) економичније усвајати дебље плоче, са арматуром срачунатом из услова ГСН.

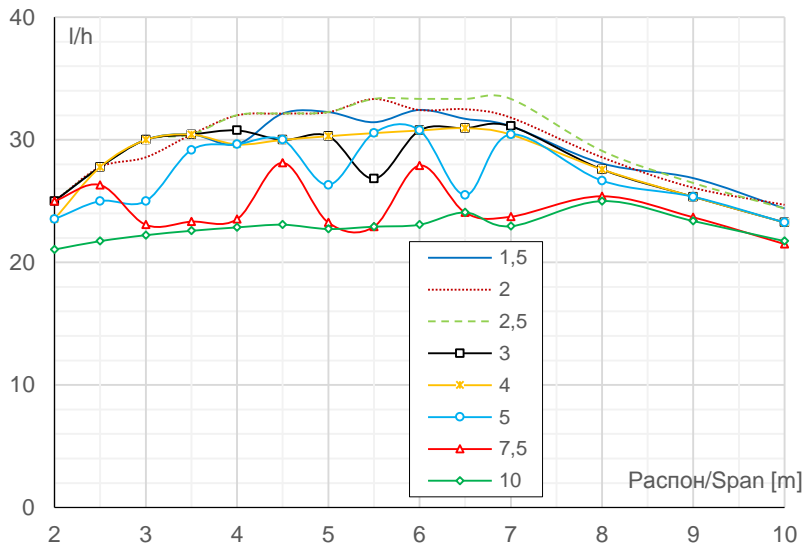
EN 1992-1-1



Слика 4 – Економичне дебљине плоче према Еврокоду 2 за корисна оптерећења $q=1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 7.5$ и 10 kN/m^2

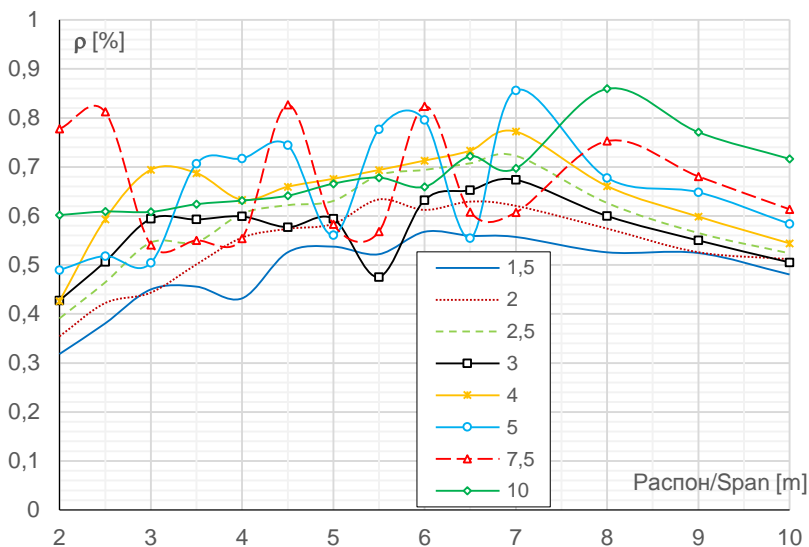
Figure 4 – Economic overall slab depths according to Eurocode 2 for imposed loads $q=1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 7.5$ и 10 kN/m^2

EN 1992-1-1



Слика 5 – Економичан однос распона и дебљине плоче према Еврокоду 2
Figure 5 – Economic span-to-overall depth ratio according to Eurocode 2

EN 1992-1-1



Слика 6 – Економични проценти армирања плоче према Еврокоду 2
Figure 6 – Economic percentages of slab reinforcement according to Eurocode 2

Табела 1 – Економичне дебљине плоче и меродавни критеријуми према Еврокоду 2
Table 1 – Economic overall slab depths and deciding criteria according to Eurocode 2

q [kN/m ²]	1,5	2	2,5	3	4	5	7,5	10
l [m]	h [cm]							
2	8	8	8	8	8,5	8,5	8	9,5
2,5	9	9	9	9	9	10	9,5	11,5
3	10	10,5	10	10	10	12	13	13,5
3,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	12	15	15,5
4	13,5	12,5	12,5	13	13,5	13,5	17	17,5
4,5	14	14	14	15	15	15	16	19,5
5	15,5	15,5	15,5	16,5	16,5	19	21,5	22
5,5	17,5	16,5	16,5	20,5	18	18	24	24
6	18,5	18,5	18	19,5	19,5	19,5	21,5	26
6,5	20,5	20	19,5	21	21	25,5	27	27
7	22,5	22	21	22,5	23	23	29,5	30,5
8	28,5	28	27,5	29	29	30	31,5	32
9	33,5	34,5	34	35,5	35,5	35,5	38	38,5
10	41	40,5	41	43	43	43	46,5	46

	Већа дебљина/Higher depth
	Врло близу, али мања дебљина/Very close, but lower depth
	Врло близу, али већа дебљина/Very close, but higher depth

5. COMPARISON OF RESULTS

Figure 7 gives a comparative view of the economic overall depths of slab obtained according to ПБАВ'87 and Eurocode 2 for some of the analyzed loads. According to Eurocode 2, except for extremely small spans, lower depths are obtained, but higher percentages of reinforcement (Figure 9). However, for the usual spans and higher loads, differences in the economic slab depths according to both regulations are small. The lower effective depth due to the thicker concrete cover according to Eurocode 2 is compensated by the increased amount of reinforcement (Figure 9).

It can be seen from Figure 8 that according to Eurocode 2, "more slender" economic solutions are obtained, with higher l/h ratios. This may be due, partly to the choice of deflection calculation method in the ПБАВ'87 analysis.

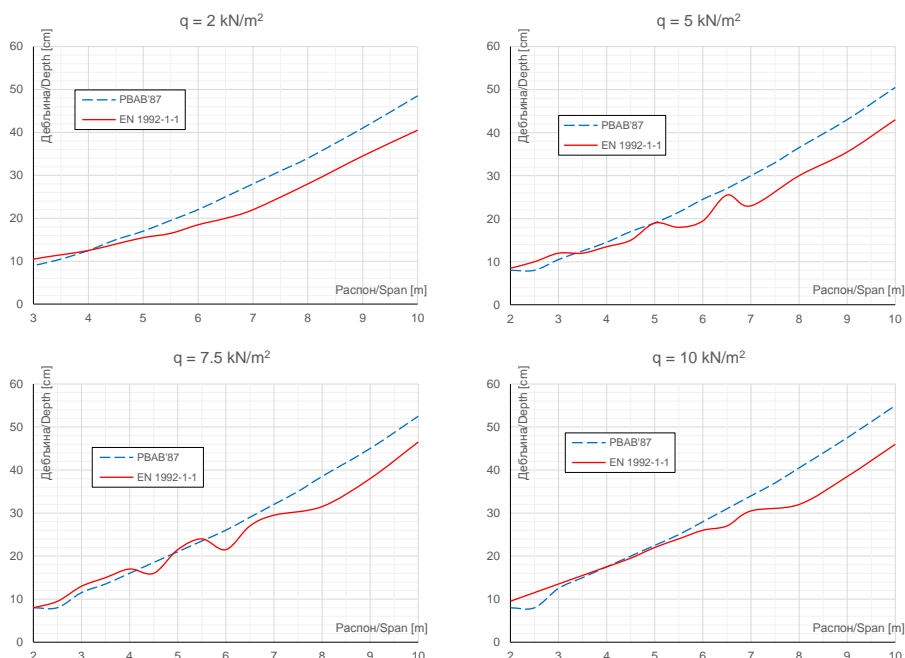
5. ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА

На слици 7 дат је упоредни приказ економичних дебљина плоче добијених према ПБАВ'87 и Еврокоду 2 за нека од анализираних оптерећења. Према Еврокоду 2 се, сем за изузетно мале распоне, добијају мање дебљине плоча, али већи проценти армирања (слика 9). Ипак, за уобичајене распоне и већа оптерећења економичне дебљине плоча по оба прописа се мало разликују. Мања статичка висина због већег заштитног слоја бетона према Еврокоду 2 се надокнађује повећаном количином арматуре (слика 9).

Са слике 8 се може уочити да се према Еврокоду 2 добијају „виткија“ економична решења, са смелијим односима l/h . Ово делимично може бити и последица избора методе прорачуна угиба код анализе према ПБАВ'87.

Economic solutions according to Eurocode 2 are obtained by much higher reinforcement percentages than according to ПБАВ'87 (Figure 9).

Економична решења према Еврокоду 2 се добијају применом доста већих процената армирања него према ПБАВ'87 (слика 9).



Слика 7 – Економичне дебљине плоче према ПБАВ'87 и Еврокоду 2
Figure 7 – Economic overall slab depths according to ПБАВ'87 and Eurocode 2

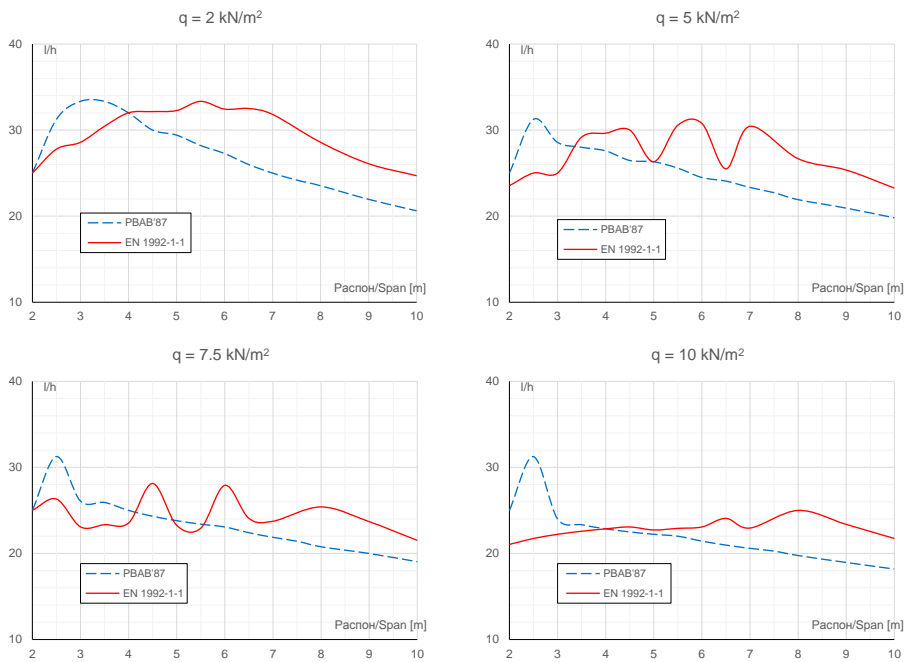
6. CONCLUSION

During the conceptual faze of design of structures, we are guided by guidelines from the literature, the requirements of technical regulations and experience in the design of similar members and structures.

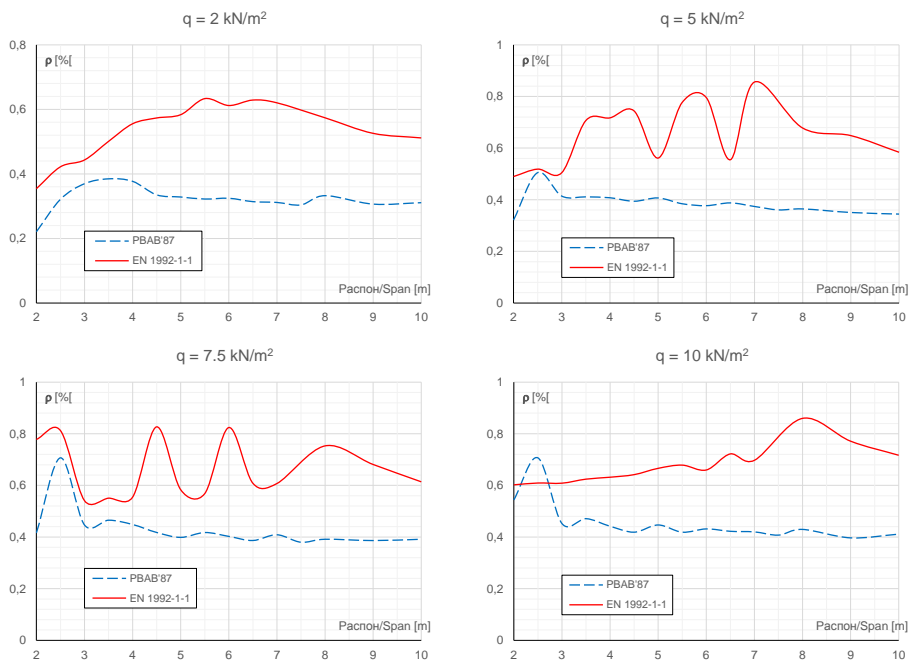
Our current experience in the design of concrete structures is based on more than three decades of application of ПБАВ'87. The introduction of Eurocodes requires a review and correction of habits in this area.

6. ЗАКЉУЧАК

Током концептуалног пројектовања конструкција водимо се смерницама из литературе, захтевима техничке регулативе и искуством у пројектовању сличних елемената и конструкција. Наше досадашње искуство у пројектовању бетонских конструкција се заснива на више од три деценије примене ПБАВ'87. Увођење еврокодова захтева преиспитивање и корекцију навика у овој области.



Слика 8 – Економични односи распон/укупна дебљина према ПБАВ'87 и Еврокоду 2
 Figure 8 – Economic span-to-overall depth ratio according to PBAB'87 and Eurocode 2



Слика 9 – Економични проценти армирања према ПБАВ'87 и Еврокоду 2
 Figure 9 – Economic reinforcement percentages according to PBAB'87 and Eurocode 2

The analysis of the economic depths of solid one-way RC slabs according to PBAB'87 and Eurocode 2 indicates the following:

- For all other same input data the lowest cost calculated according to Eurocode 2, with the fulfillment of ULS and SLS conditions and the required fire resistance is achieved with lower slab depths ie. higher values of span/overall depth ratio than according to PBAB'87;
- For slab spans between 4 and 6 m and common loads in buildings, the economic span-to overall depth ratio is in the range between 26 and 34;
- In most cases, a lower cost is achieved by choosing a thinner slab, with reinforcement increased above the value calculated for ULS, up to 50%. The percentage of reinforcement, for economic solutions, is between 0.5 and 0.82%;
- The deciding condition for determining the economic thickness of solid slabs is the deflection limit. The exceptions are slabs of very small span;
- Economic control of deflection of solid slabs with imposed load over 7.5 kN/m^2 is achieved by a greater depths of the slab with reinforcement area calculated according to ULS. The exceptions are slabs of large spans (over 8 m).

Анализа економичне дебљине пуних АБ плоча носивих у једном правцу према ПБАБ'87 и Еврокоду 2 указује на следеће:

- За све остале исте улазне податке, прорачуном према Еврокоду 2 најнижа цена, уз испуњење услова ГСН и ГСУ и захтевану отпорност на пожар достиже се са мањим дебљинама плоче, односно вишим вредностима односа распона и дебљине него према ПБАБ'87;
- За распоне плоча између 4 и 6 m и уобичајена оптерећења у зградарству, економичан однос распона и укупне дебљине налази се у границама између 26 и 34;
- У већини случајева се нижа цена постиже избором тање плоче, са арматуром повећаном изнад вредности срачунате за ГСН до 50%. Процент армирања се, за економична решења, налази између 0.5 и 0.82%;
- Меродаван услов за одређивање економичне дебљине пуних плоча је ограничење угиба. Изузетак су плоче врло малог распона;
- Економична контрола угиба пуних плоча оптерећених корисним оптерећењем изнад 7.5 kN/m^2 постиже се већом дебљином плоче са арматуром чија је површина срачунате према ГСН. Изузетак су плоче великих распона (преко 8 m).

REFERENCES

- [1] Правилник о техничким нормативима за бетон и армирани бетон, Сл. лист СФРЈ бр. 11/87, 1987.
- [2] Правилник за грађевинске конструкције, Службени гласник РС бр. 89 од 18. децембра 2019. и 52 од 7. априла 2020.
- [3] SRPS EN 1992-1-1 Еврокод 2 - Пројектовање бетонских конструкција - Део 1-1: Општа правила и правила за зграде, Август 2015.
- [4] SRPS EN 1992-1-1/NA Еврокод 2 - Пројектовање бетонских конструкција - Део 1-1: Општа правила и правила за зграде – Национални прилог, Новембар 2015.
- [5] Goodchild, C.H., Webster, R.M., Elliott, K.S.: Economic Concrete Frame Elements to Eurocode 2, The Concrete Centre, 2009.
- [6] SRPS EN 1992-1-2 Еврокод 2 - Пројектовање бетонских конструкција - Део 1-2: Општа правила – Пројектовање конструкција на дејство пожара, Мај 2014.
- [7] Томичић, И.: Бетонске конструкције, Школска књига, Загреб, 1984.
- [8] Голеш, Д.: Заштитни слој бетона до арматуре према Еврокоду, Зборник радова ГФ Суботица, 2016, бр. 27, стр. 41-56.

- [9] Голеш, Д.: Прорачун АБ пресека изложених савијању према Еврокоду 2, 4. међународна конференција Савремена достигнућа у грађевинарству, Зборник радова, Суботица, 2016, стр. 113-122.
- [10] SRPS EN 1990/NA Еврокод – Основе пројектовања конструкција – Национални прилог, Новембар 2012.
- [11] SRPS EN 1991-1-1 Еврокод 1 – Дејства на конструкције – Део 1-1: Општа дејства – Запреминске тежине, сопствена тежина, корисна оптерећења за зграде, Август 2012.
- [12] naSRPS EN 1991-1-1/NA Еврокод 1 – Дејства на конструкције – Део 1-1: Општа дејства – Запреминске тежине, сопствена тежина, корисна оптерећења за зграде – Национални прилог, Јул 2015.