

ЗАШТИТНИ СЛОЈ БЕТОНА ДО АРМАТУРЕ ПРЕМА ЕВРОКОДУ

Даница Голеш¹

УДК: 624.012.45:693.546

DOI: 10.14415/zbornikGFS27.04

Резиме: Деценијама се у научној и стручној литератури наглашава важност правилног пројектовања и извођења заштитног слоја бетона до арматуре, који треба да обезбеди сигуран пренос сила приањања између бетона и арматуре, заштиту арматуре од корозије, те адекватну отпорност на дејство пожара. Упркос томе, у пројектантској пракси у региону се овој теми често не посвећује довољна пажња. Еврокодом су, у односу на Правилник о техничким нормативима за бетон и армирани бетон из 1987. године (Правилник), прописани строжији критеријуми за избор номиналног заштитног слоја, па је за препоруку да се они већ сада примене и код нас. Са циљем да се олакша и убрза усвајање заштитног слоја бетона при пројектовању, у раду је овај поступак приказан сликовито, кроз табеле и дијаграме и нумеричке примере, уз поређење величина добијених према Еврокоду и важећем Правилнику. Дат је осврт на зависност између класе конструкције, класе изложености, врсте елемента, класе чврстоће бетона и дебљине заштитног слоја бетона до арматуре.

Кључне речи: Армиранобетонске конструкције, заштитни слој бетона, Еврокод

1. УВОД

Основна концепција одређивања дебљине заштитног слоја бетона, дефинисане као "растојање између површине арматуре која је најближа површини бетона (укључујући узенгије и површинску арматуру, ако постоје) и најближе површине бетона" [1], може се описати изразом

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}, \quad (1)$$

где је номинална дебљина заштитног слоја ' c_{nom} ', која се користи у прорачуну елемента и треба да буде јасно специфицирана на плановима арматуре, приказана као збир минималне дебљине заштитног слоја ' c_{min} ' и толеранције (допуштеног одступања при извођењу) ' Δc_{dev} '. Иако је сам по себи једноставан, примени израза (1) мора претходити поступак брижљиве анализе и избора низа параметара који дефинишу својства средине, конструкције и елемента.

Правилник о техничким нормативима за бетон и армирани бетон (Правилник) [2] питању одређивања заштитног слоја бетона приступа детерминистички, прописујући у чл. 135 његову најмању дебљину у функцији врсте елемента односно

¹ Доц. др Даница Голеш, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: dgoles@gf.uns.ac.rs

конструкције, степена агресивности средине, марке бетона, пречника арматуре и начина извођења. Нешто сложенијим и детаљнијим детерминистичким поступком, приказаним у Поглављу 4 Еврокода 2 [1], уз примену Еврокода 0 [3] и [4], стандарда који се баве спецификацијом бетона [5] и [6], те прописа и стандарда који се тичу пожарне отпорности елемената и конструкција [7], [8], [9], [10] и [11], може се одредити не само дебљина заштитног слоја, него и потребна својства бетона, за елементе већине грађевинских објеката. Приступ на бази перформанси, који примењује сложене моделе деградације материјала услед утицаја средине, погодан у случајевима када се захтева век употребе конструкције и/или елемента битно различит од 50 година, за специјалне конструкције које захтевају мању вероватноћу лома, за посебно агресивне и добро дефинисане утицаје средине, када се користе нове или различите компоненте, или за елементе који ће се производити у великом броју (Прилог Л у [5]), није предмет овог рада.

Деценијама се у научној и стручној јавности наглашава значај заштитног слоја бетона, довољне дебљине и компактности, у обезбеђењу сигурног преноса сила приањања између бетона и арматуре, заштите арматуре од корозије, те адекватне отпорности на дејство пожара. Ипак, неретко се на плановима арматуре изоставља податак о дебљини заштитног слоја, а у прорачуну се усвајају вредности које не испуњавају минималне захтеве. Пропусти приликом извођења, у погледу квалитета и дебљине заштитног слоја бетона, као и неадекватно одржавање, скраћују експлоатациони век елемента испод пројектоване вредности. Намера је аутора да у овом раду, на једноставан и сликовит начин, прикаже поступак усвајања дебљине и својстава заштитног слоја бетона према Еврокоду, како би га приближио пројектантима и припремио их на његову скору примену, те да укаже на разлике у односу на важећи Правилник [2]. Редослед радњи у овом поступку приказан је дијаграмом тока на слици 1. У даљем тексту ће сваки корак бити детаљно објашњен, уз упућивање на референце за усвајање појединих параметара.

2. УЛАЗНИ ПАРАМЕТРИ

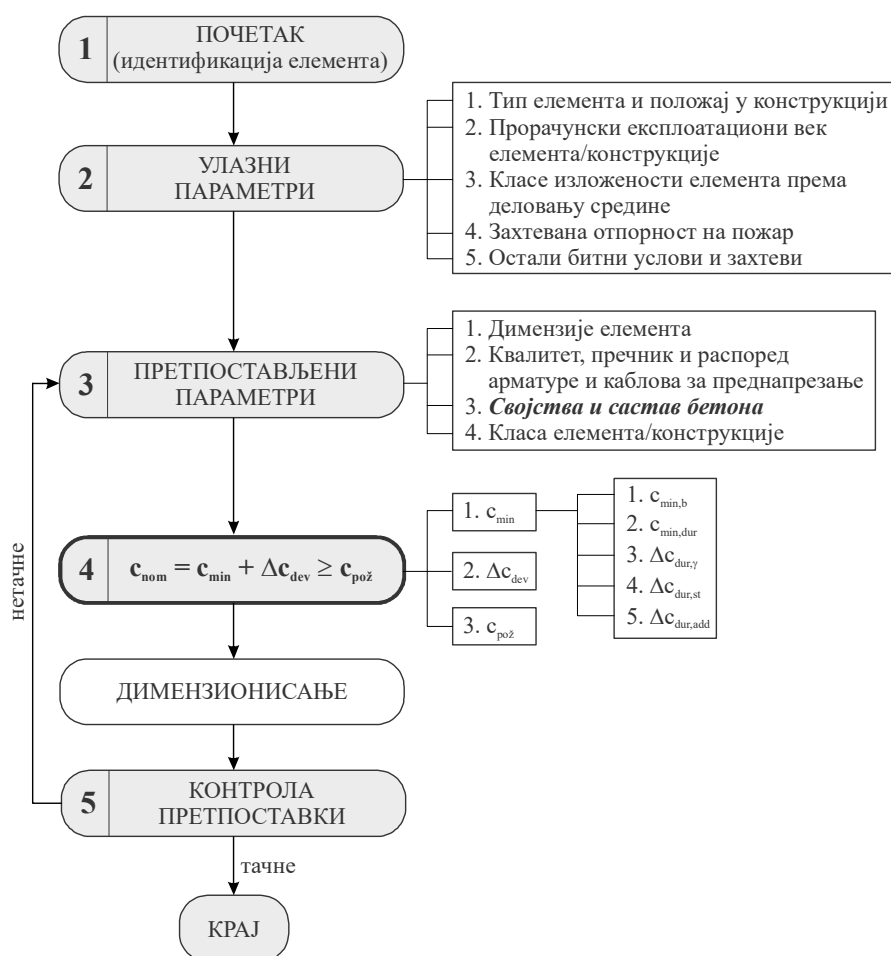
Након идентификације елемента у плану позиција, приступа се дефинисању параметара који остају непромењени током целог поступка прорачуна. Констатује се тип елемента (греда, стуб, плоча, зид, лук, љуска...) и његов положај у конструкцији (хоризонтални, вертикални или под нагибом, спољашњи или унутрашњи; надземни или подземни; заштићен или незаштићен; приступачан за контролу и одржавање/замену или неприступачан...). Утврђују се *захтеви*, као што су прорачунски експлоатациони век елемента, отпорност на пожар и др. и *услови*: класе изложености елемента према деловању средине, начин извођења, контрола квалитета и сл.

1. *Тип елемента и положај у конструкцији.* Док се у Правилнику експлицитно прописује мањи заштитни слој бетона за плоче, љуске, зидове и ребрасте и олакшане међуспратне конструкције (минимално 1,5cm) него за греде, стубове и остале елементе (минимално 2cm), у Еврокоду се утицај типа елемента огледа у могућности смањења класе конструкције за елементе чија геометрија одговара плочама, о чему ће више речи бити у поглављу 3.

2. Прорачунски експлоатациони век елемента/конструкције. У SRPS EN 1990/NA [4], табела 2.1, конструкције грађевинских објеката су разврстане у пет категорија, према прорачунском експлоатационом веку:

- 1 - привремене конструкције - прорачунски експлоатациони век **10 година**;
- 2 - заменљиви делови конструкција (нпр. крански носачи, лежишта, дилатациони уређаји...) - **10 до 25 година**;
- 3 - пољопривредне и сличне конструкције - **15 до 30 година**;
- 4 - конструкције зграда, конструкције индустријских објеката са веком примене технологије ≤ 50 година и др. - **50 година**;
- 5 - конструкције монументалних зграда, мостови и конструкције инжењерских грађевинских објеката - **100 година**.

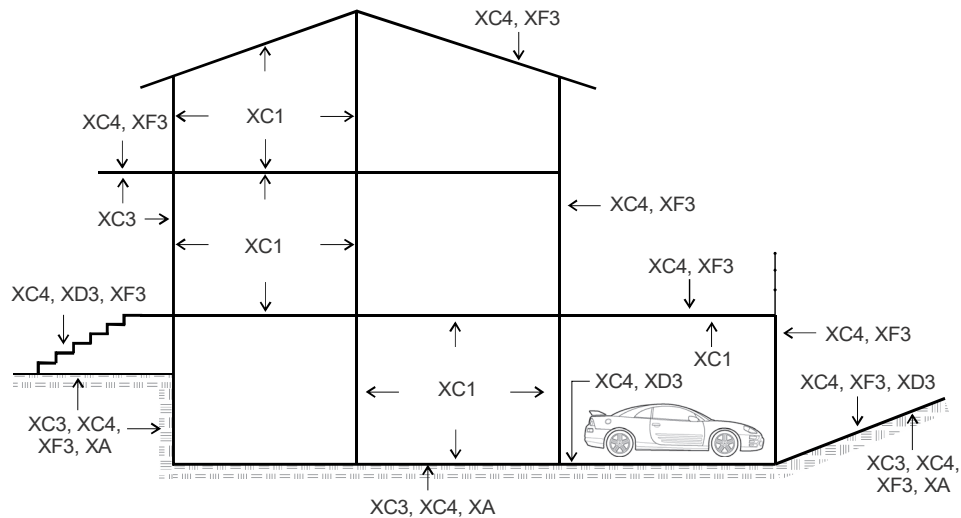
У истом Анексу је дат и детаљнији списак објеката сврстаних у категорије 4 и 5.



Слика 1. Дијаграм тока поступка одређивања заштитног слоја бетона

3. *Класе изложености елемента према деловању средине.* Различите спољне површине истог елемента конструкције се могу наћи у различитим условима средине (нпр. плоча изнад гараже и спољни зидови на слици 2), па је за сваку понаособ потребно установити одговарајућу класу изложености. За разлику од Правилника, који у члану 113 дефинише само три степена агресивности средине (слаба, средња и јака), Еврокод 2, табела 4.1, заснована на EN 206-1 [5], разликује шест класа изложености према деловању средине, које додатно разврстава по степену (нивоу) изложености, најчешће у зависности од услова влажности средине:

- XO - без ризика од корозије или агресије;
- XC - корозија проузрокована карбонатизацијом, степена XC1-XC4;
- XD - корозија проузрокована хлоридима који не потичу из морске воде, степена XD1-XD3;
- XS - корозија проузрокована хлоридима из морске воде, степена XS1-XS3;
- XF - замрзавање/одмрзавање са или без агенса за одмрзавање, степена XF1-XF4;
- XA - Хемијска изложеност, степена XA1-XA3 дефинисаног табелом 2 у [5].



Слика 2. Пример класа изложености појединих елемената зграде

Табела 1 националног стандарда SRPS U.M1.206:2013 [6] уводи још једну класу изложености - XM - хабање површине бетона (механичка абразија), степена XM1-XM3 у зависности од интензитета оптерећења, а садржи и додатне информативне примере за примену класе и степена изложености у Републици Србији. Препоручене класе изложености за бетонске конструкцијске елементе са арматуром или уграђеним металним деловима, у зависности од њиховог положаја у конструкцији, врсте објекта и карактеристика околине, приказане су у информативном Прилогу Л овог стандарда.

Слика 2 приказује могуће класе и степене изложености површина појединих елемената конструкције зграде, према Прилогу Л и табели 1 у [6]. За поједине површине (нпр. површине подрумских просторија у контакту са тлом) понуђени су различити степени исте класе изложености. Избор одговарајућег степена зависиће

од услова влажности средине. Уколико се унутрашње површине појединих елемената конструкције налазе у условима високе влажности ваздуха (нпр. перионице, јавна купатила, штале и сл.), уместо класе ХС1 треба усвојити ХС3.

При разматрању трајности елемента, осим наведених услова средине у обзир треба узети и посебне облике агресивних дејстава, као што су *хемијска агресија* која је последица употребе зграде или конструкције (нпр. складиштење течности), присуства раствора киселина или сулфатних соли, или хлорида садржаних у бетону, те алкалних реакција агрегата, и *физичка агресија* услед температурних промена, водопропустљивости и сл. [1].

Бетон може бити изложен деловању више различитих утицаја средине, када се његова изложеност изражава као комбинација горе наведених класа.

4. *Захтевана отпорност на пожар*. Европске норме за пројектовање бетонских конструкција отпорних на пожар (EN 1992-1-2 [11]), за верификацију отпорности конструктивног елемента, дела конструкције или конструкције у целини дозвољавају следеће методе пројектовања:

- израда детаља према признатим пројектним решењима (тј. према табулисаним подацима) - Поглавље 5 у [11] - само за анализу појединачних елемената;
- поједностављене методе за специфичне типове елемената - за анализу појединачних елемената или делова конструкције;
- напредне методе - симулација понашања конструктивних елемената, дела конструкције или целе конструкције - универзалне.

За потребе усвајања заштитног слоја бетона елемената конструкције најпогоднија је прва метода, која ће и овде бити примењена. Метода се заснива на избору минималних димензија елемента и удаљености тежишта арматуре од лица елемента на основу табулисаних вредности, датих у функцији степена отпорности елемента на пожар. Еврокод 2 [11] разликује три захтева отпорности на пожар:

- **носивост** (R t) - елемент треба да задржи захтевану носивост током 't' минута изложености стандардном пожару (нпр. R 30, R 60...),
- **интегритет** (E t) - елемент треба да задржи захтевани интегритет (без прелина које омогућују продор ватре и дима) током 't' минута изложености стандардном пожару (нпр. E 30, E 60...),
- **термичка изолованост** (I t) - просечно повећање температуре на целој неизложеној површини елемента не сме бити веће од 140 K, а максимално повећање температуре у било којој тачки исте површине не веће од 180 K током 't' минута изложености стандардном пожару (нпр. I 30, I 60...).

Елементи који имају само носећу улогу (греде, стубови) треба да испуне захтев R, преградни елементи - E и, евентуално I, док елементи који истовремено имају носећу и преградну улогу (нпр. носећи зидови, међусупратне плоче) морају задовољити сва три захтева (нпр. REI 60).

У домаћој регулативи се отпорност на пожар изражава степеном отпорности према пожару (SOP), без експлицитног навођења појединачних захтева R, E и I. Захтевана отпорност на пожар елемената индустријских објеката дата је стандардом [8], за складишта Правилником [10], а за зграде и остале врсте објеката може се користити Техничка препорука [7]. У табели 1 је приказан начин претварања SOP у временске јединице за зграде, према SRPS U.J1.240 [9]. За потребе усвајања минималних димензија и минималног заштитног слоја елемената према [11], SOP се може

изразити у временским јединицама применом табеле 1, док се посебни захтеви (R, E и I) могу одредити у складу са функцијом елемента у конструкцији.

Табела 1. Веза SOP и пожарне отпорности у [min] за елементе зграда, према [9]

ВРСТА КОНСТРУКЦИЈЕ	ПОЛОЖАЈ	SOP елемента/конструкције зграде (min.)				
		I (НО) незнатна	II (МО) мала	III (СО) средња	IV (ВО) већа	V (ВО) велика
Носиви зид	УНУТАР ПОЖАРНИХ СЕКТОРА	15	30	60	90	120
Стуб		15	30	60	90	2
Греда		-	15	30	60	90
Међуспратна конструкција		-	15	30	60	90
Неносиви зид		-	15	30	30	60
Кровна конструкција		-	15	30	30	60
Зид	НА ГРАНИЦИ ПОЖАРНИХ СЕКТОРА	15	60	90	120	180
Међуспратна конструкција		15	30	60	90	120
Врата и клапне до 3,6 m		15	15	30	60	90
Врата > 3,6 m		15	30	60	90	120
Конструкција евакуационог пута		негориви материјал	30	30	60	90
Фасадни зид	СПОЉНА	-	30	30	60	60
Кровни покривач	КОНСТР.	-	15	30	45	60

5. *Остали битни услови и захтеви.* Поред горе наведених, потребно је утврдити све остале захтеве и услове који утичу на избор заштитног слоја, а који не подлежу корекцијама током прорачуна елемента и конструкције. То су: начин извођења елемента (бетонирање на лицу места или у фабричким условима; у класичној или клизној оплати), приступачност површине за контролу након бетонирања, накнадна обрада површине (могућа оштећења заштитног слоја), употреба нерђајућег челика или додатне заштите површине (нпр. премази и сл.), уградња бетона преко неравне површине, систем контроле квалитета и др.

3. ПРЕТПОСТАВЉЕНИ ПАРАМЕТРИ

Избор заштитног слоја бетона зависи од низа параметара који се у почетној фази пројектовања морају претпоставити, најчешће на основу искуства и препорука. По завршетку димензионисања елемента ове се претпоставке проверавају (тачка 5 у дијаграму тока на слици 1). У случају да срачунате вредности значајно одступају од претпостављених, поступак избора заштитног слоја и димензионисања се понавља од тачке 3, при чему се уместо претпостављених усвајају срачунате вредности параметара. Овај поступак је итеративан и понавља се до постизања задовољавајућег слагања вредности параметара у две узастопне итерације.

1. *Димензије попречног пресека елемента* утичу на избор одговарајућег пречника арматуре, те индиректно и на дебљину заштитног слоја. Оне се прелиминарно усвајају већ при избору диспозиције објекта, најчешће у функцији распона, на основу критеријума употребљивости, односно из услова да угиби елемената буду у допуштеним границама. Минималне димензије конструктивних елемената дате су у поглављу VI Правилника [2]. У поглављу 7.4.2 Еврокода 2 [1] приказани су изрази за одређивање минималне статичке висине елемената у функцији распона, за које се провера угиба прорачуном може изоставити, а у табели 7.4N истог поглавља препоручене нумеричке вредности односа распон/статичка висина различитих конструктивних елемената, за које контрола угиба није неопходна. У стручној литератури може се наћи низ препорука за усвајање димензија попречног пресека бетонских елемената [12], [13]. Минималне димензије попречног пресека бетонских елемената, потребне за постизање захтеваног степена отпорности на пожар, могу се усвојити према табулисаним вредностима у [11].

2. *Квалитет, пречник и распоред арматуре и каблова за преднапрезање.* Избор квалитета челика врши се на основу услова у којима ће се конструкција наћи током експлоатације (претежно статичко или динамичко оптерећење) и расположивости на тржишту. Пречник арматуре се бира у складу са димензијама попречног пресека и у зависности од типа елемента. Једна од могућности је избор пречника према табели 7.2N Еврокода 2 [1], којом се прописују максимални пречници арматуре за контролу прслина без директног прорачуна. Оптимални пречник може се усвојити и на основу препорука датих у коментару на члан 138, у [14]. На дебљину заштитног слоја утиче и распоред арматуре, па је потребно већ у овој фази предвидети њено евентуално груписање у свежњеве или постављање у више редова.

3. *Својства и састав бетона.* Како би заштитни слој испунио своју функцију заштите арматуре од корозије, уз довољну дебљину потребно је да поседује и квалитет материјала у складу са условима средине. У табели E.1N Прилога E Еврокода 2 [1] дате су индикативне вредности класе чврстоће бетона с обзиром на класе изложености утицајима средине, за конструкције прорачунског века употребе од 50 година. SRPS EN 206-1 [5], табела Ф.1, овоме придружује и препоручене граничне вредности за састав бетона (максимални водоцементни фактор, минимална количина цемента, минимални садржај ваздуха и други захтеви). Националним стандардом за спецификацију бетона [6], у табели 4., постављени су још строжији захтеви за специфична својства очврслог бетона и препоручене вредности параметара састава свежег бетона за поједине класе изложености, уз додатну поделу услова средине према интензитету агресивности на пет класа. Табела 2 у овом раду је израђена према најстрожијим од наведених захтева. На избор класе чврстоће бетона утичу и многи други захтеви (нпр. носивост елемента), па вредности дате у табели 2 треба схватити као минималне.

4. *Класа елемента/конструкције.* Захтеване класе чврстоће, параметри састава свежег бетона и минимални заштитни слој с обзиром на трајност, приказани у табели 2, односе се на конструкције класе S4 (чији је прорачунски експлоатациони век 50 година - табела 2.1 у SRPS EN 1990/NA). Под одређеним условима је могућа модификација класе конструкције, као што је приказано у табели 3, израђеној према препорукама у поглављу 4.4.1.2 Еврокода 2, табела 4.3N. Препоручена минимална класа конструкције је S1 [1].

Табела 2. Препоручене вредности параметара састава свежег бетона, захтевана класа чврстоће очврслог бетона и минимални заштитни слој с обзиром на трајност, за конструкције класе S4

Препоручени и захтевани параметри и својства			$(w/c)_{\max}$	минимална количина цемента [kg/m ³]	захтевана класа чврстоће бетона	$C_{\min, \text{dur}}$ [mm]
Класе агресивне средине	I-ниска	X0	0,75	-	C16/20	10
		XC1	0,65	300	C20/25	15
	II-умерена	XC2, XC3	0,55	340	C30/37	25
		XC2 + XF1	0,55	340	C30/37	25
	III-нормална	XD1, XA1, XM1	0,55	360	C30/37	35 (+5) ¹⁾
		XD1 + XF2	0,60ac ²⁾	340	C30/37	35
			0,55	360	C30/37	35
	IV-јака	XC4	0,50	380	C30/37	30
		XD2, XA2, XM2	0,50	380	C30/37	40 (+10) ¹⁾
		XC4 + XF3	0,55ac ²⁾	360	C30/37	30
			0,50	380	C30/37	30
	V-веома јака	XD3, XA3, XM3	0,45	380	C35/45	45 (+10) ¹⁾
		XD2 + XF4	0,50	380	C35/45	40
		XD3 + XF4	0,50	380	C35/45	45

¹⁾ Додатни, "жртвовани слој" бетона за дејство абразије, у складу са 4.4.1.2 став (13) у EN 1992-1-1 и 5.3.2 под в) у SRPS U.M1.206

²⁾ $(w/c)_{\max}$ за асирани бетон

Табела 3. Препоручена модификација класе конструкције, према [1]

Критеријум	Класе изложености према деловању средине			
	X0, XC1	XC2, XC3	XC4, XD1, XD2, XS1	XD3, XS2, XS3
Прорачунски експлоатациони век 100 година	повећати класу за 2			
Класа чврстоће ¹⁾	≥ C30/37	≥ C35/45	≥ C40/50	≥ C45/55
	смањити класу за 1			
Елементи чија геометрија одговара плочама	смањити класу за 1			
Обезбеђена посебна контрола квалитета производње бетона	смањити класу за 1			

¹⁾ Гранична вредност може да се смањи за једну класу чврстоће ако се примени више од 4% увученог ваздуха

4. НОМИНАЛНА ДЕБЉИНА ЗАШТИТНОГ СЛОЈА ' c_{nom} '

Номинална дебљина заштитног слоја представља збир минималне дебљине заштитног слоја ' c_{min} ' и толеранције ' Δc_{dev} ' (1).

4.1 Минимални заштитни слој ' c_{min} '

Минимална дебљина заштитног слоја се мора усвојити као највећа од вредности које задовољавају захтеве у погледу приањања бетона и арматуре и захтеве проистекле из услова средине, односно

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm} \}, (2)$$

где је:

$c_{min,b}$ минимални заштитни слој према захтевима приањања,

$c_{min,dur}$ минимални заштитни слој према условима средине,

$\Delta c_{dur,\gamma}$ додатни елемент сигурности,

$\Delta c_{dur,st}$ смањење минималног заштитног слоја при употреби нерђајућег челика,

$\Delta c_{dur,add}$ смањење минималног заштитног слоја при употреби додатне заштите.

1. Минимални заштитни слој према захтевима приањања ' $c_{min,b}$ ', и у Правилнику (чл. 135) и у Еврокоду 2 (табела 4.2) се изједначава са пречником појединачне шипке ' \emptyset ', односно еквивалентним пречником ' \emptyset_n ' у случају груписања арматуре у свежњеве. Еврокод ову величину везује и за максималну димензију агрегата - уколико је она већа од 32mm, ' $c_{min,b}$ ' треба повећати за 5mm. Треба ипак уочити разлике у овим нормативима везане за правила груписања арматуре. Док Правилник ограничава еквивалентни (замењујући) пречник свежња на 44mm, Еврокод допушта вредност до 55mm (став (2), тачка 8.9.1). Према Правилнику се у свежња могу груписати највише 4 шипке. Еврокод за вертикалне притиснуте шипке и шипке у зони настављања преклапањем допушта груписање до 4 шипке, а у свим осталим случајевима максимални број шипки у свежњу ограничава на 3.

2. Минимални заштитни слој према условима средине ' $c_{min,dur}$ ', након утврђивања класе елемента/конструкције према табели 3 и класе изложености према [6] (видети и слику 2), може се усвојити на основу Еврокода 2 [1], табеле 4.4N за обичну арматуру (видети табеле 2 и 4), односно табеле 4.5N за каблове за преднапрезање. Ове табеле се односе на основне класе изложености (X0, XC, XD и XS), под условом да је спроведена посебна контрола квалитета [6]. Остале класе изложености покривене су ставовима (12) и (13) тачке 4.4.1.2 Еврокода 2 и тачком 5.3.2 у SRPS U.M1.206 [6]:

- Када се очекују класе изложености XF и XA, обично је довољна дебљина заштитног слоја бетона одређена према табели 4;
- Ако се очекује дејство абразије (XM), дебљина одређена за основне класе изложености се мора повећати, и то: за класу хабања XM1 за 5mm, а за класе хабања XM2 и XM3 за 10mm.

За обезбеђење трајности елемента у случају дејства смрзавања/одмрзавања и хемијске агресије, поред прописивања минималног заштитног слоја бетона морају се поставити и додатни захтеви у погледу састава бетона [6].

Табела 4. Минимални заштитни слој с обзиром на трајност $c_{\min, \text{dur}}$ [mm], за арматуру према EN 10080 [1]

Класа конструкције /елемента	Класе изложености						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

3. *Додатни елемент сигурности* ' $\Delta c_{\text{dur}, \gamma}$ '. Величина ' $\Delta c_{\text{dur}, \gamma}$ ', којом се обезбеђује додатна сигурност, прописује се Националним анексом EN 1992-1-1 сваке земље. Препоручена вредност је 0mm.

4. Националним анексом EN 1992-1-1 се прописује и величина ' $\Delta c_{\text{dur}, \text{st}}$ ' за коју се може смањити дебљина заштитног слоја при употреби нерђајућег челика. Препоручена вредност је 0mm.

5. *Смањење минималног заштитног слоја при употреби додатне заштите* (нпр. премаза) ' $\Delta c_{\text{dur}, \text{add}}$ ', предмет је Националног анекса EN 1992-1-1 земље. Препоручена вредност је 0mm.

Према EN 1992-1-1, корекција минималног заштитног слоја се врши и у следећим случајевима:

- Када се бетон уграђује на лицу места, у контакту са другим бетонским елементима, минимални заштитни слој бетона од арматуре до контактне површине са постојећим бетоном може се смањити на величину ' $c_{\min, \text{b}}$ ' ако је:
 - класа бетона најмање C25/30,
 - време изложености контактне површине утицајима средине кратко (< 28 дана),
 - контактна површина охрапављена;
- За површине које нису равне (нпр. површине бетона са видљивом структуром агрегата) минимални заштитни слој треба да се повећа бар за 5mm.

4.2 Одступања при извођењу ' Δc_{dev} '

Минимални заштитни слој треба да се увећа за апсолутну вредност допушеног одступања при извођењу, услед којег би дошло до смањења заштитног слоја. Вредност ' Δc_{dev} ' и услови под којима се она може смањити се прописују Националним анексом EN 1992-1-1 сваке земље. Препоручена вредност ' Δc_{dev} ' је 10mm [1], а корекције се препоручују на следећи начин:

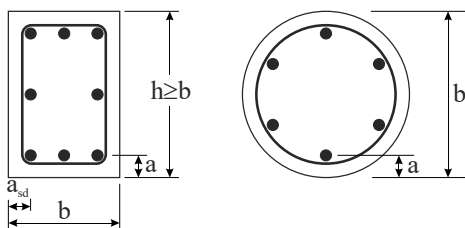
- када се производња врши у систему са гарантованим квалитетом, у којем контроле обухватају и мерења заштитног слоја: $10\text{mm} \geq \Delta c_{\text{dev}} \geq 5\text{mm}$
- када се гарантује да се за контролу користи веома прецизан мерни инструмент и да се елементи који не испуњавају постављене захтеве одбацују (нпр. префабриковани елементи): $10\text{mm} \geq \Delta c_{\text{dev}} \geq 0\text{mm}$.

Када се бетон уграђује преко неравне подлоге, минимални заштитни слој треба да се повећа у складу са очекиваном величином неравнина. Препоручена најмања дебелина заштитног слоја бетона који се уграђује директно на тло је 75mm. Ако се врши претходна припрема подлоге (укључујући слој мршаваг бетона и хидроизолацију) 'c_{ном}' не треба да буде мање од 40mm [1].

Треба напоменути да се питањем толеранција наш Правилник [2] не бави и, сходно томе, не прописује корекцију заштитног слоја због одступања при извођењу.

4.3 Номинални заштитни слој с обзиром на отпорност на пожар 'c_{пож}'

Призната пројектна решења, којима се постиже одређени степен отпорности елемента на стандардни пожар, у виду табулисаних вредности минималних димензија попречног пресека елемента и **номиналног** растојања тежишта арматуре до лица пресека 'a' (слика 3), приказана су у EN 1992-1-2 [11], поглавље 5. Табулисани подаци се могу применити на бетон нормалне тежине (2000 до 2600 kg/m³) са силикатним агрегатом, уз низ додатних услова дефинисаних у [11]. Ако се користе кречњачки или лаки агрегати у гредима или плочама, минималне димензије попречног пресека дате у табелама се могу умањити за 10%. Подаци се заснивају на критичној температури челика за арматуру θ_{cr}=500°C, те се за друге вредности 'θ_{cr}' морају кориговати.



Слика 3. Попречни пресеци елемента, са означеним номиналним растојањем тежишта арматуре 'a'

Поглављем 5 у [11] се постављају додатни услови за обликовање бетонских елемента, који допуњају услове дате у EN 1992-1-1 [1], а постају меродавни најчешће тек за више класе отпорности на пожар. Према овим подацима се може одредити и номинални заштитни слој с обзиром на отпорност на пожар 'c_{пож}', уколико се претходно претпоставе пречници арматуре и њен орјентациони распоред у пресеку, као

$$c_{\text{пож}} = a - \frac{\phi}{2} - \phi_u \quad (3)$$

за линијске, односно

$$c_{\text{пож}} = a - \frac{\phi}{2} \quad (4)$$

за површинске елементе, где су 'φ' и 'φ_u' пречници подужне арматуре и узенгија, респективно. Изрази (3) и (4) се примењују када су све шипке подужне арматуре истог пречника и постављене у један ред. За све остале случајеве 'c_{пож}' се одређује према стварном распореду арматуре.

Растојања тежишта арматуре 'a' дата у табелама су номиналне вредности, па толеранције не треба додавати. Ознаке димензија које се користе у табелама објашњене су на слици 3. Када се арматура поставља у више редова, просечно растојање тежишта 'a_m' не треба да буде мање од растојања тежишта 'a' датог у табелама. Просечно растојање тежишта се може одредити према следећем изразу:

$$a_m = \frac{A_{s1}a_1 + A_{s2}a_2 + \dots + A_{sn}a_n}{A_{s1} + A_{s2} + \dots + A_{sn}} = \frac{\sum A_{si}a_i}{\sum A_{si}}, \quad (5)$$

где је 'A_{si}' површина попречног пресека шипке 'i', док је 'a_i' удаљеност тежишта шипке 'i' од најближе изложене површине. При томе растојање 'a_i' било које појединачне шипке не сме бити мање од вредности захтеване за R 30 за шипке у једном реду, нити од половине просечног растојања 'a_m' за шипке у више редова.

- 1 Табелама у [11] обухваћени су следећи елементи: стубови (само за укрупњене конструкције) - табеле 5.2а и 5.2б; зидови: носећи - табела 5.3 и носећи - 5.4; затегнути елементи - 5.5; греде - табеле 5.5 (просте греде), и 5.6 и 5.7 (континуалне греде); плоче - табела 5.8; плоче директно ослоњене на стубове - табела 5.9 и орбрене плоче - 5.10 и 5.11.
- 2 Као илустрација и подлога за нумерички пример, овде су приказане вредности минималне дебљине и растојања тежишта арматуре за пуне плоче (табела 5).

Табела 5. Минимална дебљина и осовинско растојање 'a' за армиране и преднапрегнуте пуне слободно ослоњене бетонске плоче, према [11]

Отпорност на стандардни пожар	Минималне димензије [mm]			
	дебљина плоче 'h _s '	осовинско растојање 'a'		
		носива у једном правцу	носива у два правца	
			l _y /l _x ≤ 1,5	1,5 < l _y /l _x ≤ 2
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

l_x и l_y су распони плоче носиве у два ортогонална правца, при чему је l_y ≥ l_x
 * Обично је меродаван заштитни слој према EN 1992-1-1

5. КОНТРОЛА ПРЕТПОСТАВЉЕНИХ ПАРАМЕТАРА

Када се усвоји заштитни слој бетона, може се одредити статичка висина пресека, те извршити његово димензионисање за претходно срачунате утицаје од дејстава и њихове комбинације. Како је заштитни слој одређен по поступку који обухвата и низ претпостављених параметара (корак 3 на слици 1), након димензионисања пресека мора се проверити тачност постављених претпоставки. Ако је она задовољавајућа - поступак се завршава. Уколико је дошло до значајних одступања параметара (нпр. димензија попречног пресека, пречника и распореда арматуре...) у односу на претпостављене вредности, поступак се понавља од корака 3. Овај итеративни процес треба понављати све до постизања прихватљиве тачности.

6. ПРИМЕРИ

6.1 Темелј самац хале за производњу бетонске галантерије

Улазни параметри: Темелј је димензија у основи 2,0x2,0m. Кота фундирања је изнад нивоа подземне воде, а испод зоне смрзавања.

- Класа конструкције, према SRPS EN 1990/NA, табела 2.1: **S4**
- Класа изложености, према SRPS U.M1.206, прилог Л: средина је циклично влажна и сува, без замрзавања/одмрзавања - **XC4**, што према табели 4. истог стандарда представља **јако агресивну средину (IV)**
- Степен отпорности на пожар - није прописан
- Темелј се бетонира на лицу места, преко претходно припремљене подлоге од мршавог бетона. Након бетонирања је неприступачан за контролу. Не користи се додатна заштита ни арматуре ни површине елемента.

Претпостављени параметри:

- Претпостављена дебљина стопе **h=500mm**. Арматура је В 500, претпостављеног пречника **16mm**. Арматура сваког правца ће бити постављена у **један ред**.
- Према SRPS U.M1.206, табела 4, за класу изложености **XC4** се захтева $(w/c)_{\min}=0,50$, минимална количина цемента 380kg/m^3 и најмања класа чврстоће бетона **C30/37**. Усвојена класа **C30/37**
- Модификација класе конструкције/елемента - нема основа за модификацију класе елемента у складу са табелом 3

Усвајање номиналног заштитног слоја:

- Усвојене су препоручене вредности $\Delta c_{\text{dur},\gamma}=0$, $\Delta c_{\text{dur},\text{st}}=0$, $\Delta c_{\text{dur},\text{add}}=0$, и $\Delta c_{\text{dev}}=10\text{mm}$.
- Према табели 4: $c_{\text{min},\text{dur}}=30\text{mm}$

$$c_{\text{min}} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{\text{min},\text{b}} = \phi = 16\text{mm} \\ c_{\text{min},\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}} = 30\text{mm} \\ 10\text{mm} \end{array} \right\} = 30\text{mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 30 + 10 = 40\text{mm}$$

Номинални заштитни слој елемента који се изводи на неравној подлози, претходно припремљеној, не сме бити тањи од 40mm.

На основу горње анализе, усваја се вредност:

$$\boxed{c_{\text{nom}}=40\text{mm}}$$

Према Правилнику [2], члан 135, минимална дебљина заштитног слоја у слабо агресивној средини износи 20mm, а у јако агресивној средини се увећава за 15mm. Како површина након бетонирања није доступна за контролу, заштитни слој се додатно увећава за 5mm:

$$c_{\text{nom}} = 20 + 15 + 5 = 40\text{mm}$$

У овом примеру су добијене исте вредности номиналног заштитног слоја према Еврокоду и Правилнику.

6.2 АБ плоча изнад гараже

Улазни параметри: Пуна појединачна АБ плоча изнад гараже (слика 2), распона $l_y/l_x=5,0/4,0\text{m}$, слободно ослоњена по контури, изводи се на лицу места у оплати.

- Класа конструкције, према SRPS EN 1990/NA, табела 2.1: **S4**

- Класа изложености, према SRPS U.M1.206, прилог Л и слици 2: горња зона - **XC4+XF3 - јака агресивност (IV)**; доња зона - **XC1 - ниска агресивност (I)**
- Степен отпорности на пожар. Према SRPS TP 21, зграда висине 10 до 16m, где се у једном пожарном сектору може наћи 21-50 особа, класификује се као IS2+P2 и захтева III SOP. На основу табеле 1 овог рада, за спољну конструкцију, захтева се отпорност елемента **REI 30**.
- Плоча се изводи монолитно. Након бетонирања је приступачна за контролу. Не користи се додатна заштита ни арматуре ни површине елемента.

Претпостављени параметри:

- Дебљина плоче је одређена на основу три критеријума:
 - Правилник: $h \geq l_{\min} / 35 = 400 / 35 = 11,43\text{cm}$
 - EN 1992-1-1, табела 7.4N: $d \geq l_{\min} / 20 = 20\text{cm}$, где је 'd' статичка висина
 - Табела 5 овог рада: $h \geq 60\text{mm}$
 Табела 7.4N Еврокода 2 није обавезујућа, па је усвојена **дебљина плоче 120mm**
- Арматура је В 500. **Пречник арматуре од 10mm** је усвојен из два критеријума:
 - Искуствено: $\phi = h (\text{cm}) - 2 = 12 - 2 = 10\text{mm}$
 - EN 1992-1-1, табела 7.2N: - за претпостављени напон у арматури од 280MPa и граничну ширину прелина $w_k=0,3\text{mm}$, максимални пречник арматуре којим се постиже контрола прелина без прорачуна износи 12mm.
- Према SRPS U.M1.206, табела 4, за горњу површину плоче се захтева $(w/c)_{\min}=0,50$, минимална количина цемента 380kg/m^3 и најмања класа чврстоће бетона C30/37. Доња површина елемента изложена је нижој класи агресивности за коју је најмања класа бетона C20/25. За цео елемент се усвајају строжији захтеви. Усвојена је класа **C30/37**
- Модификација класе конструкције/елемента (табела 3). Елемент има геометрију плоче, па је допуштено смањење класе конструкције за 1. За доњу зону се класа додатно може смањити за 1 због усвајања класе чврстоће бетона $\geq C30/37$. Класа елемента: **горња зона - S3, доња зона - S2**

Усвајање номиналног заштитног слоја:

- Усвојене су препоручене вредности $\Delta c_{\text{dur},\gamma}=0$, $\Delta c_{\text{dur},\text{st}}=0$, $\Delta c_{\text{dur},\text{add}}=0$, и $\Delta c_{\text{dev}}=10\text{mm}$.

- Према табели 4: $c_{\min,\text{dur}} = \begin{cases} 25\text{mm} & \text{у горњој зони} \\ 20\text{mm} & \text{у доњој зони} \end{cases}$

$$c_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{\min,b} = \phi = 10\text{mm} \\ c_{\min,\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}} = \begin{cases} 25\text{mm} & \text{г.з.} \\ 20\text{mm} & \text{д.з.} \end{cases} \\ 10\text{mm} \end{array} \right\} = \begin{cases} 25\text{mm} & \text{у горњој зони} \\ 20\text{mm} & \text{у доњој зони} \end{cases}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} = \begin{cases} 35\text{mm} & \text{у горњој зони} \\ 30\text{mm} & \text{у доњој зони} \end{cases}$$

Номинални заштитни слој с обзиром на отпорност на пожар, у складу са табелом 5 и (4) износи: $c_{\text{pož}} = a - \phi / 2 = 10 - 10 / 2 = 5\text{mm} < c_{\text{nom}}$.

На основу горње анализе, усвајају се вредности:

$c_{\text{nom}}=35\text{mm}$ за горњу зону

$c_{\text{nom}}=30\text{mm}$ за доњу зону

Према Правилнику [2], члан 135, минимална дебљина заштитног слоја плоче у слабо агресивној средини износи 15mm, а у јако агресивној средини се увећава за 15mm, па имамо :

$$c_{\text{ном}} = 15 + 15 = \mathbf{30\text{mm}} \text{ за горњу зону, и}$$

$$c_{\text{ном}} = \mathbf{15\text{mm}} \text{ за доњу зону.}$$

Вредности номиналног заштитног слоја према Правилнику су мање од добијених према Еврокоду.

Аутор је одредио величину номиналног заштитног слоја према Еврокоду и Правилнику за низ других елемената (греда, стубова), различитих својстава, класе изложености и класе конструкције. Показало се да резултати према Правилнику никада нису на страни сигурности, а да су одступања у односу на Еврокод већа при вишим класама изложености.

7. ЗАКЉУЧАК

Детаљна анализа поступака усвајања заштитног слоја бетона према Еврокоду и Правилнику, те поређење овако добијених нумеричких вредности, показују да су захтеви у погледу прионљивости између бетона и арматуре идентични у оба поступка, али да се применом Еврокода добијају веће дебљине заштитног слоја с обзиром на заштиту арматуре од корозије. Због овога је за препоруку да се већ сада, барем у домену обезбеђења трајности бетонских конструкција, уместо важећег Правилника примењују одговарајућа поглавља Еврокода и пратећих докумената.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, CEN European Committee for Standardization, **2004**.
- [2] *Правилник о техничким нормативима за бетон и армирани бетон*, Сл. лист СФРЈ бр. 11/87, **1987**.
- [3] *SRPS EN 1990 Еврокод - Основе пројектовања конструкција*, Институт за стандардизацију Србије, **2012**.
- [4] *SRPS EN 1990/NA Еврокод - Основе пројектовања конструкција - Национални прилог*, Институт за стандардизацију Србије, **2012**.
- [5] *SRPS EN 206-1 Бетон - Део 1: Спецификација, перформансе, производња и усаглашеност*, Институт за стандардизацију Србије, **2012**.
- [6] *SRPS U.M1.206:2013 Бетон - Спецификација, перформансе, производња и усаглашеност - Правила за примену стандарда SRPS EN 206-1*, Институт за стандардизацију Србије, **2013**.
- [7] *SRPS TP 21:2003 Техничка препорука за грађевинске техничке мере заштите од пожара стамбених, пословних и јавних зграда*, Институт за стандардизацију Србије, **2003**.
- [8] *SRPS TP 19 Заштита од пожара индустријских објеката - Прорачунска потребна отпорност према пожару*, Институт за стандардизацију Србије.

- [9] SRPS U.J1.240:1995 *Заштита од пожара у грађевинарству - Степен отпорности зграде према пожару*, Институт за стандардизацију Србије, 1995.
- [10] *Правилник о техничким нормативима за заштиту складишта од пожара и експлозија*, Сл. лист СФРЈ бр. 24/87, 1987.
- [11] EN 1992-1-2 *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*, CEN European Committee for Standardization, 2004.
- [12] Томичић, И.: *Бетонске конструкције*, Друштво хрватских грађевинских конструктора, Загреб, 1996.
- [13] Голеш, Д., Зарић, Р.: Избор диспозиције монтажне бетонске хале. *Зборник радова Грађевинског факултета у Суботици*, 2014., бр. 26, стр. 85-97.
- [14] Група аутора: *Бетон и армирани бетон према ПБАБ'87*, Књига 1 и 2, Грађевинска књига, Београд, 1989.

CONCRETE COVER TO REINFORCEMENT ACCORDING TO EUROCODE

Summary: *For decades, the scientific and professional literature emphasizes the importance of proper design and construction of concrete cover to reinforcement, which should ensure the safe transmission of bond forces, the protection of the steel against corrosion and an adequate fire resistance. Nevertheless, in engineering practice in the region often is insufficient attention paid to this subject. Eurocode 2, in comparison to the Code on technical standards for concrete and reinforced concrete from the 1987th (Regulations), sets more stringent criteria for the nominal cover and therefore, their instant application in our country is recommended. In order to make the adoption of concrete cover during design easier and faster, in the paper is this procedure shown through tables and diagrams and numerical examples, with comparison of values obtained according to Eurocode and current Regulations. The review is given to the relationship between Structural Class, Exposure Class, type of element, concrete Strength Class and the concrete cover thickness.*

Keywords: *Reinforced concrete structures, concrete cover, Eurocode*