

Dejan Momčilović¹

ČELICI ZA ARMIRANJE BETONA STEELS FOR CONCRETE REINFORCEMENT

Stručni rad / Professional paper
UDK /UDC: 669.15.018.291.3
Rad primljen / Paper received: 21.9.2005.

Author's address:
¹ Institut za ispitivanje materijala, Beograd

Ključne reči

- čelik za armiranje
- standard
- ispitivanje
- zavarljivost

Izvod

Ispitivanje čelika u građevinarstvu danas uključuje obimnu aktivnost koja nije na pravi način prikazana u domaćoj stručnoj literaturi. Ispitivanje je od velikog značaja u slučaju čelika za armiranje betona, jer može doći do katastrofalnih lomova zbog njihovog niskog kvaliteta. Namena ovog rada je da prikaže osnove kontrole kvaliteta čelika, primenjenih u građevinarstvu, sa posebnim osvrtom na standarde za čelike za armiranje i njihovu harmonizaciju.

UVOD

Cilj rada je da se građevinski inženjeri upoznaju sa osnovnim mehaničko-tehnološkim osobinama čelika za armiranje betona, uz naglasak na postojeću zakonsku regulativu i iskustvima iz oblasti kontrole kvaliteta.

Osnovne podloge za izradu ovog rada su domaći i strani propisi, kao i metalurgija, plastična deformacija, zavarivanje i ispitivanje čelika.

VRSTE ČELIKA ZA ARMIRANJE

Proizvodnja čelika

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton, Sl. list SFRJ broj 11/87, koriste se sledeći čelici:

- Č0002 i Č0300 za izradu glatkog betonskog čelika (GA); i
- Č0550 za izradu rebrastog betonskog čelika oblika RA1, RA2, RA3 i RA4; oblik RA2 se može izraditi i od čelika oznake kvaliteta Č0551, sl. 1.

Čelici za armiranje se prema standardu JUS C.K6.020 – Vruće valjani čelici - Betonski čelici - Tehnički uslovi, proizvode po:

- Simens - Martinovom;
- elektro; i
- kiseoničkom postupku u konvertoru;

ili po nekom drugom postupku pod uslovom da zadovoljavaju uslove iz pomenutog standarda.

Keywords

- reinforcement steel
- standard
- testing
- weldability

Abstract

Testing of steels in civil engineering today includes wide range of activities which are not properly presented in domestic professional literature. This is of great significance in the case of steels for concrete reinforcement, since catastrophic failures can occur due to their poor quality. The aim of this paper is to outline the basics of quality control of steels applied in civil engineering, with special reference to standards for reinforcement steels and their harmonisation.

INTRODUCTION

The aim of this paper is to present to the civil engineers the mechanical and technological properties of steels for reinforcement (SfR), with accent on valid law regulations, and experience in the field of quality control.

An elementary basis for this paper are local and foreign regulations, as well as metallurgy, plastic deformation, welding, and testing of steel.

GRADES OF REINFORCEMENT STEEL

Production of steel

According to Regulation for concrete and reinforced concrete, Sl. list SFRJ No 11/87, the following grades of steel are used:

- Č0002 and Č0300 for production of SfR without ribs (GA); and
- Č0550 for production of ribbed SfR, of the types RA1, RA2, RA3 and RA4; type RA2 can be produced from steel grade Č0551, Fig. 1.

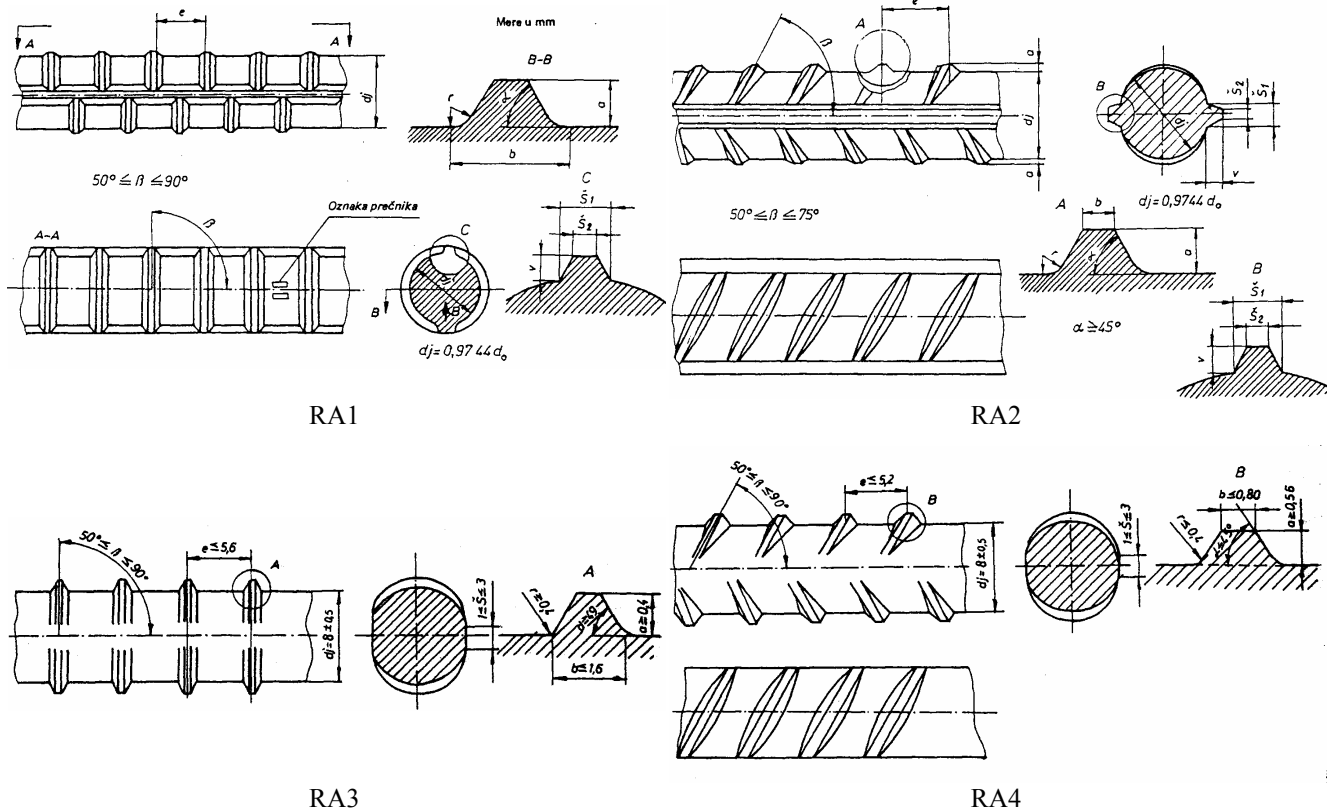
Reinforcing steels are produced according to JUS C.K6.020 - Hot drawn steels - Reinforcement steels – Technical condition, by the following processes:

- open heart;
- electro; and
- LD converter,

or by any other process if the requirements of noted standard are fulfilled.

Simens - Martinovom postupak je zastareo zbog povišenog sadržaja nečistoća u čeliku, koje smanjuju mehanička i tehnološka svojstva čelika za armiranje.

Open heart process is outdated due to increased level of impurities in steel, which decrease mechanical and technological properties of SfR.



Slika 1. Oblici čelika za armiranje prema domaćim standardima
Figure 1. Types of ribbed bars of SfR according to local standards.

Osnove kontrole kvaliteta čelika za armiranje

Kontrola kvaliteta radi utvrđivanja svojstava čelika za armiranje predstavlja skup različitih ispitivanja. Ova ispitivanja imaju za cilj proveru određenih svojstava definisanih odgovarajućim standardom. Standard JUS C.K6.120 propisuje ispitivanja navedena u tab. 1.

Postupak kontrole se zasniva na slobodnom izboru utvrđenog broja uzoraka (n) uzetih iz skupine proizvoda istog prečnika jedne šarže, prema tab. 2.

U praksi se kod nas ispituju samo zatezne karakteristike i tehnološke probe, odnosno savijanje i povratno savijanje. Na sl. 2 je prikazan uzorak čelika za armiranje sa vrlo visokim sadržajem nečistoća, nakon ispitivanja savijanjem.

Postupci zavarivanja čelika za armiranje

Za zavarivanje čelika za armiranje se primenjuje samo nekoliko postupaka zavarivanja. Najčešće se primenjuje postupak ručnog elektrodučnog zavarivanja (E), zavarivanje MAG postupkom u zaštiti CO₂ i sučeono elektrotopno zavarivanje varničnjem. Prvi razlog je što se zavarivanje čelika za armiranje izvodi na terenu, drugi – zavarljivost ovih čelika je ograničena zbog povišenog sadržaja ugljenika.

Basis of the quality control of reinforcement steels

Quality control for determining SfR properties presents the scope of different types of testing procedures. The purpose of these procedures is control of values defined in appropriate standards. Standard JUS C.K6.120 quote the kind of testing, Table 1.

Control procedure is based on random sampling of (n) number of specimens, for the same diameter and the same cast, according to Table 2.

General domestic practice is that only tensile properties, bending and reverse bending undergo testing. Figure 2 presents a sample of reinforcement steels with high level of impurities, after bending.

Welding processes for reinforcement steels

Only several procedures are applied for welding SfR. Most widely applied techniques of welding are: Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Flush Welding (FW). The first reason is that welding SfR is performed mainly in-situ, and the second is that weldability of these steels is limited due to increased carbon content.

Table 1. Vrste čelika, oznake i osobine

Oznaka vrste čelika		Č0002	Č0300	Č0550	Č0551	
1)	Oznaka profila prema JUS C.K6.120	GA	GA	RA1 RA2 RA3 RA4	RA2	
2)	Gornji napon tečenja R_{eH} , (N/mm ²) ili $R_{p0,2}$, najmanje	220	240	400	400	
3)	Zatezna čvrstoća R_m , (N/mm ²), najmanje	340	360	500	500	
4)	Izduženje A_{10} (%), najmanje	18	18	10	10	
5)	Savijanje	prečnik trna	2d ₀	2d ₀	5d ₀	5d ₀
		ugao savijanja	180 ⁰	180 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
6)	Povratno savijanje	prečnik trna	-	-	7d ₀	7d ₀
		ugao savijanja	-	-	45 ⁰	45 ⁰
		ugao povratnog savijanja	-	-	22,5 ⁰	22,5 ⁰
7)	Dinamička izdržljivost ¹⁾ σ_g , (N/mm ²), najmanje	-	190	220	220	
8)	Računski modul elastičnosti, (GPa)	-	-	200 do 210	200 do 210	
9)	Hemijski sastav šarže i proizvoda ²⁾ u % mase, najviše	C	-	-	0,60	0,28
		Si	0,60	0,60	0,60	0,60
		P	-	-	0,050 (0,055) ²⁾	0,050 (0,055) ²⁾
		S	-	-	0,050 (0,055) ²⁾	0,050 (0,055) ²⁾
10)	Podesnost za zavarivanje ³⁾	-	111, 135, 24, 47	24 ⁴⁾	111, 135, 24, 47, 71	

¹⁾ Dinamička izdržljivost kod rebrastog čelika je utvrđena samo za oblik RA2 i utvrđena pri naponu $\sigma_d = 20$ N/mm² i do 2×10^6 ciklusa.
²⁾ Vrednosti u zagradi utvrđene su za analizu proizvoda.
³⁾ 111 - elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom; 135 - MAG-elektrolučno zavarivanje u zaštiti gasova koji nisu inertni sa topivom elektrodnom žicom; 24 - sučeono elektrotoporno varničenjem; 47 - gasno zavarivanje pritiskom; 71 - aluminotermijsko zavarivanje prema JUS C.T3.003.
⁴⁾ Čelik se zavaruje sučeono elektrotoporno varničenjem pod posebnim uslovima.

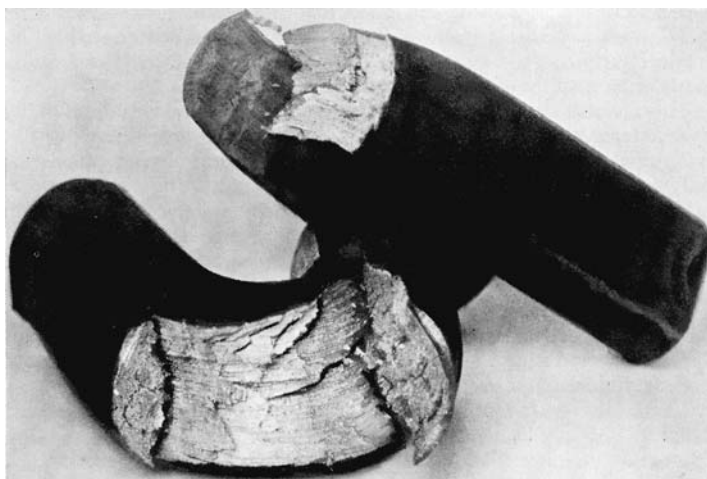
Table 1. Steel grades, types and properties

Steel grade		Č0002	Č0300	Č0550	Č0551	
1)	Type according to JUS C.K6.120	GA	GA	RA1 RA2 RA3 RA4	RA2	
2)	Upper yield point R_{eH} , (N/mm ²) or $R_{p0,2}$, min.	220	240	400	400	
3)	Tensile strength R_m , (N/mm ²), min	340	360	500	500	
4)	Elongation A_{10} (%), min	18	18	10	10	
5)	Bending	bending diameter	2d ₀	2d ₀	5d ₀	5d ₀
		bending angle	180 ⁰	180 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
6)	Reverse bending	bending diameter	-	-	7d ₀	7d ₀
		bending angle	-	-	45 ⁰	45 ⁰
		reverse bending angle	-	-	22,5 ⁰	22,5 ⁰
7)	Fatigue strength ¹⁾ σ_g , (N/mm ²), min	-	190	220	220	
8)	Elasticity modulus, (GPa)	-	-	200 do 210	200 do 210	
9)	Chemical composition of the cast and product ²⁾ in % mass, max	C	-	-	0,60	0,28
		Si	0,60	0,60	0,60	0,60
		P	-	-	0,050 (0,055) ²⁾	0,050 (0,055) ²⁾
		S	-	-	0,050 (0,055) ²⁾	0,050 (0,055) ²⁾
10)	Weldability related to process ³⁾	-	111, 135, 24, 47	24 ⁴⁾	111, 135, 24, 47, 71	

¹⁾ Fatigue strength is determined only for ribbed type RA2 and for $\sigma_d = 20$ N/mm² and up to 2×10^6 cycles.
²⁾ Noted values are only for product analysis.
³⁾ 111 - SMAW; 135 - GMAW; 24 - FW; 47 - GW; 71 - according to JUS C.T3.003.
⁴⁾ Flash Butt welding of steel is applied only under specified conditions.

Tabela 2. Broj uzoraka (n) zavisno od veličine skupine
 Table 2. Number of specimens (n) dependent of stock.

Vrsta ispitivanja Type of testing	Masa šarže (skupine) u tonama - Mass of the cast (or stock) in tons			
	do 50	iznad 50 do 100	iznad 100 do 150	iznad 150
	up to 50	from 50 to 100	form 100 to 150	above 150
Zatezanjem - Tensile test	2	3	4	5
Savijanjem - Bending				
Povratnim savijanjem - Reverse bending				
Zavarljivosti - Weldability				



Slika 2. Uzorak glatkog čelika za armiranje sa vrlo visokim sadržajem nečistoća, nakon ispitivanja savijanjem
Figure 2. Sample of smooth bar of Sfr with high level of impurities, after bending.

INOSTRANI STANDARDI I NORME ZA ČELIKE ZA ARMIRANJE

CEB-FIP Model Kod 1990

CEB/FIP Model Code /2/, koji vodi poreklo iz inicijalnog dokumenta iz 1978. godine, smatra se osnovom i prethodnicom Eurokoda EC2 /3/ u kome je navedena polazna tačka za nacionalne norme za projektovanje. Model Kod 90 navodi tri klase duktilnosti: A, B i C.

Ovakva klasifikacija je bila neophodna zbog različitih načina proizvodnje čelika, što je rezultovalo razlikom između duktilnosti i usvojenih metoda analiza konstrukcija koje zahtevaju čelike sa normalnim ili višim nivoom duktilnosti. Duktilnost se definiše kao normalna (klasa B) i visoka (klasa A). Takođe se navodi i klasa C, sa povišenom duktilnošću, koja je poznata i kao zemljotresna klasa. Koeficijent duktilnosti, izražen kao odnos zatezne čvrstoće i gornjeg napona tečenja (R_m/R_{ch}) i izduženje pri maksimalnoj sili (A_{gt}) imaju sledeće vrednosti:

- Klasa B: $R_m/R_{ch} = 1,05$, $A_{gt} = 2,5 \%$
- Klasa A: $R_m/R_{ch} = 1,08$, $A_{gt} = 5 \%$
- Klasa C: $R_m/R_{ch} = 1,15$, $A_{gt} = 6 \%$

Eurokod 2: EC2

Eurokod 2 u svom najnovijem izdanju /2/ ima iste klase duktilnosti za čelike za armiranje i iste zahteve kao prethodna verzija. Sa tačke gledišta tržišta u Evropi, sve klase i tipovi čelika su prihvatljivi na tržištu /6/, uz ispunjeni uslov povišene gornje granice napona tečenja R_{ch} od 400 do 600 MPa zbog postojećeg velikog broja vrsta čelika. Klase duktilnosti su ostale neizmenjene.

DIN 488: 1984 /4/

Nemački standard za čelike za armiranje DIN 488:1984 sadrži samo jednu klasu duktilnosti, $R_m/R_{ch} = 1,05$. Za armaturne mreže i žice ova vrednost se može smanjiti i na 1,03 ako je nazivni napon tečenja 550 MPa. Ovo je najčešće zahtev kod žica malog prečnika, 5,5 mm, (npr. armaturne mreže, žice, nosači) kao posledica smanjenja udela armature.

FOREIGN STANDARDS AND REGULATIONS FOR REINFORCEMENT STEELS

CEB-FIP Model Code 1990

CEB/FIP Model Code /2/, which originated in an initial document in 1978, is considered as the basis for, and the predecessor of Eurocode EC2 /3/, which in its turn is the starting point for national design norms. Model Code 90 specifies three ductility classes: A, B and C.

This classification was necessary as different methods used to manufacture steel result in variations in ductility and methods of structural analysis have been adopted that require steels with normal or higher ductility. Ductility is classified into normal (class B) and high (class A). There is also a class C, with increased ductility, which is generally known as earthquake class. The ductility coefficient, expressed as the ratio between tensile strength and upper yield strength (R_m/R_{ch}) and elongation at maximal force (A_{gt}) are rated as follows:

- Class B: $R_m/R_{ch} = 1.05$, $A_{gt} = 2.5 \%$
- Class A: $R_m/R_{ch} = 1.08$, $A_{gt} = 5 \%$
- Class C: $R_m/R_{ch} = 1.15$, $A_{gt} = 6 \%$

Eurocode 2: EC2

Eurocode 2 in its most recent form /2/ has the same ductility classes for Sfr with the same requirements as a previous version. From the European market point of view, all classes and types are acceptable at the market, /6/, with fulfilled requirement of increased upper yield strength R_{ch} of 400 to 600 MPa due to existing large number of types of reinforcement steels. The ductility classes remain unchanged.

DIN 488: 1984 /4/

The German concrete reinforcement steel norm DIN 488:1984 contains only one ductility class, $R_m/R_{ch} = 1.05$. This value can be reduced to 1.03 for meshes and wires, if the nominal yield strength is 550 MPa. This is mainly required for thin wires with diameters 5.5 mm (e.g. meshes, wires, and lattice girders) as due to the reduction in reinforcement area.

EN 10080 /5/

Evropski standard za čelike za armiranje, EN 10080, je još uvek u postupku harmonizacije. Ovaj standard ne sadrži tehničke podatke za osobine čvrstoće i deformacije ili karakteristike duktilnosti. To je ostavljeno nacionalnim propisima evropskih zemalja, što znači da će tehnički uslovi i dalje varirati od zemlje do zemlje /7/. Da bi se izbegli mogući problemi izdat je set standarda na osnovu prvobitne verzije prEN 10080:

- DIN EN 10080, 2005-08, Čelici za armiranje betona – Zavarljiv čelik za armiranje – Opšti zahtevi;
- DIN EN 10080-2, 1999-10, Čelici za armiranje betona – Zavarljiv čelik za armiranje – Deo 2: Tehnički uslovi za isporuku za klasu A;
- DIN EN 10080-3, 1999-10, Čelici za armiranje betona – Zavarljiv čelik za armiranje – Deo 3: Tehnički uslovi za isporuku za klasu B;
- DIN EN 10080-4, Čelici za armiranje betona – Zavarljiv čelik za armiranje – Deo 4: Tehnički uslovi za isporuku za klasu C; i
- OENORM EN 10080-5, 1999-10-01, Čelici za armiranje betona – Zavarljiv čelik za armiranje – Deo 5: Tehnički uslovi za isporuku armaturne mreže.

Ostali standardi

Koliko su još ukorenjeni stari standardi i koliko je težak prelaz na nove standarde, pokazuje i tab. 3. Vidi se da je JUS standard bio vrlo naslonjen na stari DIN 488. U tabeli 4. su date mehaničke karakteristike čelika za armiranje prema GOST 5781. Ovi čelici, proizvedeni u zemljama istočne Evrope, veoma su prisutni u SCG.

EN 10080 /5/

The European reinforcement steel norm, EN 10080 is still in process of harmonization. This standard does not contain technical values for strength and deformation properties or ductility characteristics. These are laid down in the national regulations for European countries, which mean technical conditions will vary from country to country /7/. In order to avoid possible problems, the set of standards based on first prEN 10080 is issued:

- DIN EN 10080, 2005-08, Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - General;
- DIN EN 10080-2, 1999-10, Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - Part 2: Technical delivery conditions for class A;
- DIN EN 10080-3, 1999-10, Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - Part 3: Technical delivery conditions for class B;
- DIN EN 10080-4, 1999-10, Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - Part 4: Technical delivery conditions for class C; and
- OENORM EN 10080-5, 1999-10-01, Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - Part 5: Technical delivery conditions for welded fabrics

Other standards

How deep are the roots of old standards and how difficult is transition to new standards can be seen in Table 3. It is clear that JUS standard was based on old DIN 488. Table 4 presents mechanical properties of steels for reinforcement from GOST 5781. These steels, produced in East European countries, are very present in SCG.

Tabela 3. Nazivni prečnici čelika za armiranje, mm, prema nacionalnim standardima
Table 3. Nominal diameters of steels for reinforcement, mm according to national standards.

JUS C.K6.120			DIN 488-2			GOST 5781
RA1	RA2	GA	Glatki BSt 22/34 GU	Sa poprečnim rebrima BSt 22/34 RU	Sa kosim rebrima BSt 42/50 RU i BSt 42/50 RK	-
RA1	RA2	GA	Smooth bars BSt 22/34 GU	Lateral ribs BSt 22/34 RU	Angled ribs BSt 42/50 RU and BSt 42/50 RK	-
-	-	5	5	-	-	-
6	6	6	6	6	6	6
8	8	8	8	8	8	8
10	10	10	10	10	10	10
12	12	12	12	12	12	12
14	14	14	14	14	14	14
-	16	16	16	16	16	16
-	-	18	18	18	18	18
-	19	-	-	-	-	-
-	-	20	20	20	20	20
-	22	22	22	22	22	22
-	25	25	25	25	25	25
-	28	28	28	28	28	28
-	32	32	-	32	-	32
-	36	36	-	36	-	36
-	40	-	-	40	-	40
-	-	-	-	-	-	45
-	-	-	-	-	-	50
-	-	-	-	-	-	55
-	-	-	-	-	-	60
-	-	-	-	-	-	70
-	-	-	-	-	-	80

Tabela 4. Mehanička svojstva prema GOST 5871
Table 4. Mechanical properties according to GOST 5871.

Klasa čelika Steel class	Napon tečenja, Yield strength	Zatezna čvrstoća Ultimate tensile strength	Izduženje Elongation
	Re (MPa)	Rm (MPa)	A ₅ (%)
A-I	235	373	25
A-II	294	490	19
Ac-II	294	441	25
A-III	392	590	14
A-IV	590	883	6
A-V	785	1030	7
A-VI	980	1230	6

UMESTO ZAKLJUČKA

Prevođenje i usvajanje standarda za čelike za armiranje neće rešiti sve probleme na domaćem tržištu. Očigledno je da će i po usvajanju EN serije 10080 biti najviše zastupljeni čelici za armiranje iz zemalja istočne Evrope. Neophodna je i ostala regulativa, koja je bila dobro definisana u starom i još uvek važećem Pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton. Jedno pogodno prelazno rešenje je usvojeno u Hrvatskoj kroz Tehnički propis za betonske konstrukcije (Narodne novine br. 175/03 i 100/04) /7/.

Ostaje realan problem kontrole kvaliteta čelika za armiranje. Imajući u vidu zahteve EN 10080 serije kao i standard EN 10002-2 (Osnovni standard za ispitivanje zatezanjem), danas je vrlo mali broj laboratorija u Srbiji osposobljen za ispitivanje čelika za armiranje.

LITERATURA – REFERENCES

1. Bewehrungen nach deutschen und europäischen Regelungen, Dr.-Ing. Michael Schwarzkopf, B-Tec Concept, Kehl, BFT 2/2005 Kongreßunterlagen 49. Ulmer Beton- und Fertigteiltage
2. CEB-FIP Model Code 1990, Final Draft Bulletin d'information n°203, Comité Euro International du Béton (CEB) 1991, Lausanne
3. Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau, Schluß-Entwurf prEn 1992-1-1, Dezember 2003, CEN Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 2003
4. DIN 488-1: 1984-09: Betonstahl, Teil 1, DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin, 1984
5. prEN 10080: Stahl für Bewehrung von Beton – Schweißgeeignete Betonstahl – Allgemeines, Entwurf Oktober 1999 und 2004-02, DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin
6. Bauregelliste A, B und C – Ausgabe 2003/1, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2003
7. Tehnički propis za betonske konstrukcije (Narodne novine br 175/03 i 100/04)

INSTEAD OF CONCLUSION

Translation and acceptance of standards for reinforcement steels will not solve all problems on the domestic market. It is clear that after the accepting EN series 10080, still the most widely distributed will be reinforcement steels from East European countries. Other codes are necessary, properly defined in old and still valid Regulation for concrete and reinforced concrete. One convenient transition solution is accepted in Croatia by Technical code for concrete structures (Narodne novine No. 175/03 and 100/04) /7/.

There is still an unsolved problem of quality control of reinforcement steels. Having in mind requirements of EN 10080 series and standard EN 10002-2 (Basic standard for tensile tests), only a small number of laboratories in Serbia are equipped today for testing reinforcement steels.