Karbonatizacija betona in trajnost(nost) AB konstrukcij

Aljoša Šajna, Vladimir Bras

ZAG Ljubljana

Vsebina

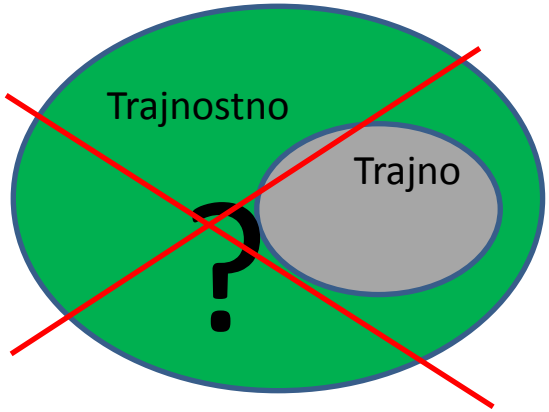
- Trajnost in trajnostnost
- „Zeleni“ cementi, „zeleni“ betoni
- Karbonatizacija betona
- Zahteve Eurokod-ov za trajnost
- Zahteve SIST EN 206-1 & SIST 1026 za obstojnost betona
- Preiskave
- Analiza trajnostnosti betona in konstrukcij
- Zaključek
- P.S.

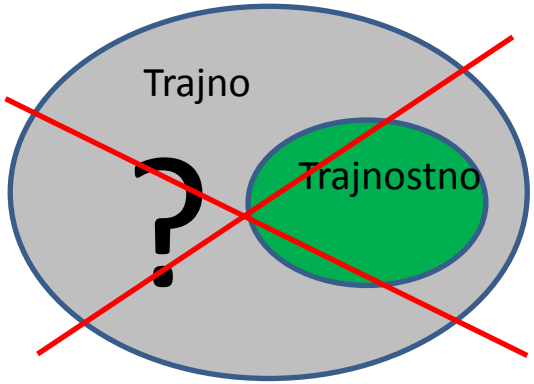
Trajnost in trajnostnost

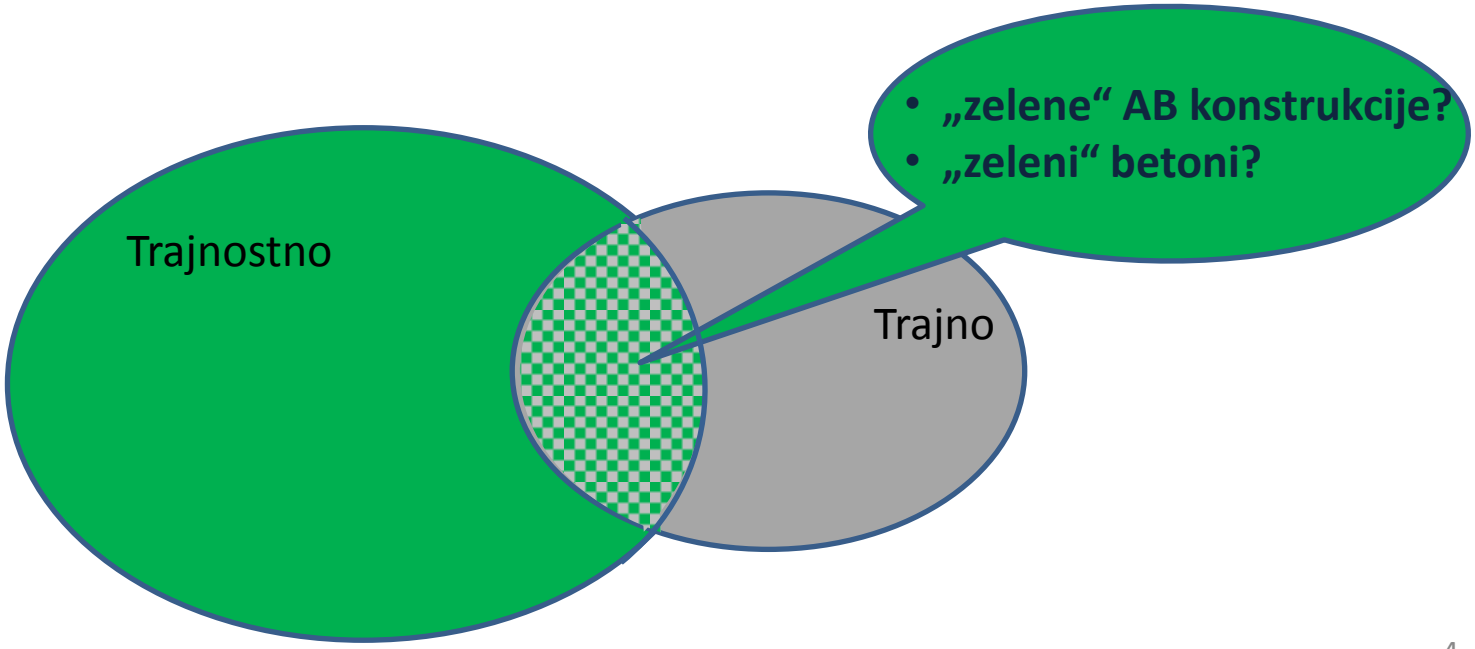
- Direktiva 2009/33/ES, Direktiva 2006/32/ES, Direktiva 2010/30/EU, Direktiva 98/34/ES Evropskega parlamenta in Sveta Evrope
- Uredba o zelenem javnem naročanju (U.l.RS št. 102/2011 z dne 13. 12. 2011)
- Naročnik po Zakonu o javnem naročanju (ZJN-2) ali Zakonu o javnem naročanju na vodnem, energetskem, transportnem področju in področju poštnih storitev (ZJNVETPS) naroča blago, storitve ali gradnje, ki imajo v primerjavi z običajnim blagom, storitvami in gradnjami v celotni življenjski dobi manjši vpliv na okolje in enake ali boljše funkcionalnosti.
- Cilj: „zmanjšati vpliv javnega sektorja na okolje“

- Splošna skrb za okolje

Trajnost in trajnostnost







„Zeleni“ betoni

Problem:

- Beton (cement) velja za material z visokim ogljičnim odtisom

Rešitev:

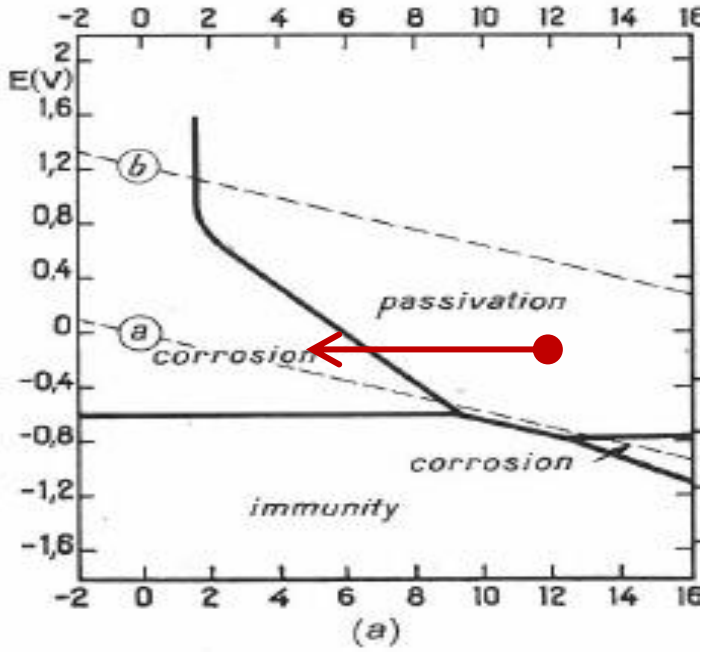
- Cementi z manj klinkerja
  (mešani cementi CEM II/B, CEM III, CEM IV)
- Betoni z mineralnimi dodatki tipa II
  (po SIST EN 206-1: EF-pepel, mikrosilika)

Analiza:

- Obstojnost betona & trajnost(nost) konstrukcij na primeru karbonatizacije betona z različnimi vrstami cementov

Karbonatizacija betona

- Cement: $Ca(OH)_2 + CO_2$ (zrak) -> $CaCO_3 + H_2O$
- Rezultati:
  - znižan s pH 12,5 na pH < 8,2 -> korozija armature
  - vpliv na trdnost in obstojnost betona še nejasen



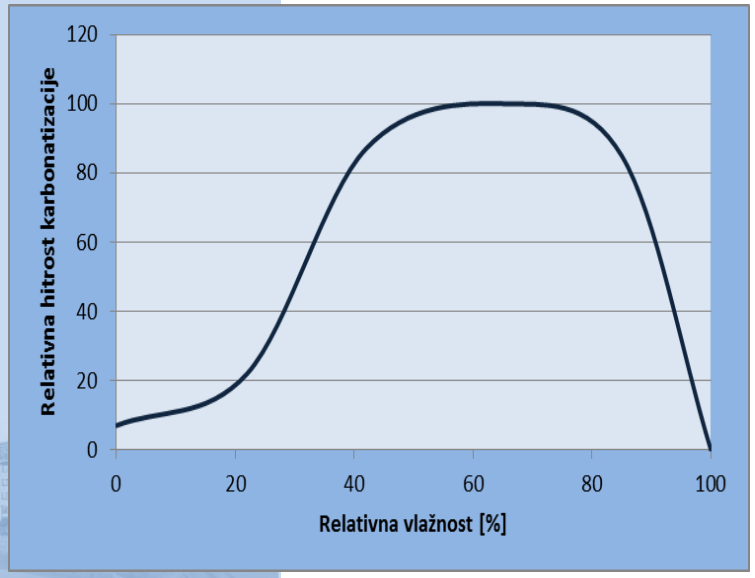
Vpliv pH na korozijo Fe2O3

- Marcel Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, NACE, HOUSTON, USA, 1974

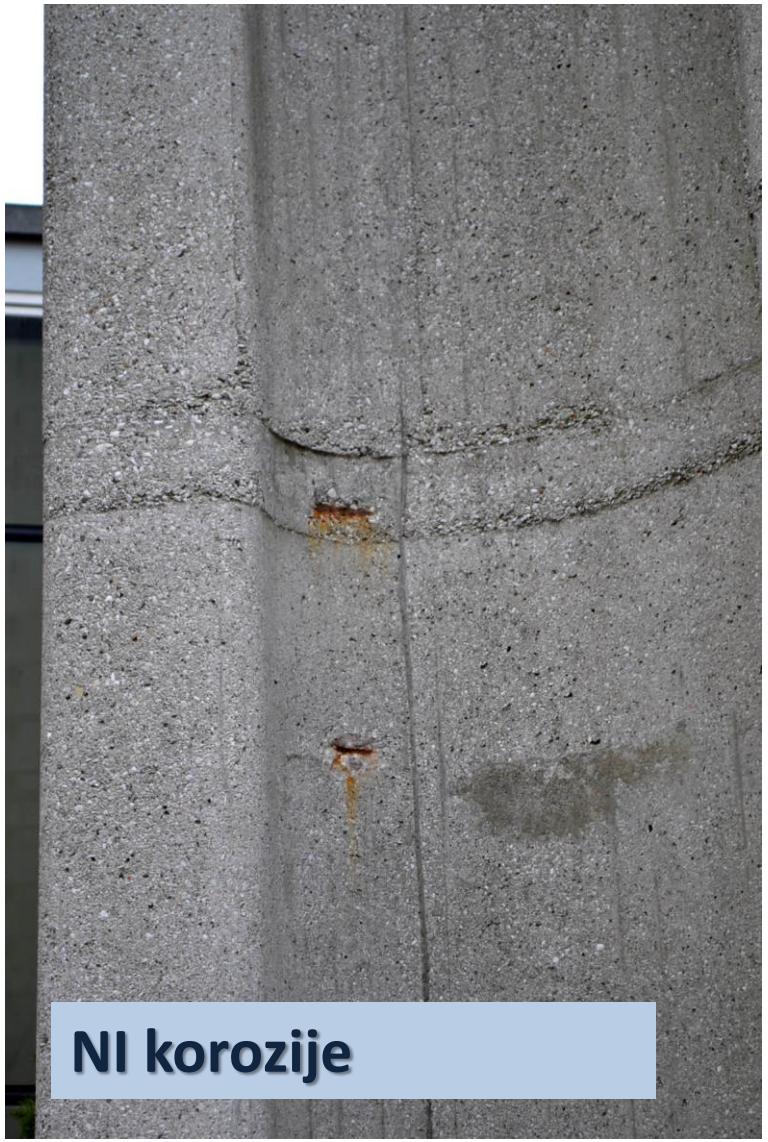
Evrokod in EN 206-1 z ND

- XC – korozija zaradi karbonatizacije

XC1	XC2	XC3	XC4
Suho ali trajno mokro	Mokro ali redko suho	Zmerna vlažnost	Izmenično mokro in suho
• Beton znotraj stavb • Beton stalno v vodi	• Beton v dolgotrajnem stiku z vodo • Mnogi temelji	• Beton zunaj, zaščiten pred dežjem	• Beton, ki ne spada v XC2



Primer 55 let starega objekta



- Objekti s projektirano življenjsko dobo 50 let (S4), min deb. [mm] krovnega sloja betona nad armaturo skladno z EN 10080:

	XC1	XC2	XC3	XC4
Min. deb. [mm]	15	25	25	30
Orientacijski trdnostni razred	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37
Za	C 30/37	C 35/45	C 35/45	C 40/50
lahko [mm]	10	20	20	25

SIST EN 206-1 in SIST 1026

- Priporočene vrednosti za sestave

Stopnja izpostavlje-nosti	Lastnost za preverjanje	Priporočen (v/c)max	Min. doza cementa [kg/m]*
XC1	/	0,65	260
XC2	PV-I	0,55	300
XC3	PV-I	0,55	300
XC4	PV-II	0,50	340

- *za D_{max} 22 ali 32 mm
- Ni odvisno od vrste cementa in njegovega trdnostnega razreda

SIST EN 206-1 in SIST 1026

- Primernost cementov (informativno, nekaj primerov)

Cement	XC1	XC2	XC3	XC4
CEM I	+	+	+	+
CEM II	Odvisno od podvrste			
CEM III/A, CEM III/B	+	+	+	+
CEM III/C	x	x	x	x
CEM V/B, CEM IV/A	x	x	x	x
CEM V/A	+	+	+	+
CEM V/B	x	x	x	x

- \+ Uporaba je primerna
- X Na podlagi dokaznih preiskav

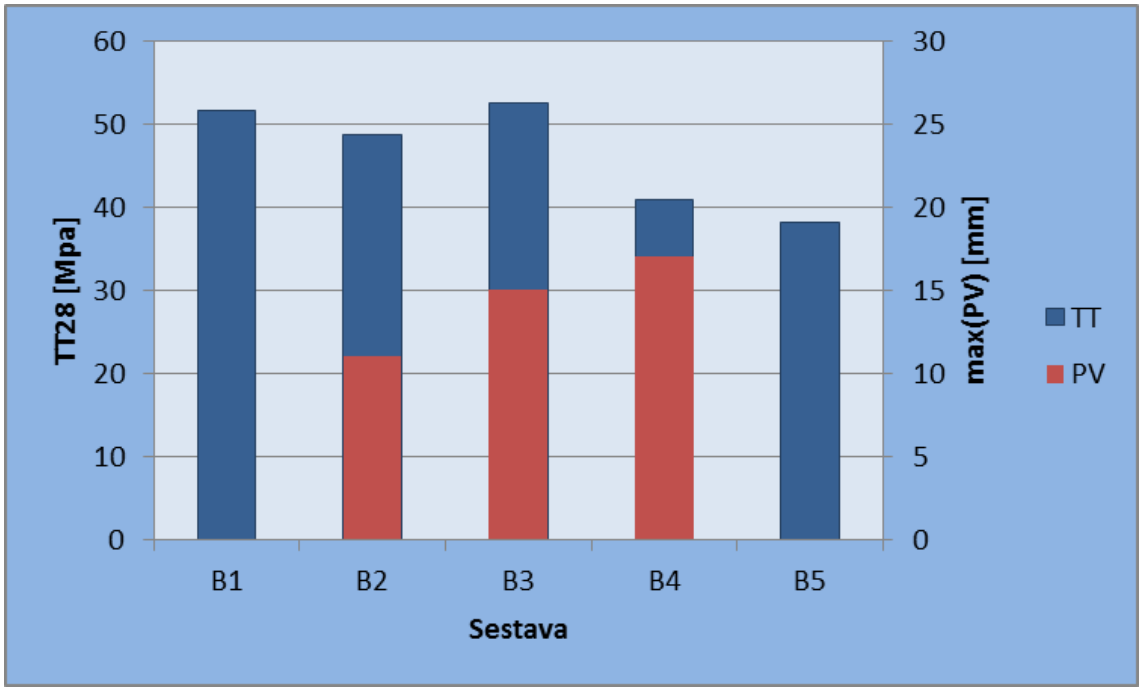
Preiskave - betoni

Sestava	betona
cement	320 kg/m3
v/c	0,53
superplastifikator	0,9 %
agregat	1976 kg/m3

Oznaka betona	Vsebnost klinkerja v cementu (po SIST EN 197-1) [%]	Primernost za XC po SIST 1026
B1	97,5	DA
B2	72,0	DA
B3	72,0	DA
B4	54,5	Na podlagi dokazov
B5	52,0	DA

Betoni – TT in PV

- TT: SIST EN 12390-3
- PV: SIST EN 12390-8



- Dosežen orientacijski trdnostni razred po Eurokod-u ✓
- Izpolnjen kriterij za XC4 po SIST 1026 ✓

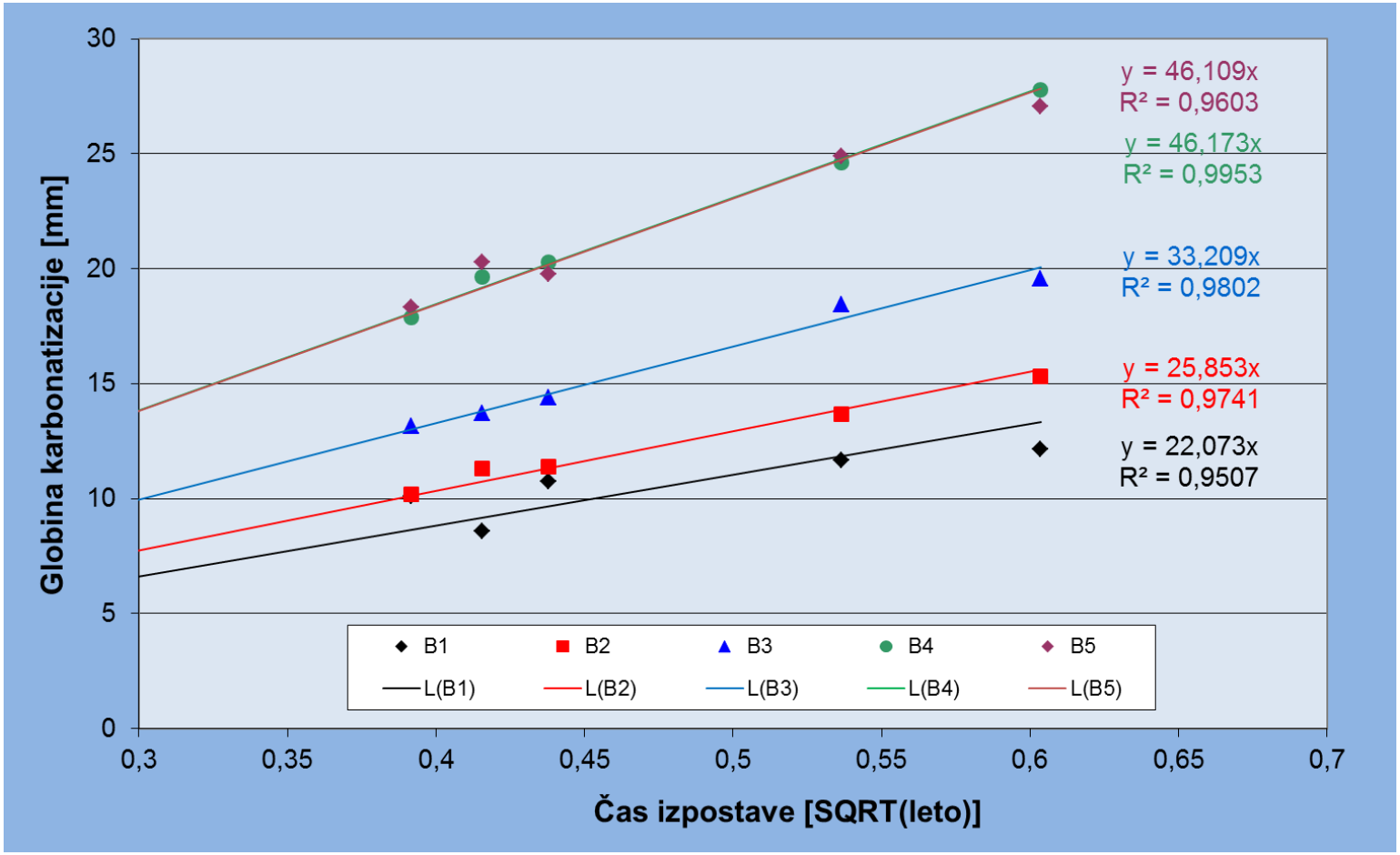
Betoni - karbonatizacija

- FprCEN/TS 12390-12: 2010 – Presk. strjenega betona – 12. del: Določitev potencialne odpornosti betona proti karbonatizaciji: Pospešena metoda karbonatizacije (umaknjen)
- 4,0 % CO2, 20°C, 55 % RV
- Do 133 dni
- Identifikacija: fenolftalein (brezbarven pri pH < 8,2)

B1 B2 B3

B4 B5

Betoni - karbonatizacija



Betoni - karbonatizacija

- Hitrost karbonatizacije…

Beton	… v komori [mm/√leto]	… v naravnem okolju* [mm/√leto]
B1	22	4,5
B2	26	5,2
B3	33	6,6
B4	46	9,2
B5	46	9,2

*) M.A. Sanjuan, C.Andrade, M.Cheyrezy, Concrete carbonation tests in natural and accelerated conditions, Advances in Concrete Research, 2003, 15, No. 4, October, 171-180

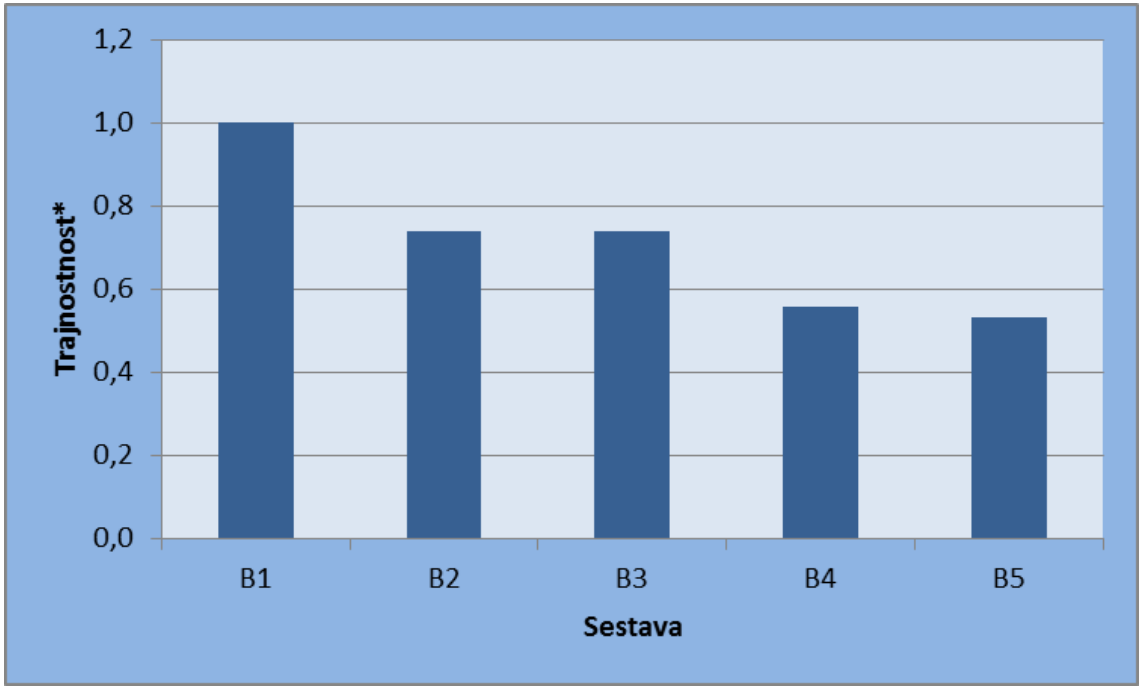
Analiza trajnostnosti konstrukcije

- Analiza 1: Beton
- Analiza 2: Nosilnost v tlaku
- Analiza 3: Debelina krovnega sloja za XC1 do XC4

- Opomba: upoštevana zgolj vsebnost klinkerja v betonu in povečani prečni preseki zaradi zagotavljanja iste tlačne nosilnosti (nižje trdnosti betona) in povečane debeline krovnega betona (slabšega odpora proti karbonatizaciji)

Betoni - trajnostnost

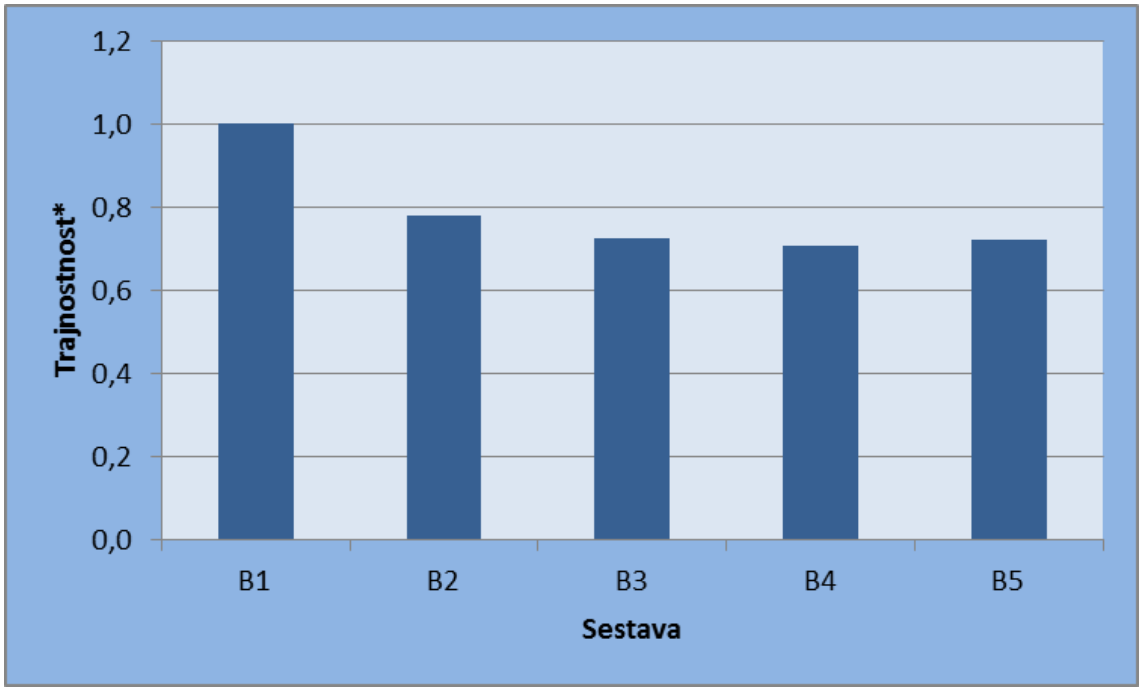
- Trajnostnost betona = količina klinkerja



*) Trajnostnost – proporcionalno glede na količino klinkerja v cementu; nižja vrednost = bolj trajnostni beton

Nosilnost v tlaku

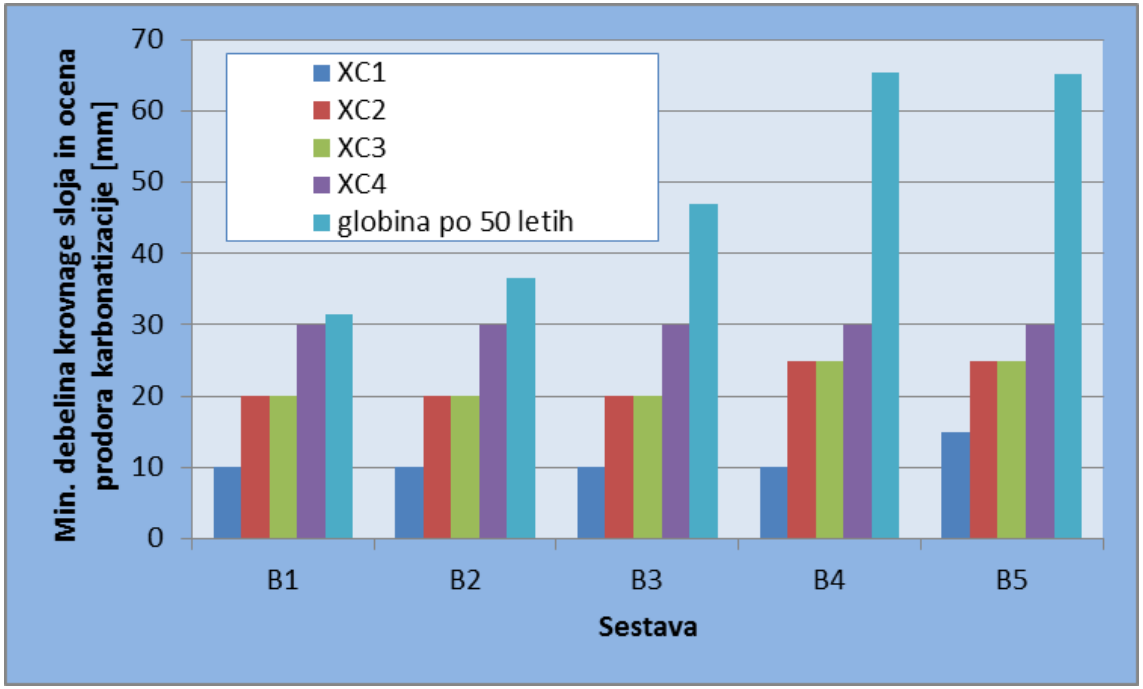
- Potrebna površina = zahtevana nosilnost / TT
- Trajnostnost = potrebna površina * količina klinkerja



*) Trajnostnost – proporcionalno glede na količino klinkerja v cementu in površino prečnega preseka nosilca; nižja vrednost = bolj trajnostni beton

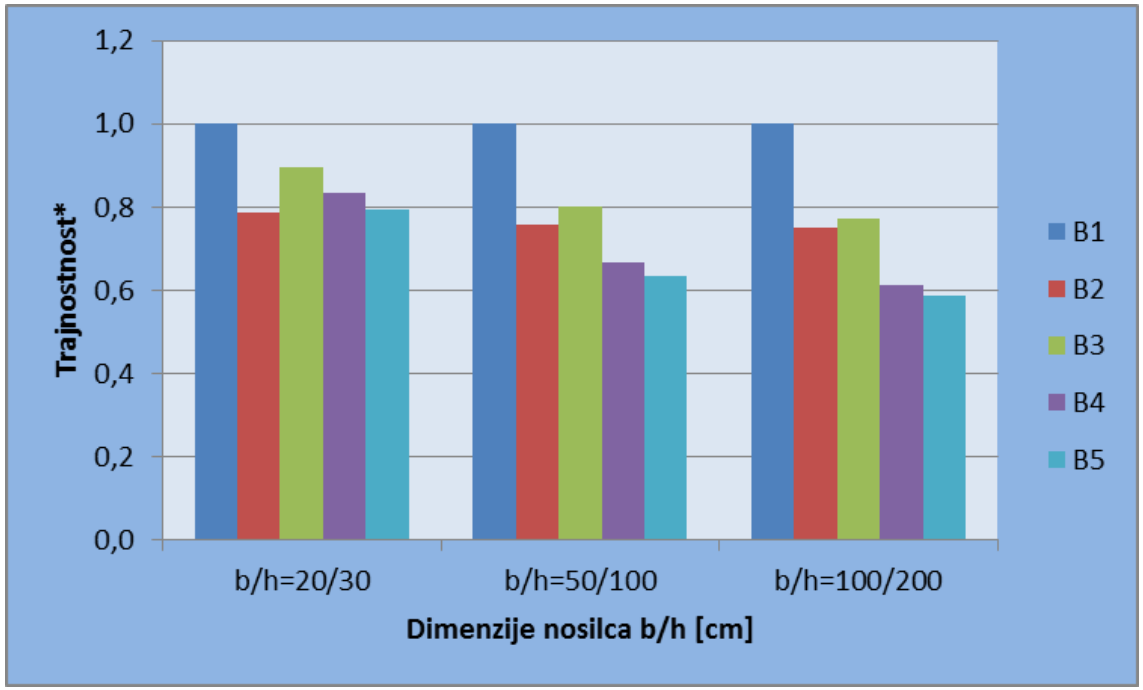
Debelina krovnega sloja

- Min debelina po zahtevi Eurokod-a
- Korekcija (zmanjšanje) zaradi višjega trdnostnega razreda
- Globina prodora po 50 letih



Karbonatizacija - trajnostnost

- Površina nosilca = b * h + zaščitni sloj po obodu
- Tajnostnost = površina nosilca * vsebnost klinkerja

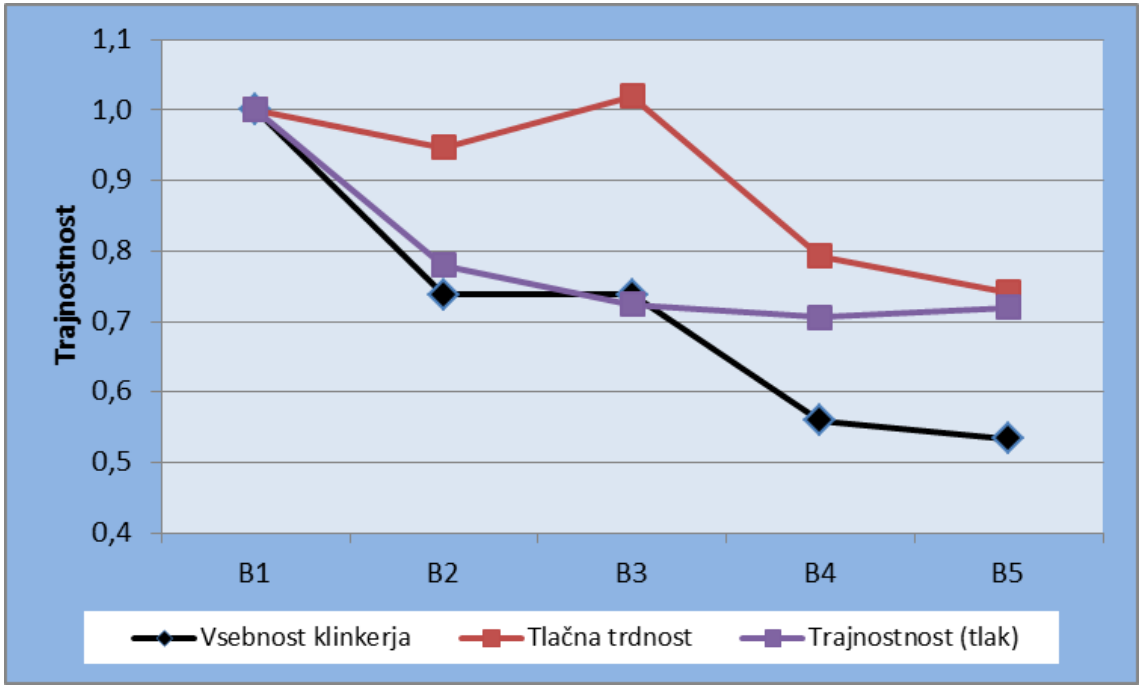


*) Trajnostnost – proporcionalno glede na količino klinkerja v cementu in površino prečnega preseka nosilca; nižja vrednost = bolj trajnostni beton

Zaključek

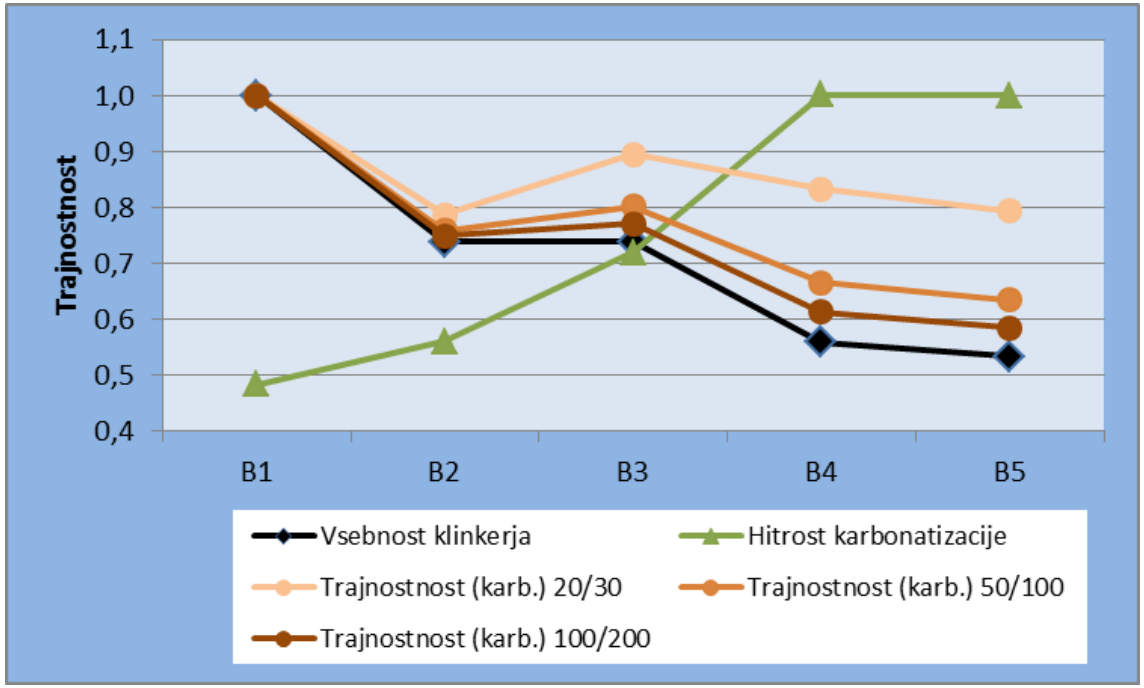
- Vsi betoni izpolnjujejo zahtevo SIST 1026 za XC4, a razlike v odpornosti proti karbonatizacijo velike.
- Vsi betoni in konstrukcije izpolnjujejo zahteve Eurokod-ov, a le eden „doživi“ projektirano življenjsko dobo.
- Za mešane cemente preiskave odpornosti proti karbonatizaciji NUJNE.
- Predlog za ND: FprCEN/TS 12390-12: 2010
- Projektiranje debeline krovnega betona na podlagi dejanske odpornosti betona na karbonatizacijo NUJNO.

Zaključek



- Manjša vsebnost klinkerja ≅ nižja trdnost
- Manjša vsebnost klinkerja ob enaki tlačni nosilnosti (tlačna trdnost * površina prereza) → bolj trajnosten objekt

Zaključek



- Manjša vsebnost klinkerja → hitrejša karbonatizacija
- Manjša vsebnost klinkerja ob enaki življenjski dobi (povečana debelina krovnega sloja betona) → bolj trajnosten objekt

Hvala!

aljosa.sajna@zag.si