



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva

Opatija, 2019.

SUSTAVI POVRŠINSKE ZAŠTITE ARMIRANOBETONSKIH GRAĐEVINA U MARITIMNIM UVJETIMA OKOLIŠA

Mario ILLE, Karla ILLE

dr.sc. Mario ILLE, dipl.ing.građ., Institut IGH, d.d., Zagreb

Karla ILLE, dipl.ing.građ., Institut IGH, d.d., Zagreb

UVOD

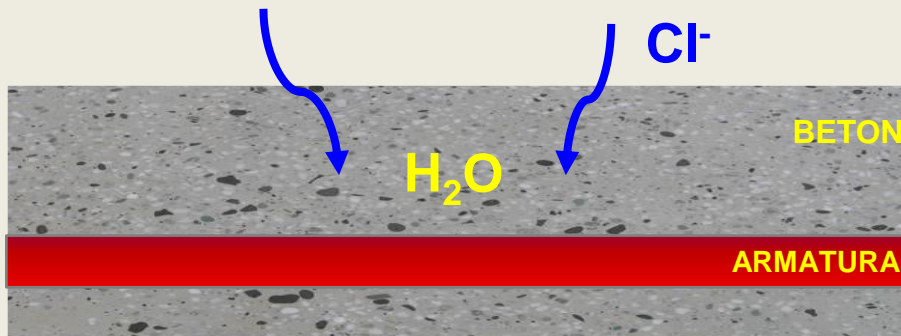
- Ubrzano propadanje AB konstrukcija



posljedica **korozije armature**

- **Glavni razlozi korozije armature**

1. karbonatizacija
2. prisutnost klorida



ZAŠTO SPECIFICIRANJE TRAJNOSTI?

- Zato što se trajnost betonskih konstrukcija još uvijek ne projektira

Ona se samo aproksimativno i nepouzdana uvjetuje

- osiguranje trajanja zadane otpornosti i stabilnosti kroz vijek korištenja (najmanje 50 godina) svedeno je na 2 tablice (na 2 stranice):
 1. ograničenja u sastavu i čvrstoći betona u EN 206
 2. debljina zaštitnog sloja betona u EN 1992 (za pojedine vrste i razrede agresivnog okoliša)



POSljedICE!

- Jedva podnošljivi troškovi održavanja (uglavnom sanacija, rekonstrukcija i neefikasne zaštite)
- V. Britanija i Njemačka → godišnje po oko 10 milijardi eura
- SAD → za održavanje kolničkih konstrukcija prometnih objekata troše godišnje oko 50 milijardi dolara



POSljedICE!

- ELAND BRIDGE u Švedskoj
(izvedba 32 milijuna EUR, sanacija 75 milijuna EUR)
- **HR** - sanacija kolničke ploče (sa hodnicima i vijencima) i rekonstrukcija kolničkog zastora samo jedne trake mosta preko Save u Ivanjoj Reci → oko 140 milijuna kuna (oko 1.500 EUR/m²).



RJEŠAVANJE PROBLEMA NA OPĆEM NIVOU

- Tek se krajem 90-tih prepoznao problem trajnosti armiranobetonskih konstrukcija
- Rješavanje globalnog problema projektiranja trajnosti betonskih konstrukcija upućeno je novoformiranoj organizaciji *fib-a* koja je za to osnovala posebnu radnu grupu 5.6.
- ***fib*** Radna grupa 5.6 je 2006. godine u Biltenu broj 34 objavila:

“Model Code for Service Life Design”



RJEŠAVANJE PROBLEMA NA OPĆEM NIVOU

- Dokument predlaže model projektiranja vijeka korištenja betonskih konstrukcija za sljedeće agresivne okoliše:

XC **karbonatizacija**

XS **kloridna agresija**

XF **Smrzavanje i odmrzavanje (sa i bez soli)**

- Proračunski parametri su još uvijek dani u informativnim dodacima i za sada nisu sadržani u normama i zakonskoj regulativi



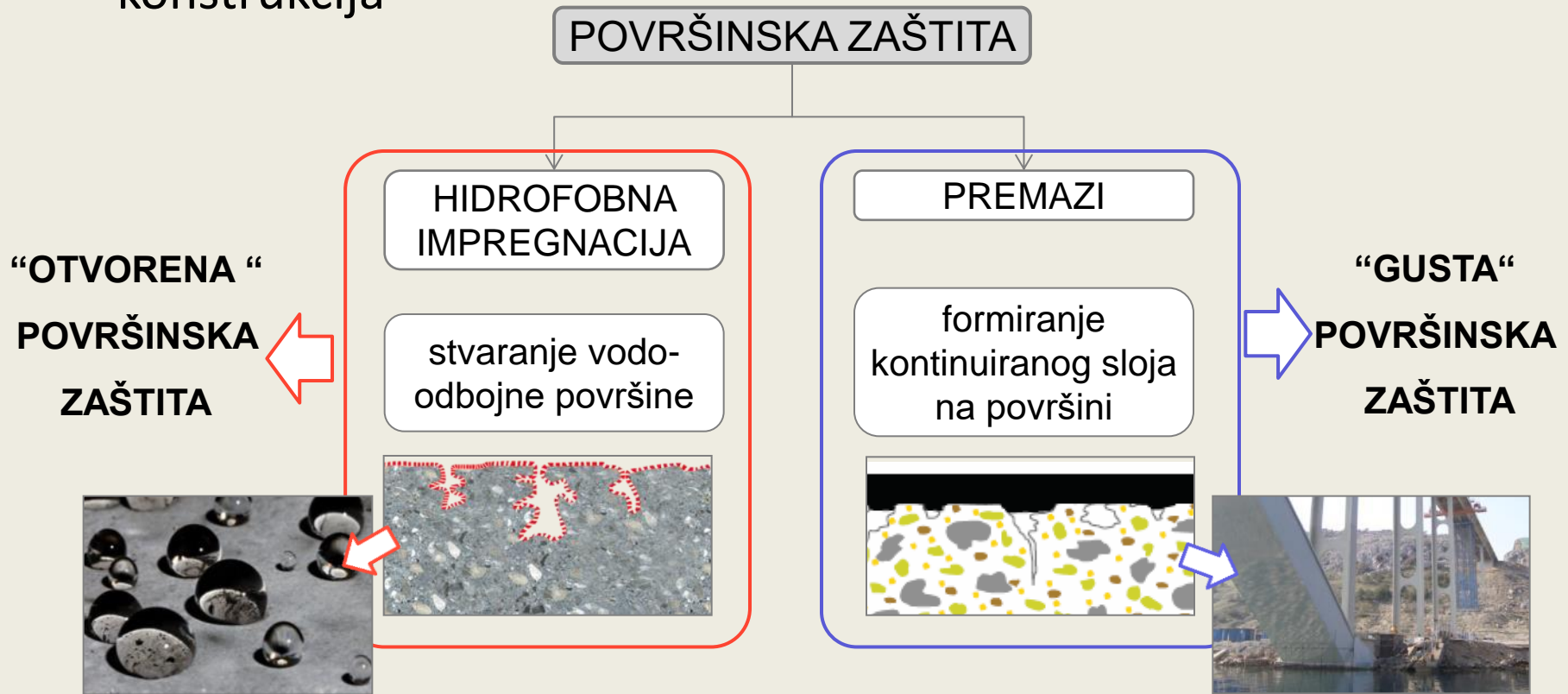
PROBLEM TRAJNOSTI

- U maritimnim uvjetima kloridi su uvijek mjerodavno pobudno opterećenje



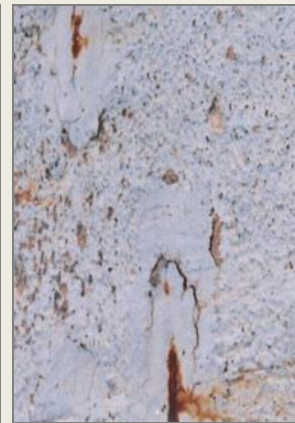
PROBLEM TRAJNOSTI

- Proizvodi i sustavi koji poboljšavaju trajnost betona i AB konstrukcija



PROBLEM TRAJNOSTI

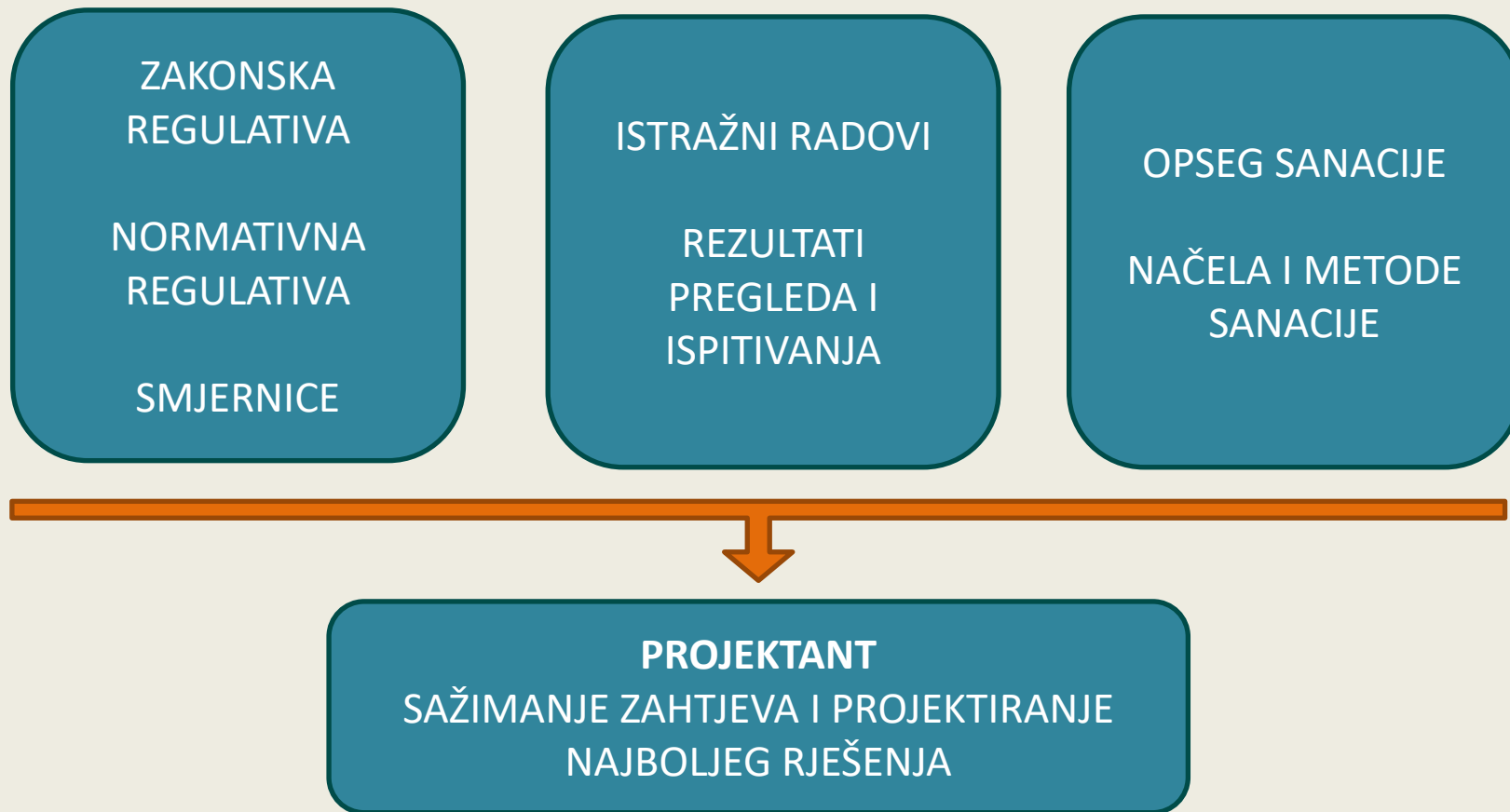
NEDOVOLJNO UČINKOVITI!



KAKO ODABRATI ODGOVARAJUĆI MATERIJAL ZA SANACIJU I ZAŠTITU AB KONSTRUKCIJE U MARITIMNOM OKOLIŠU (XS1, XS2, XS3)?



PRAVILAN ODABIR MATERIJALA



PRAVILAN ODABIR MATERIJALA

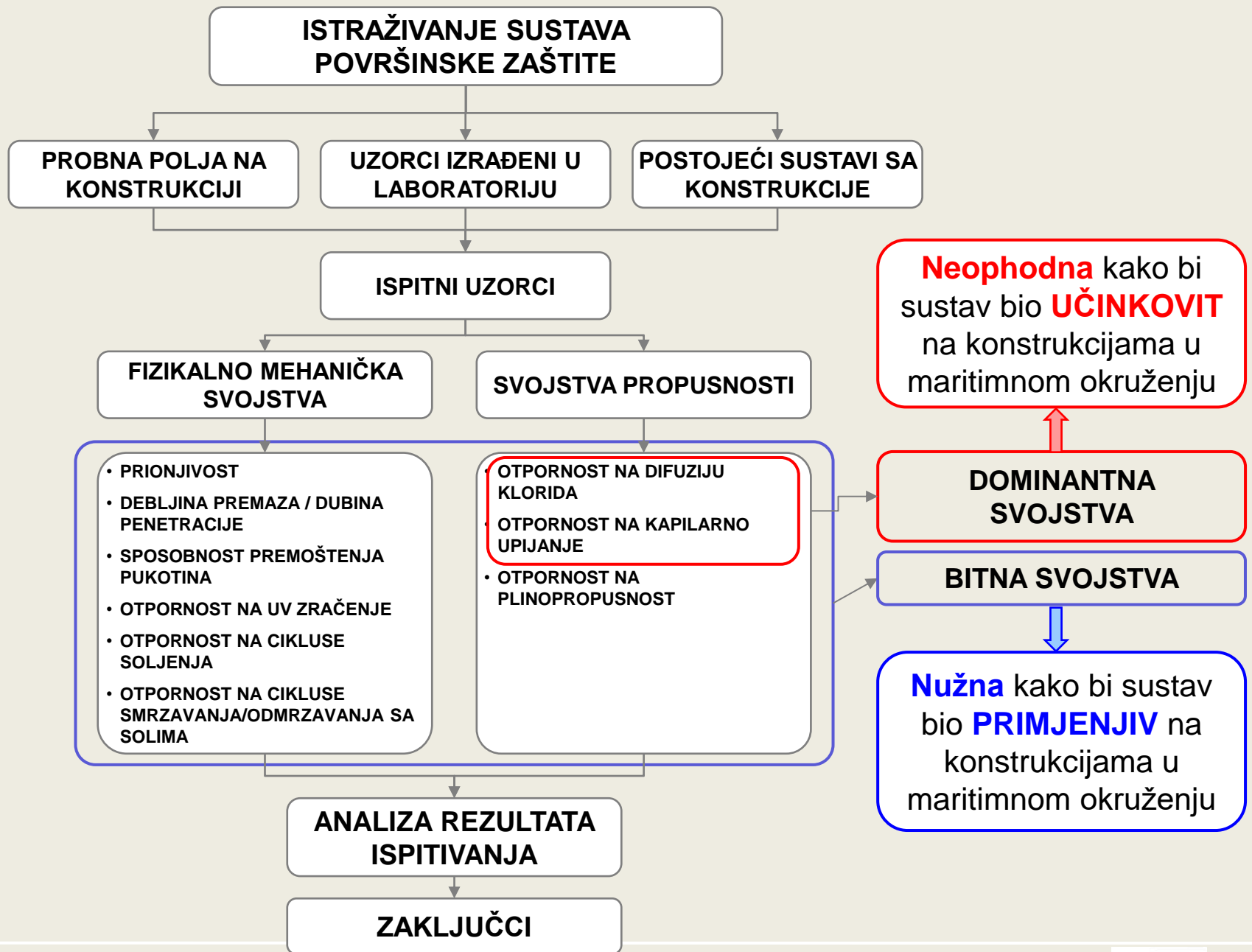
- Što to znači u praksi?
- Pitanja koja si postavlja projektant:
 - Da li su propisani zahtjevi za materijale (normom) dostatni za sve razrede izloženosti okoliša?
 - Koja su bitna svojstva koja sustav zaštite mora zadovoljiti da bi zahtjevi konstrukcije bili ispunjeni?
 - Kako postupiti kada je konstrukcija znatno kloridno zasićena do iza armature?



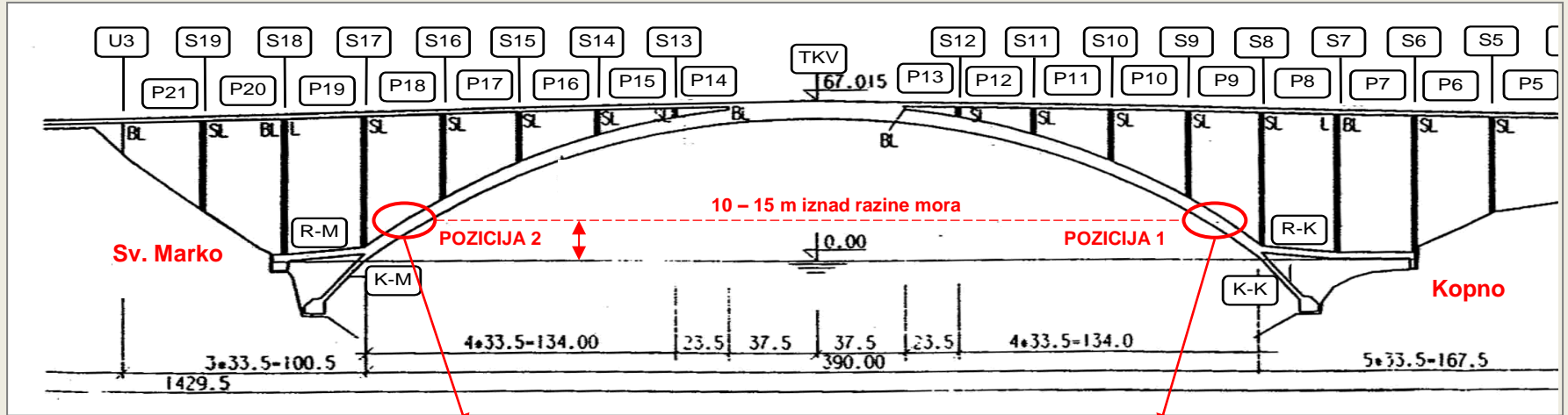
PRIMJER – KRČKI MOST

- Najopsežnija istraživanja provedena su na konstrukciji Krčkog mosta
- Istraživanju se pristupilo iz 3 smjera:
 1. Probna polja na konstrukciji
 2. Sustavi zaštite izrađeni u laboratoriju
 3. Uzorci određene starosti sa konstrukcije mosta





PROBNA POLJA NA KONSTRUKCIJI



PROBNA POLJA NA KONSTRUKCIJI

ZAHTJEVI ZA SUSTAVE POVRŠINSKE ZAŠTITE		
Svojstvo	Ispitna metoda	Minimalna vrijednost zahtijevanog svojstva
Vlačna čvrstoća prionjivosti	HRN EN 1542	≥ 0,8 N/mm ² (srednja vrijednost) ≥ 0,5 N/mm ² (pojedinačna vrijednost)
Debljina premaza	Penetracijska igla	vezni sloj ~ 2 mm premaz ≥ 0,7 (0,5) mm
Sposobnost premoštenja pukotina	HRN EN 1062-7	≥ 1,0 mm
Otpornost na umjetno starenje	HRN EN 1062-11	≥ 2000 h
Otpornost na cikluse smrzavanja/odmrzavanja sa solima	HRN CEN/TS 12390-9	≥ 56 ciklusa
Koeficijent kapilarnog upijanja	HRN EN 1062-3	≤ 0,01 kg/m ² h ^{1/2} (zah. norme ≤ 0,1 kg/m ² h ^{1/2})
Koeficijent difuzije klorida	ASTM C 1202	Nije specificirano



PROBNA POLJA NA KONSTRUKCIJI

OZNAKA SUSTAVA		P-1/1	P-2/2	P-3	P-4	P-5/1	P-6/1
ISPITANO SVOJSTVO							
PULL OFF	MIN. VRIJEDNOST	+	-	+	+	+	+
	SREDNJA VRIJEDNOST	-	-	+	+	-	-
DEBLJINA SUSTAVA		-/+	-	-	-	-	-/+
PREMOŠTENJE PUKOTINA		+	0	-	-	-/+	-/+
SMRZAVANJE/ODMRZAVANJE SA SOLIMA		+	DOMINANTNO SVOJSTVO ZA ODABIR SUSTAVA!		+	+	+
UV ZRAČENJE		+	0		+	+	+
KAPILARNO UPIJANJE		-/+	0	+	-	-	-
DIFUZIJA KLORIDA (ASTM C 1202)		VRLO MALA	0	ZANEMARIVA	VRLO MALA	VRLO MALA	ZANEMARIVA

TRAJNO ELASTOPLASTIČNI SUSTAVI

DEBELOSLOJNI SUSTAVI

KRTI SUSTAVI

DOMINANTNO SVOJSTVO ZA ODABIR SUSTAVA!



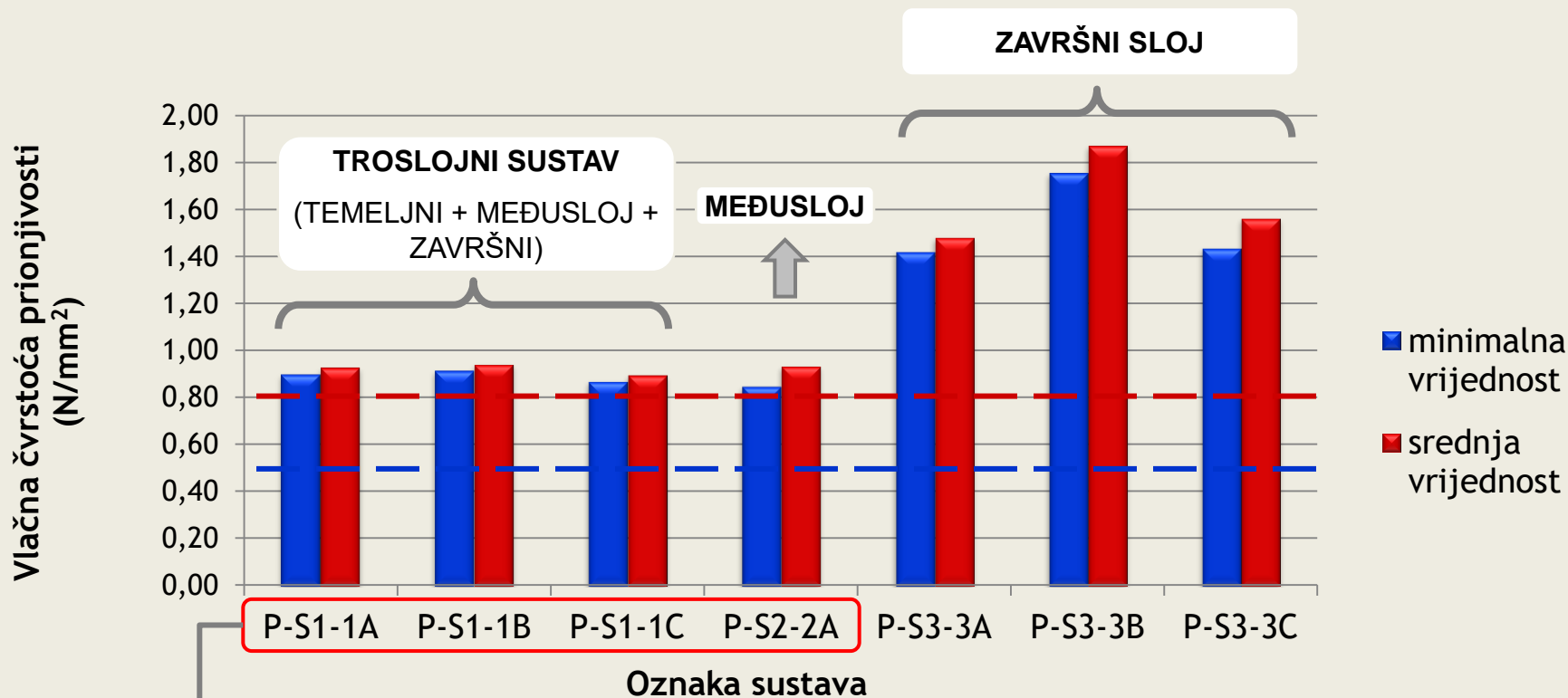
UZORCI IZRAĐENI U LABORATORIJU

OZNAKA SUSTAVA	Oznaka grupa uzoraka				Skica sustava s osnovnim zahtjevima
	Slojevi	1A	1B	1C	
P-S1	ZS	0,7 mm	0,5 mm	0,25 mm	
	MS	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	
	TS	prema preporuci proizvođača i vrsti materijala			
P-S2	Slojevi	--			
	MS	2,0 mm			
P-S3	Slojevi	3A	3B	3C	
	ZS	1,0 mm	0,7 mm	0,5 mm	
HI	Oznaka	A1	A2	B	
	opis	100 % (silani) - tekućina	80 % (silani) u alkalnom otapalu - krema	40 % (silani, siloksani) u alkalnom otapalu - tekućina	



“GUSTA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Vlačna čvrstoća prionjivosti pull off metodom

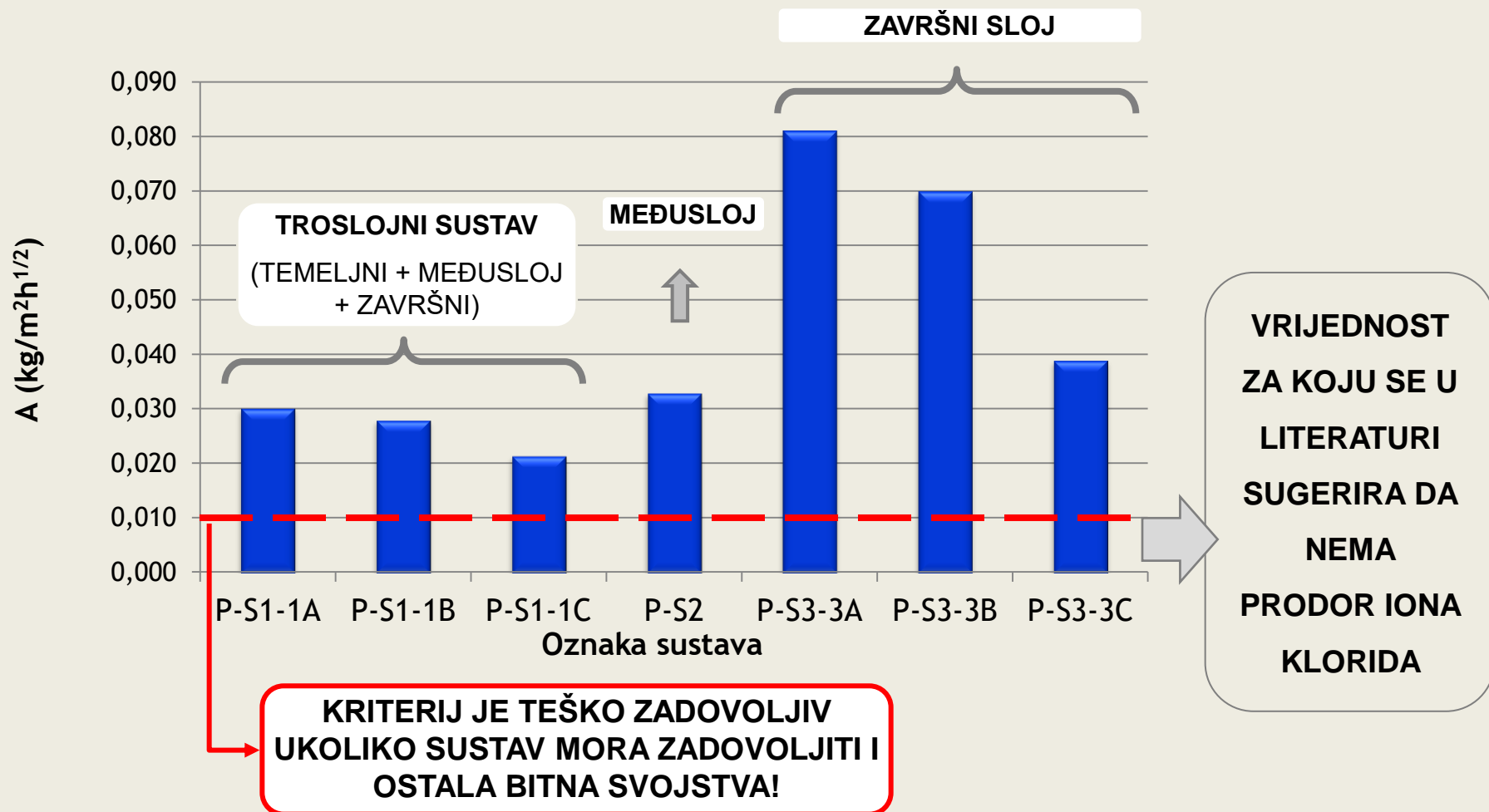


- Ujednačene vrijednosti
- Lom u međusloju (najslabija karika)
- Zadovoljavaju početni zahtjev (ispitivanje nakon min. 180 dana)



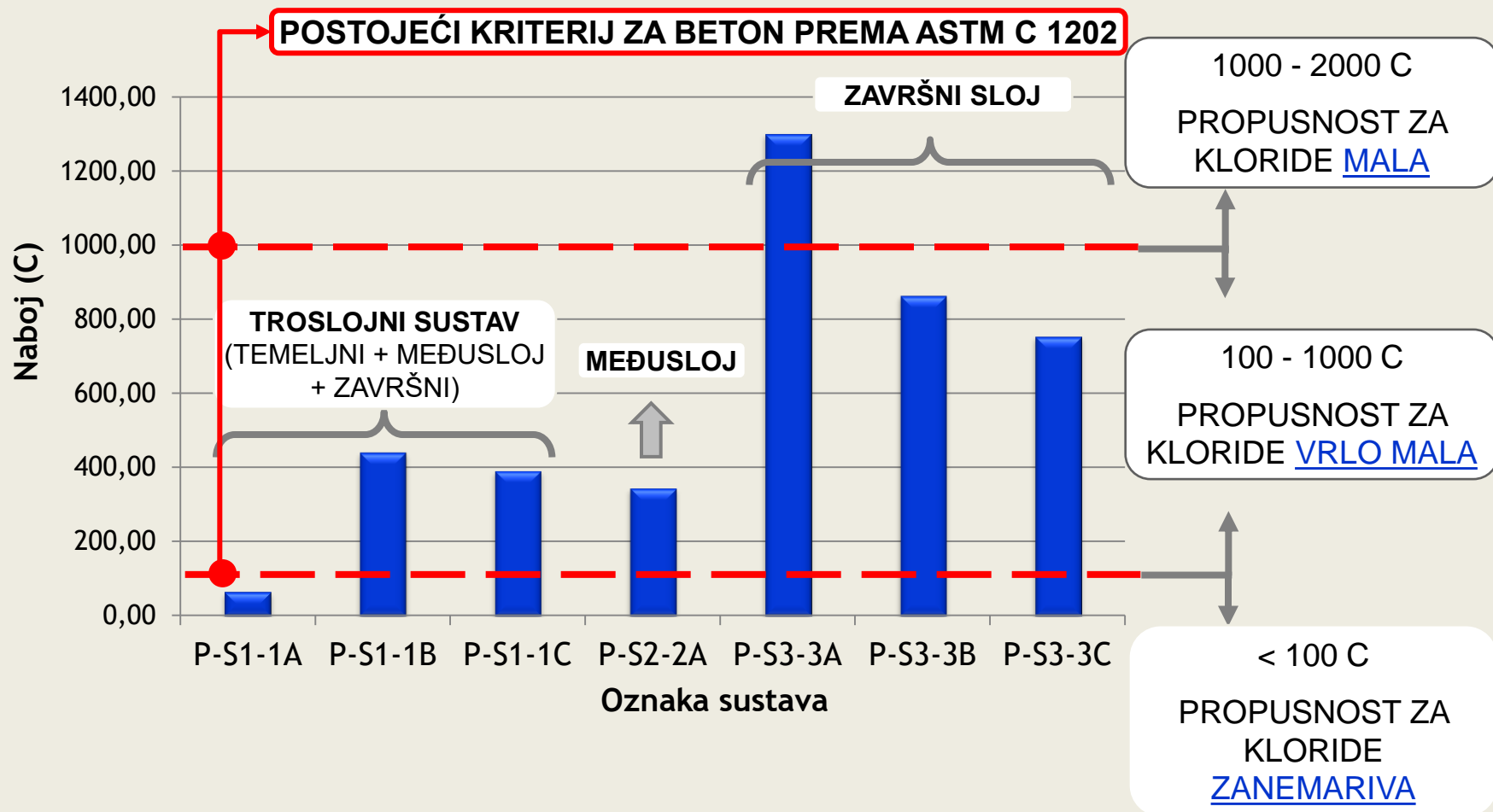
“GUSTA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Otpornost na kapilarno upijanje



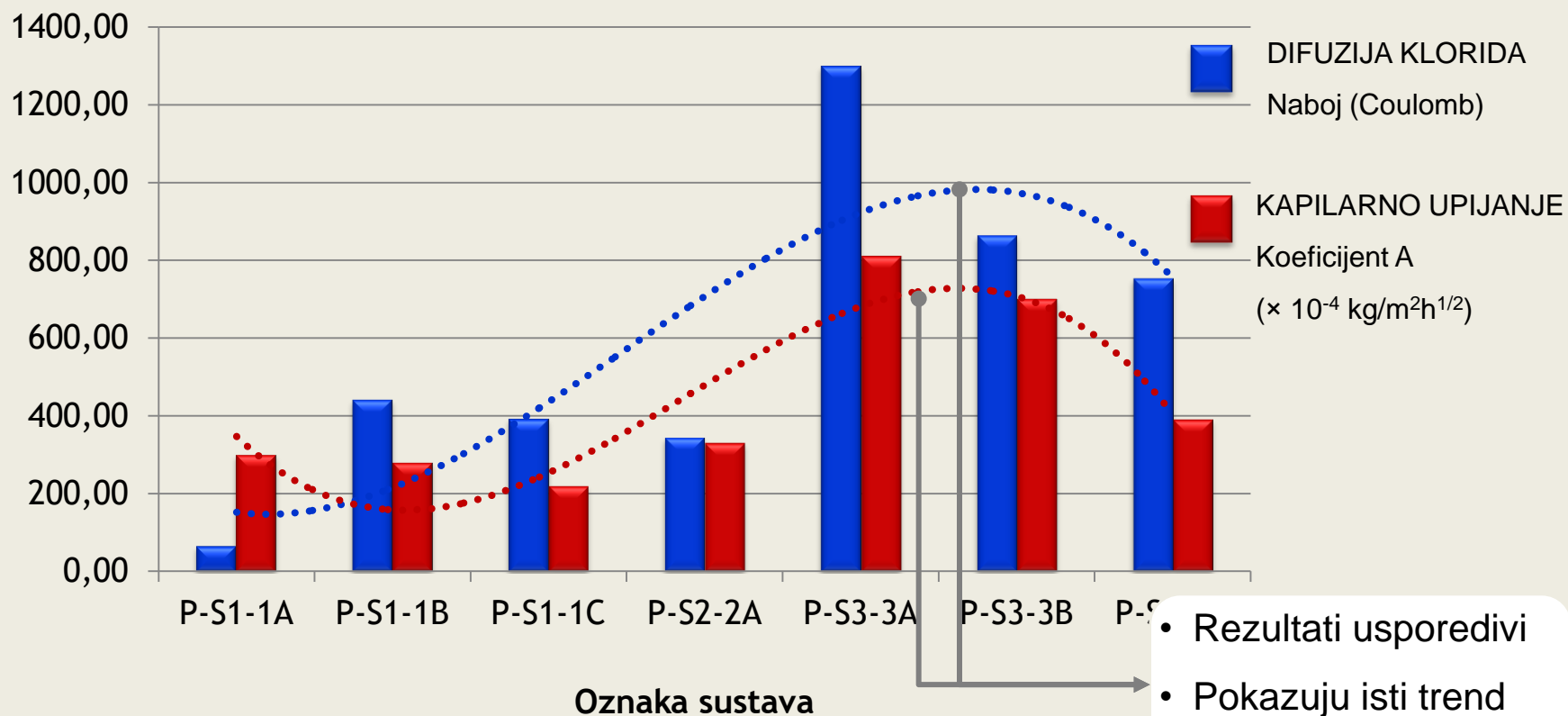
“GUSTA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Otpornost na difuziju klorida (ASTM C 1202)



“GUSTA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Usporedba difuzije klorida i kapilarnog upijanja

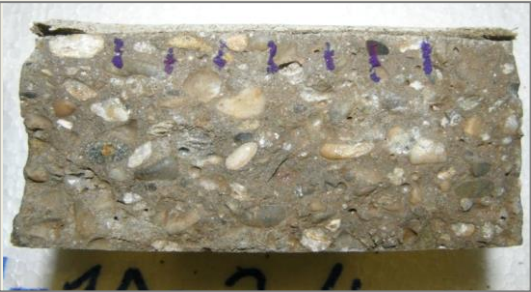
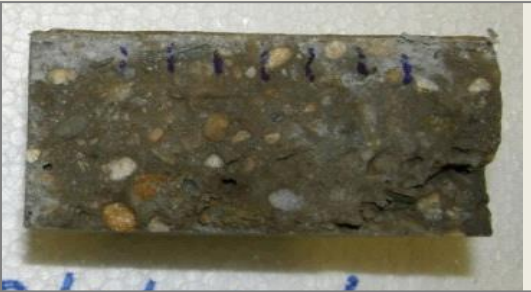



- Rezultati usporedivi
- Pokazuju isti trend rasta/pada



“GUSTA” POVRŠINSKA ZAŠTITA




- Otpornost na difuziju klorida (NT BUILD 492)

P-S1-1A	P-S2	P-S3-3A
TROSLOJNI SUSTAV	MEĐUSLOJ	ZAVRŠNI SLOJ
$D_{cl} = 0,07 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$D_{cl} = 0,37 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$D_{cl} = 3,43 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
		

→ **NAJBOLJE VRIJEDNOSTI!**

“OTVORENA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Dubina penetracije (KRITERIJ: min. 10 mm)

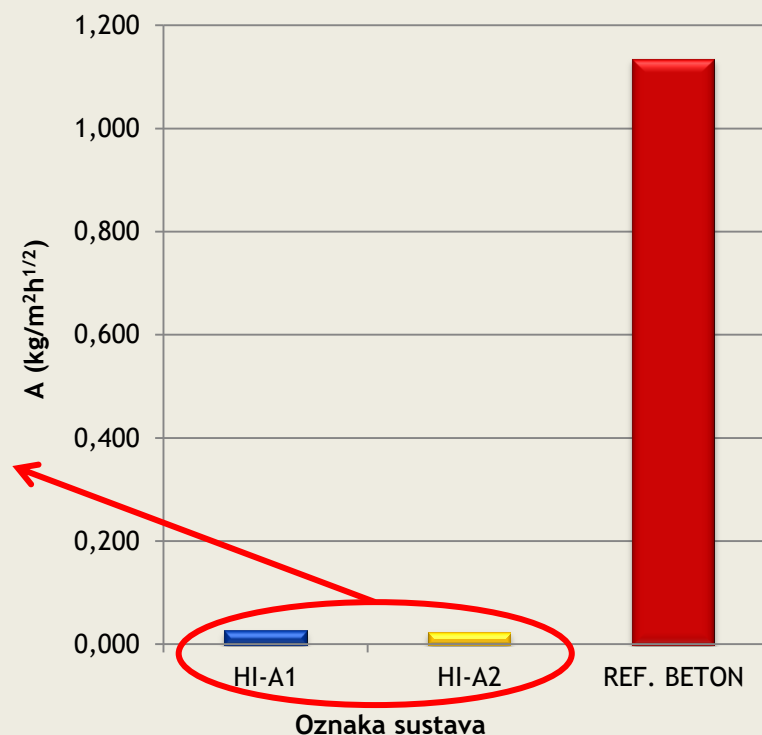
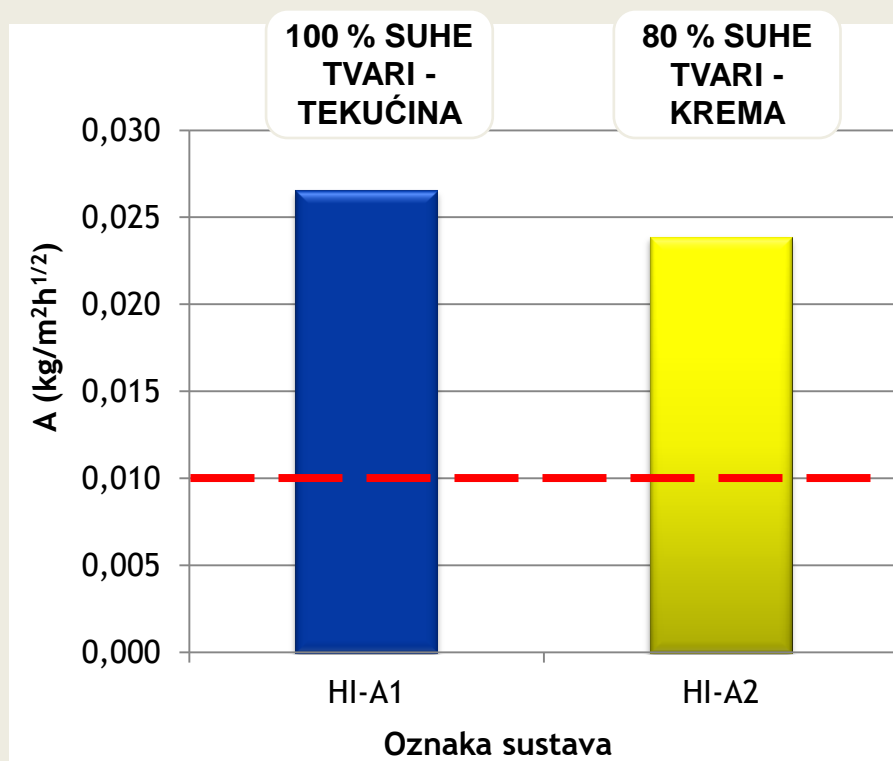
HI-A1	HI-A2	HI-B
100 % suhe tvari (silani) – tekućina	80 % suhe tvari (silani) – krema	40 % suhe tvari (silani/siloksani) – tekućina
$d_{sr} = 8 \text{ mm}$	$d_{sr} = 9 \text{ mm}$	$d_{sr} = 4 \text{ mm}$
		

ZBOG NEZADOVOLJAVAJUĆEG
REZULTATA ISPITIVANJA NISU
NASTAVLJENA

ONOSTI BLISKE
ANOM KRITERIJU

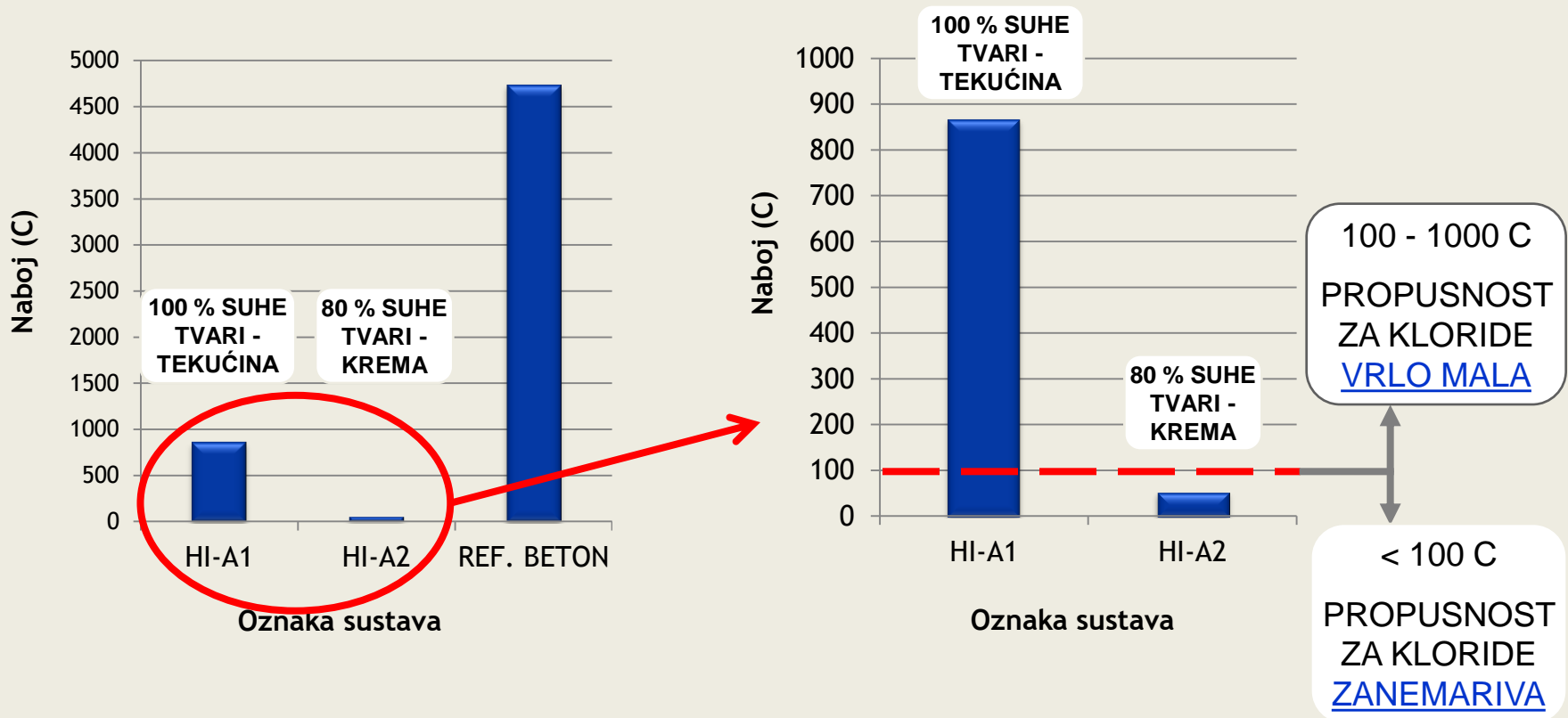
“OTVORENA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Otpornost na kapilarno upijanje



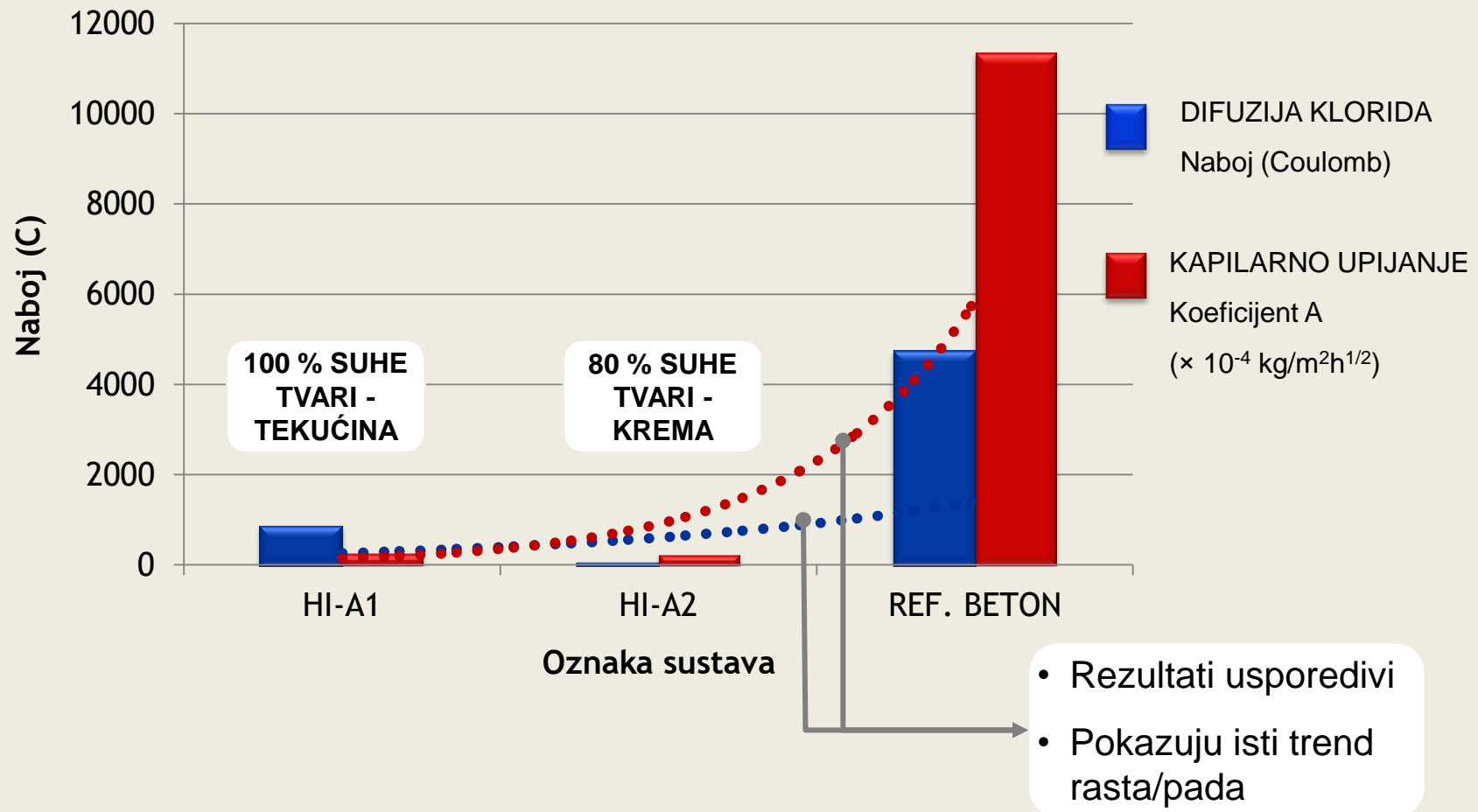
“OTVORENA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Otpornost na difuziju klorida (ASTM C 1202)



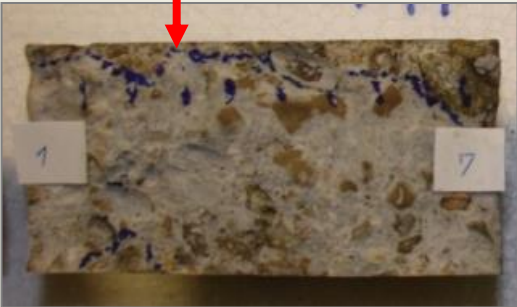
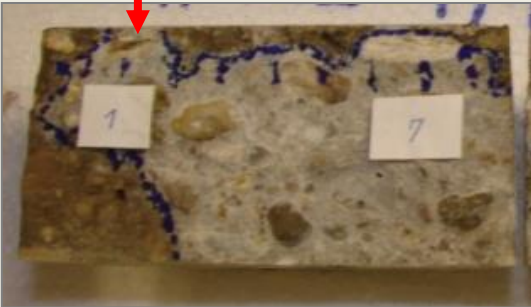

“OTVORENA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Otpornost na difuziju klorida (ASTM C 1202)



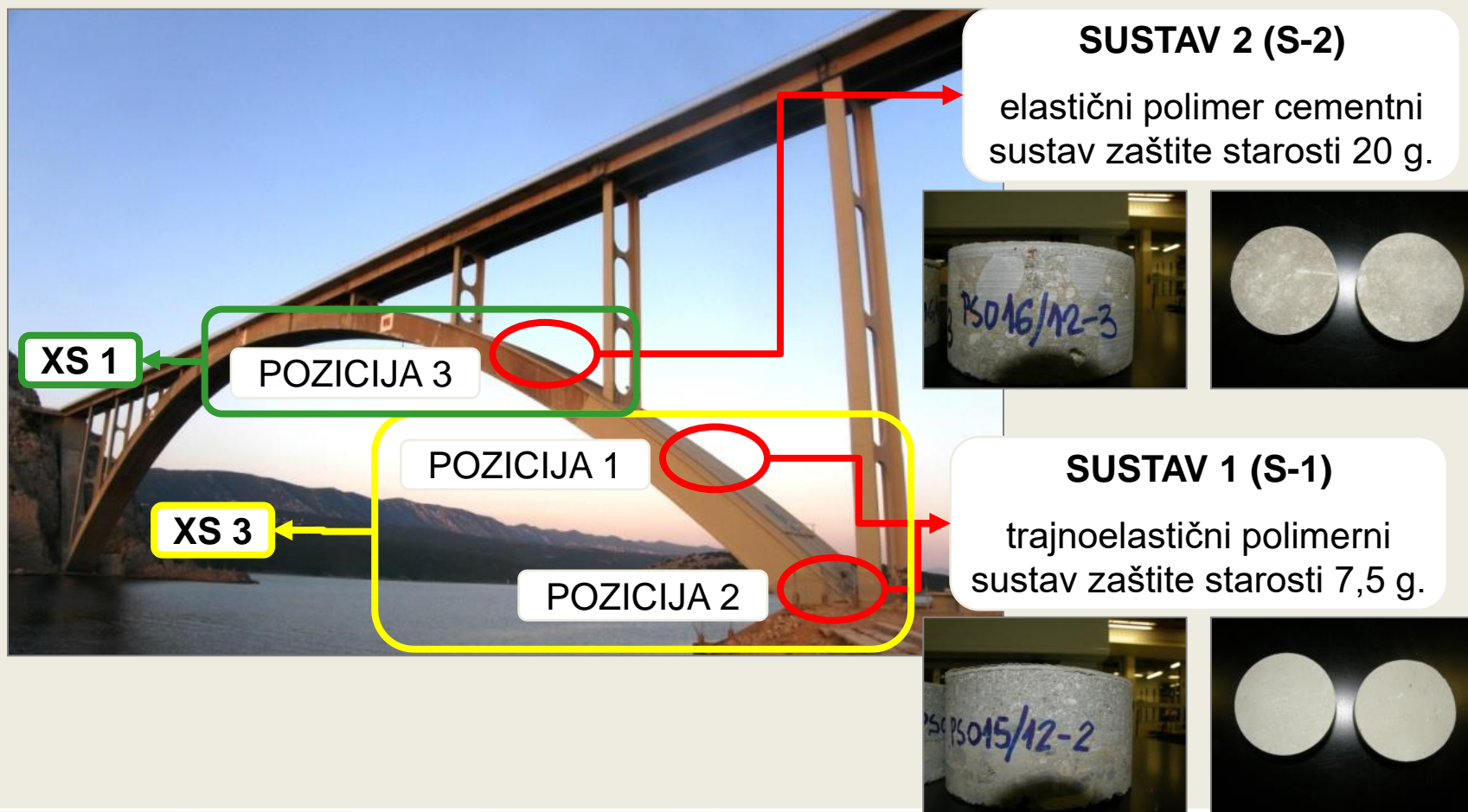
“OTVORENA” POVRŠINSKA ZAŠTITA

- Otpornost na difuziju klorida (NT BUILD 492)

HI-A1	HI-A1 NOVI REŽIM ISPITIVANJA SIMULACIJA OKOLIŠA XS1	
100 % suhe tvari (silani) – tekućina	80 % suhe tvari (silani) – krema ↑	
96 h / 60 V	96 h / 60 V	24h / 40 V
Prodor hidrofobiranog sloja	Prodor hidrofobiranog sloja	$D_{cl} = 1,72 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
		

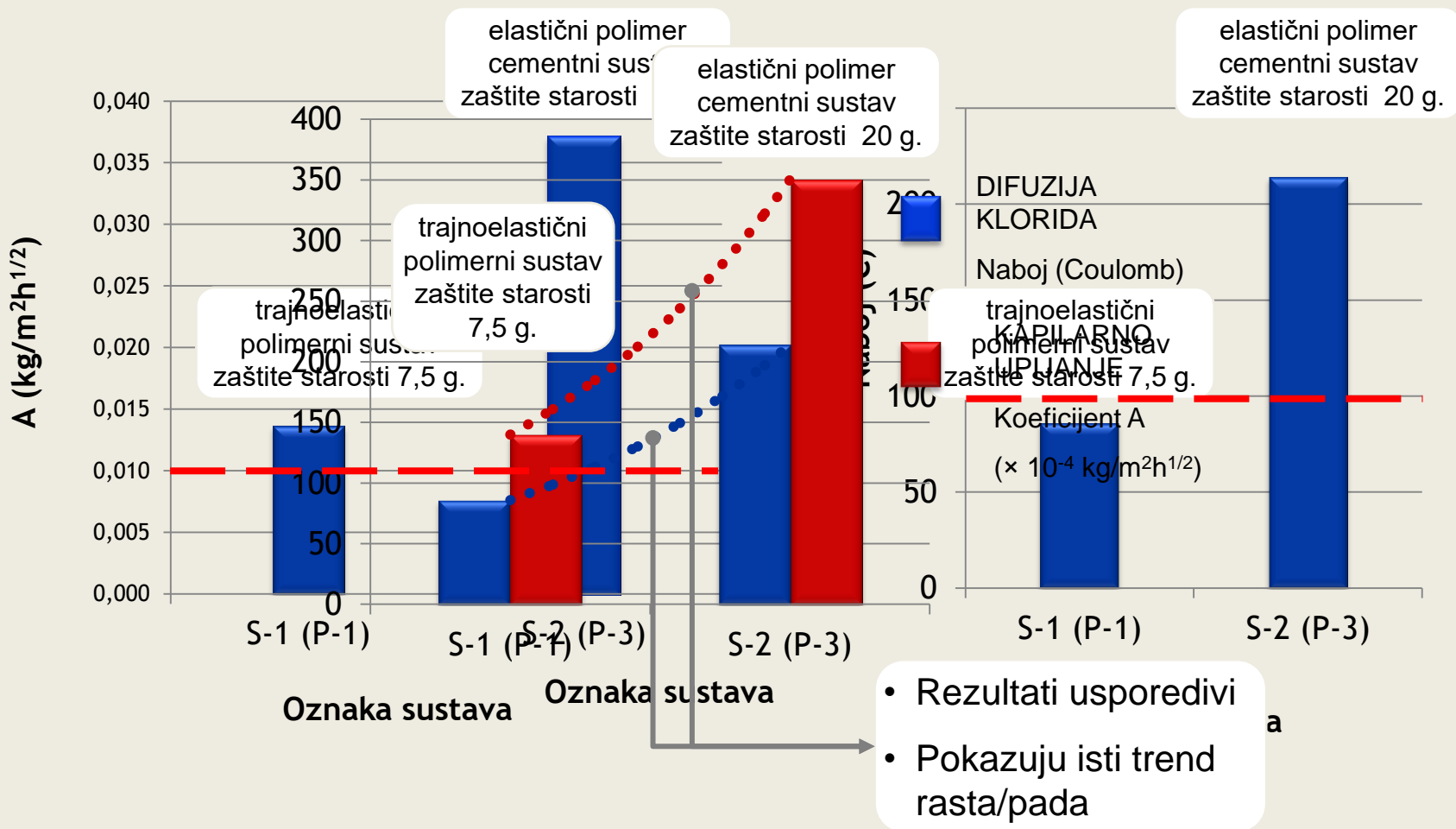
SUSTAVI ZAŠTITE S KONSTRUKCIJE

- Mali luk Krčkog mosta na obali otoka Krka - gornja ploha luka i pete luka



SUSTAVI ZAŠTITE S KONSTRUKCIJE

- Otpornost na kapilarno upijanje i otpornost na difuziju klorida



ZAKLJUČAK – MARITIMNI OKOLIŠ

Utvrđene su zakonitosti između izvedenih SPZ i bitnih svojstava

Razred izloženosti		Udaljenost konstrukcije / konstruktivnog elementa od mora	Minimalna vrijednost zahtijevanog svojstva			
			Koeficijent kapilarnog upijanja (kg/m ² h ^{1/2})	Koeficijent difuzije klorida		
				ASTM C 1202 (C)	NT BUILD 492 (m ² /s)	
KLORIDI KOJI SU IZ MORA	XS1	Izloženost solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom <i>Mali količinski udio klorida</i>	od 10 - 50 m	0,01 – 0,02	25 – 100	≤ 0,05 × 10⁻¹²
			od 50 – 250 m	0,02 – 0,04	100 - 500	(0,05 – 0,5) × 10⁻¹²
			više od 250 m	0,04 – 0,10	500 - 1000	(0,5 – 3,0) × 10⁻¹²
	XS2	Stalno uronjeno <i>Srednji količinski udio klorida</i>	<i>Sustav površinske zaštite nije izvodiv pod morem. (Slabi uvjeti za razvoj procesa korozije armature, niski O₂)</i>			
XS3	U zonama plime i oseke i prskanja vode <i>Veliki količinski udio klorida</i>	do 10 m	≤ 0,01	≤ 25	≤ 0,05 × 10⁻¹²	



ZAKLJUČAK – MARITIMNI OKOLIŠ

Povezivanje vrsta površinske zaštite s razredima izloženosti konstrukcije

Razred izloženosti		Udaljenost konstrukcije / konstruktivnog elementa od mora	Gusta površinska zaštita			Otvorena površinska zaštita		
			temeljni sloj	međusloj	završni sloj	krema	tekućina	
KLORIDI KOJI SU IZ MORA	XS1 Izloženost solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom <i>Mali količinski udio klorida</i>	od 10 - 50 m	+	+	+	-	-	
		od 50 – 250 m	+	+	+	+	-	
		više od 250 m	-	-	+	+	+	
	XS2 Stalno uronjeno <i>Srednji količinski udio klorida</i>	<i>Sustav površinske zaštite nije izvodiv pod morem. (Slabi uvjeti za razvoj procesa korozije armature, niski O₂)</i>						
	XS3 U zonama plime i oseke i prskanja vode <i>Veliki količinski udio klorida</i>	do 10 m	+	+	+	-	-	



MARITIMNI OKOLIŠ – MASLENIČKI MOST

- Problem sanacije i zaštite najugroženijih dijelova AB konstrukcije mosta Maslenica projektirano je prema rezultatima provedenih istražnih radova i zaključka o stanju pojedinih elemenata konstrukcije:
 - temelji luka i stupovi S3 i S10 do visine 20 m
 - luk i svi ostali stupovi uključujući i dijelove stupova S3 i S10 iznad 20 m visine
 - nadlučna konstrukcija



MARITIMNI OKOLIŠ – MASLENIČKI MOST

- Ispitivanjima je utvrđeno da je koncentracija klorida na stupovima i temeljima luka povećana u odnosu na ostale dijelove konstrukcije kao i vidljiva oštećenja uzorkovana korozijom armature koja su prvenstveno vidljiva na petnim stupovima.



MARITIMNI OKOLIŠ – MASLENIČKI MOST

Projektirana su 2 tipa sanacije:

TIP 1 - zaštititi armature od korozije (inhibitori korozije) i zaštititi od prodora agresivnih tvari iz okoliša uz kontrolu vlage betona

TIP 2 - rekonstrukciji zaštitnog sloja betona i zaštititi armature od korozije i zaštititi od prodora agresivnih tvari iz okoliša uz kontrolu vlage betona



MARITIMNI OKOLIŠ – MASLENIČKI MOST

- Tijekom sanacije mosta 2017. i 2018. godine, u stupove, upornjake i u luk je ugrađen 21 novi senzor



MARITIMNI OKOLIŠ – MASLENIČKI MOST

- Plan je očitavati senzore jednom godišnje kako bi se dobila jasnija slika o prodoru klorida u sanirane i zaštićene površine.



MARITIMNI OKOLIŠ – MASLENIČKI MOST





Zahvaljujem na pažnji!

Institut IGH, d.d.

Janka Rakuše 1, Zagreb

www.igh.hr

mario.ille@igh.hr

karla.ille@igh.hr