

GRAĐEVINSKI FAKULTET
UNIVERZITETA U BEOGRADU
Odsek za konstrukcije
Katedra za materijale i konstrukcije
Master studije (28+28)
I semester (2+2)
V.prof. dr Ivan Ignjatović

SANACIJE, REKONSTRUKCIJE I ODRŽAVANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA U VISOKOGRADNJI



RAZVOJ TEME TRAJNOSTI BETONSKIH KONSTRUKCIJA

- Construction Product Directive – European Commission (1988)
 - Bilteni, izveštaji, standardi (RILEM, CEB, FIP, ISO)
- Agenda 21 on Sustainable Constructions (1999)
 - Model propisa za projektovanje prema upotrebnom veku konstrukcije (***fib***, 2006.)
 - General principles on the design of structures for durability (ISO, 2008.)



TRAJNOST KONSTRUKCIJE

- Trajnost konstrukcije – mera ispunjenja funkcija
- Kvantifikovanje ispunjavanja funkcija – projektovanje prema trajnosti zasnovano na ponašanju konstrukcije (engl. *performance based durability design*)

Funkcionalni zahtev	Odgovarajući osnovni parametri
minimalni kapacitet nosivosti	čvrstoća betona i čelika, dubina korozije, dubina oljuskanog dela zaštitnog sloja
maksimalna prihvatljiva deformacija	moduo elastičnosti, skupljanje, tečenje, temperaturne promene, sleganja
maksimalna propustljivost za gasove i tečne supstance	propustljivost betona, kapilarnost, difuzija, veličina i položaj prslina



TRAJNOST KONSTRUKCIJE

- Kvalitet betona u smislu trajnosti zavisi od prenosnih (transportnih) karakteristika betona
 - Propustljivost – stepen protoka fluida kroz čvrsto telo
 - Koeficijent difuzije
- Transportne karakteristike betona
 - Interakcija sredine i betona
 - Provođenje vode, CO₂, kiseonik, hloridi...



TRAJNOST KROZ PROPISE

- BAB 87
 - Veličina zaštitnog sloja betona
 - Parametri: vrsta elementa, stepen agresivnosti sredine, marka betona, prečnik i vrsta armature, način ugrađivanja betona

Marka betona	<MB 25		≥ MB 25	
agresivnost sredine	grede, stubovi	ploče, ljske, zidovi	grede, stubovi	ploče, ljske, zidovi
slaba	2.5	2.0	2.0	1.5
srednja	3.0	2.5	2.5	2.0
jaka	4.0	3.5	3.5	3.0

- Proračun na osnovu iskustvenih preporuka



TRAJNOST KROZ PROPISE

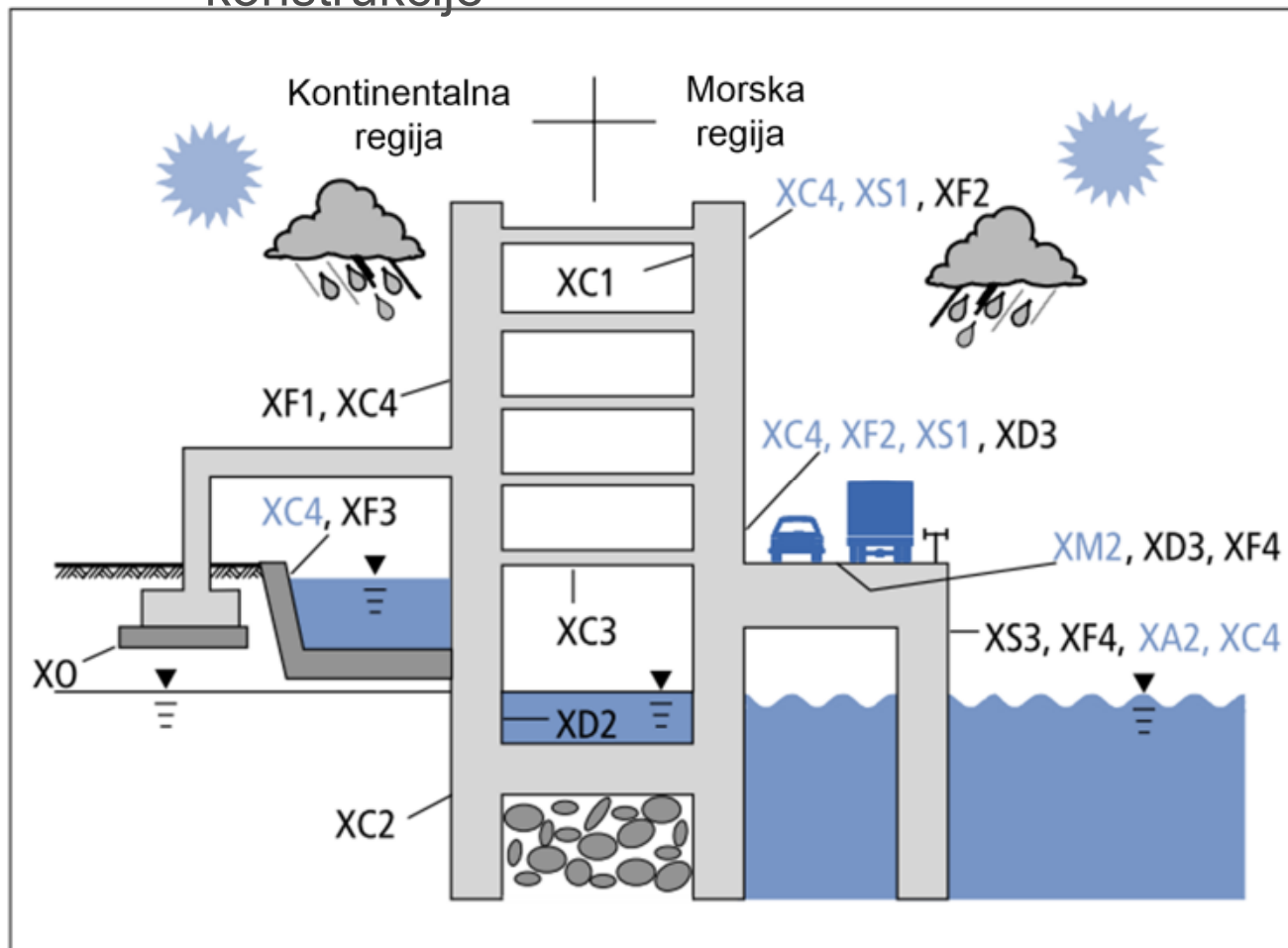
■ Evrokod 2

- $a_{\text{nom}} = a_{\text{min}} + \Delta a_{\text{dev}}$
- Parametri: uslovi sredine, uslovi prijanjanja, vrsta čelika, klasa čvrstoće betona...
- Klasifikacija sredine
- Prateći standard EN 206-1:2002: vodocementni faktor, količina cementa, sadržaj uvučenog vazduha
- Upotrebni vek od 50 godina



Trajnost

Uslovi i klase izloženosti
konstrukcije



XC – Carbonation
XD – Chlorides from
De-icing agents
XS – Chlorides from
Sea water
XF – Freeze-thaw
action
XA – Chemical Attack

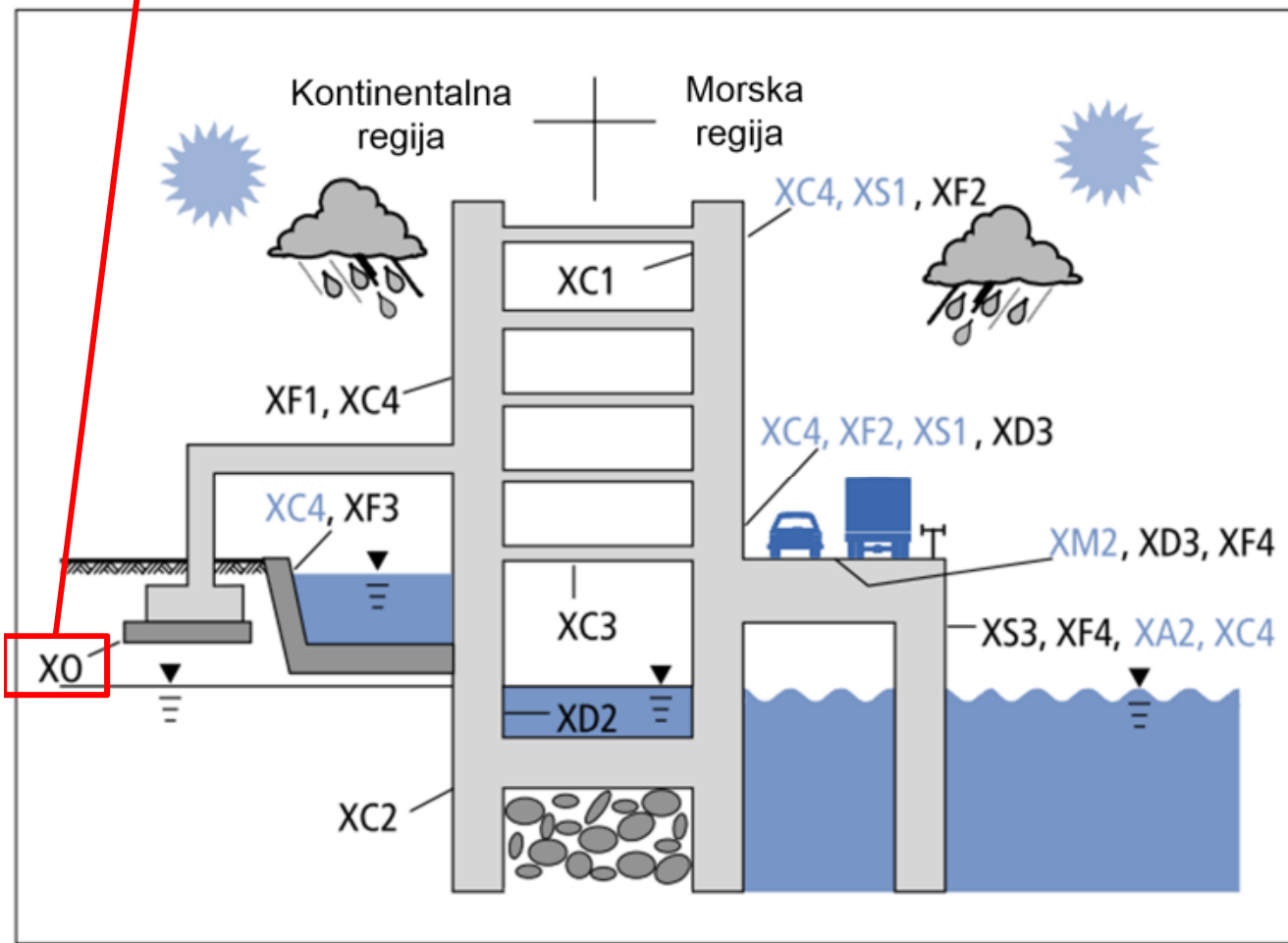


1 Без опасности од корозије или других агресивних дејстава

X0

За бетон без арматуре или бетон без уграђених металних елемената:
сви услови изложености осим замрзавања/одмрзавања, абразије или хемијског утицаја.
За бетон са арматуром или уграђеним металним елементима: веома сува

Бетон у унутрашњости зграда са веома ниском влажношћу ваздуха

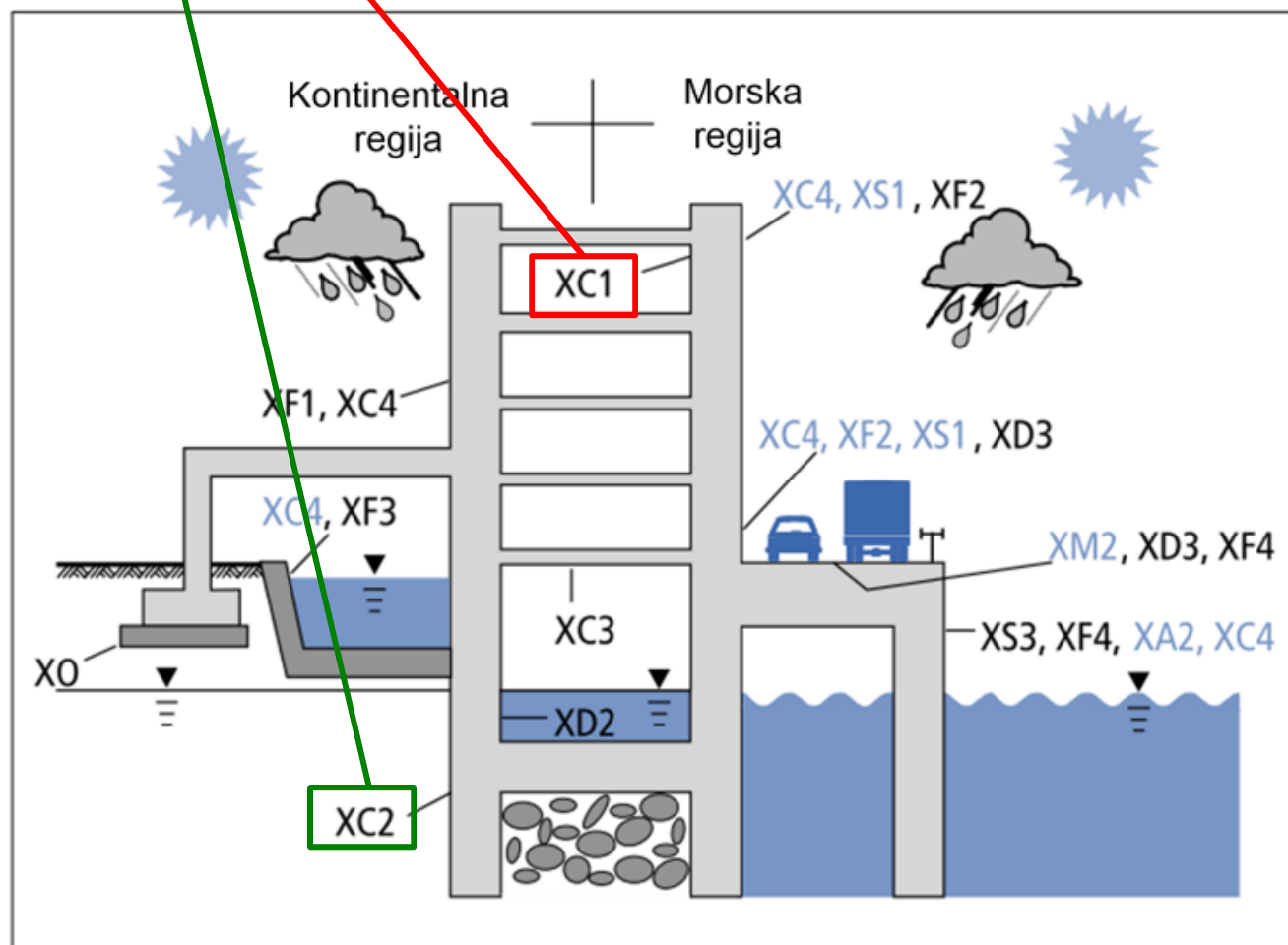


XC – Carbonation
XD – Chlorides from De-icing agents
XS – Chlorides from Sea water
XF – Freeze-thaw action
XA – Chemical Attack



2 Корозија проузрокована карбонацијом

XC1	Сува или стално влажна средина	Бетон у унутрашњости зграда са ниском влажношћу ваздуха Бетон стално потопљен у воду
XC2	Влажна, ретко сува средина	Површине бетона изложене дуготрајном контакту са водом Многи темељи

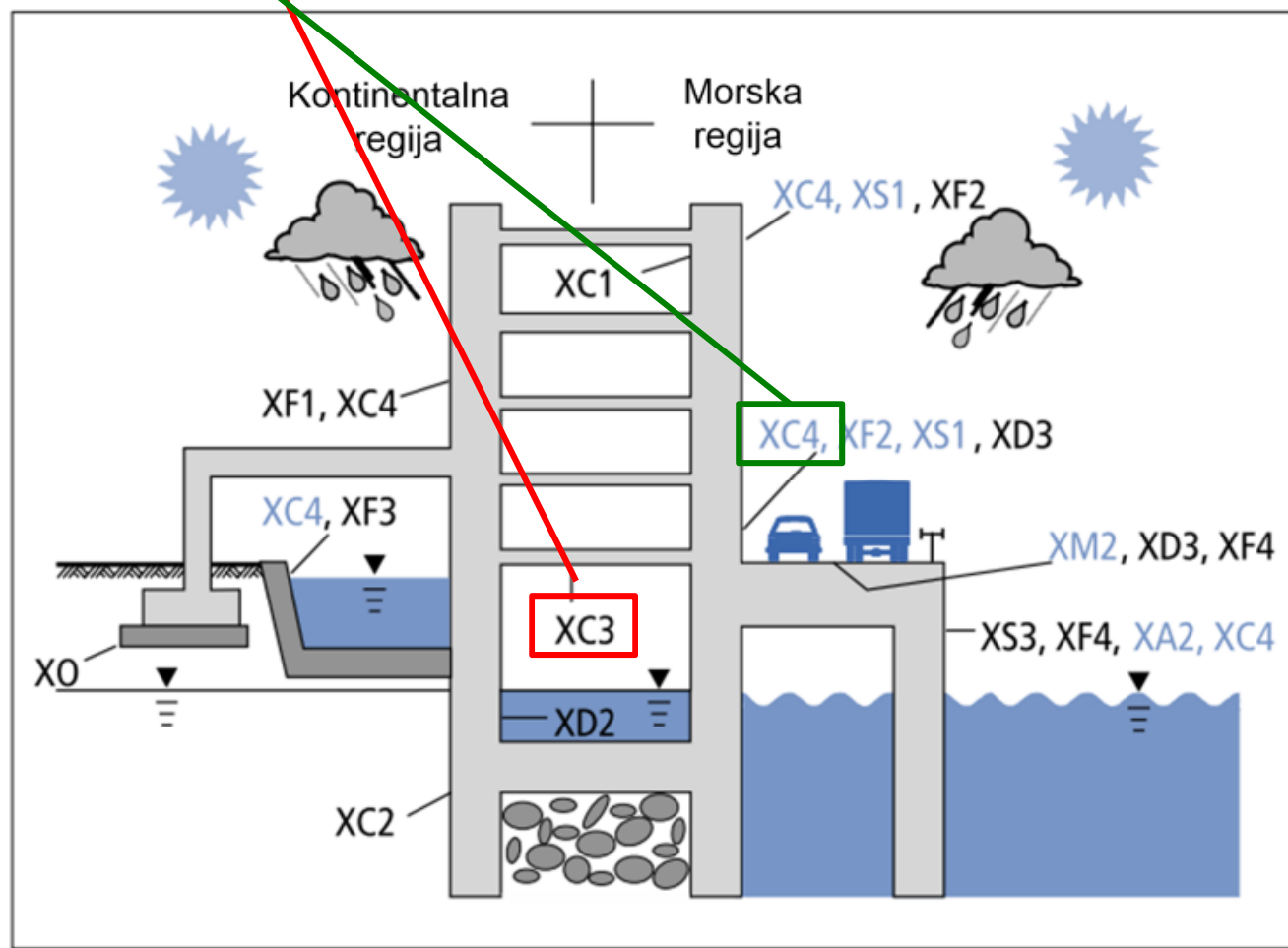


XC – Carbonation
XD – Chlorides from De-icing agents
XS – Chlorides from Sea water
XF – Freeze-thaw action
XA – Chemical Attack



2 Корозија проузрокована карбонацијом

XC3	Умерено влажна средина	Бетон у унутрашњости зграда са умереном или високом влажношћу ваздуха Бетон у спољашњем простору заштићен од кише
XC4	Циклично влажна и сува средина	Површине бетона у контакту са водом, које не спадају у класу изложености XC2

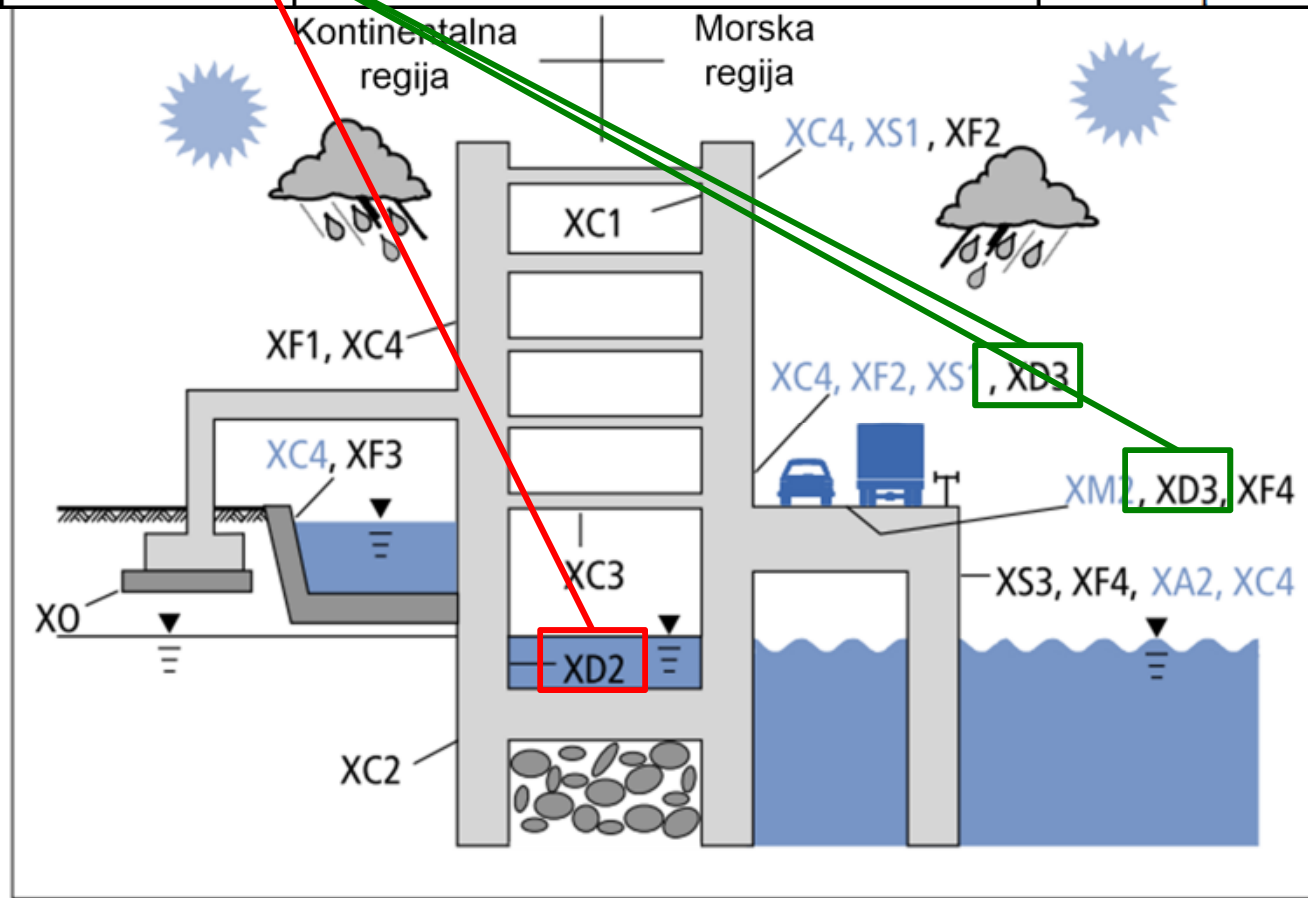


XC – Carbonation
XD – Chlorides from De-icing agents
XS – Chlorides from Sea water
XF – Freeze-thaw action
XA – Chemical Attack



3 Корузија проузрокована хлоридима који не потичу из морске воде

XD1	Умерено влажна средина	Површине бетона изложене дејству хлорида из ваздуха
XD2	Влажна, ретко сува средина	Базени за пливање Бетонски елементи изложени индустријским водама које садрже хлориде
XD3	Циклично влажна и сува средина	Делови мостова изложени прскању аеросола који садржи хлорид Коловози Плоче паркинга

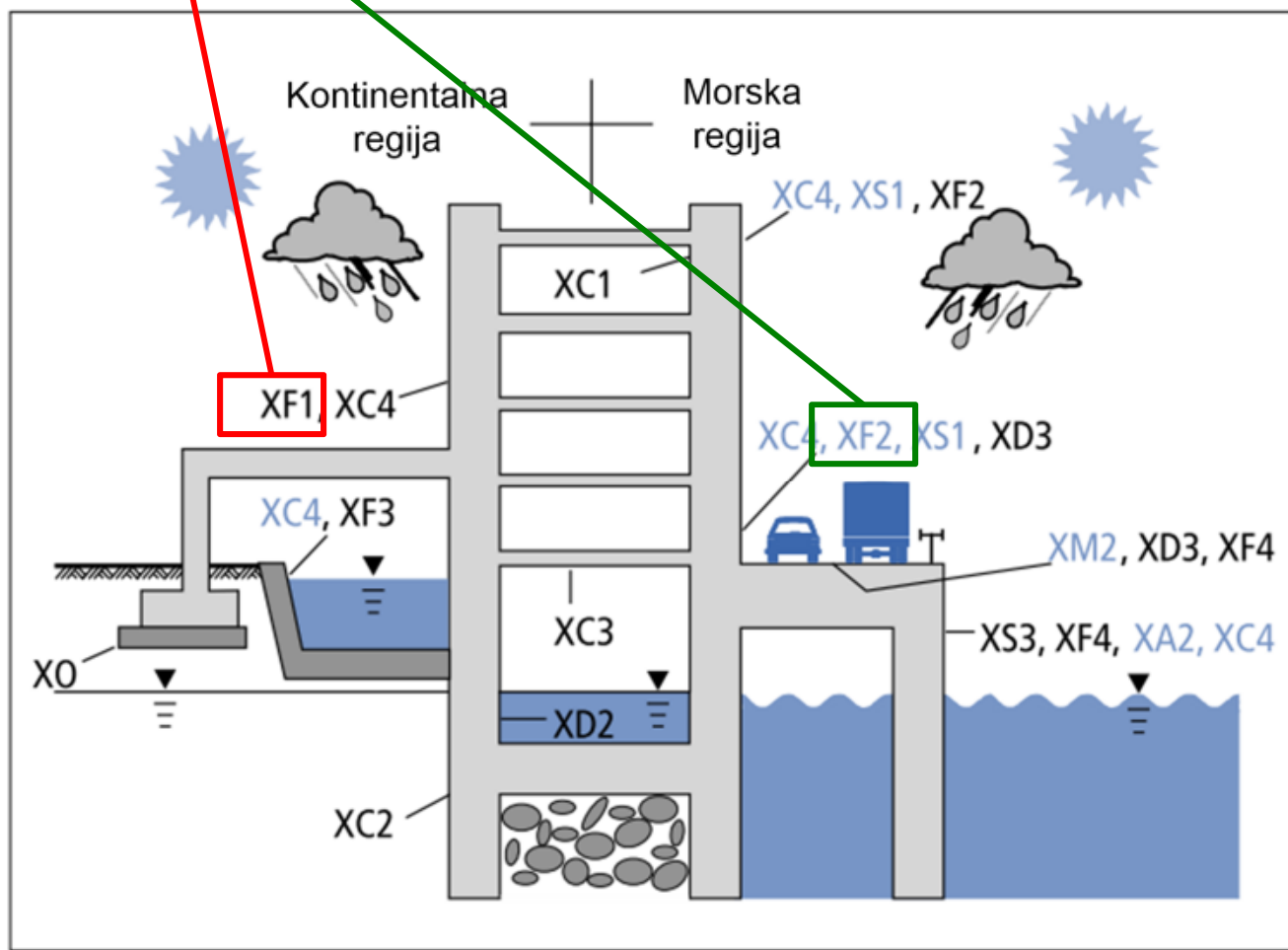


XC – Carbonation
XD – Chlorides from
De – icing agents
XS – Chlorides from
Sea – water
XF – Freeze-thaw
 action
XA – Chemical Attack



5 Замрзавање/одмрзавање са агенсима за одмрзавање или без њих

XF1	Умерена zasiћеност водом, без агенса за одмрзавање	Вертикалне бетонске површине изложене киши и мразу
XF2	Умерена zasiћеност водом, са агенсима за одмрзавање	Вертикалне бетонске површине саобраћајних конструкција, изложене мразу и средствима за одмрзавање из ваздуха

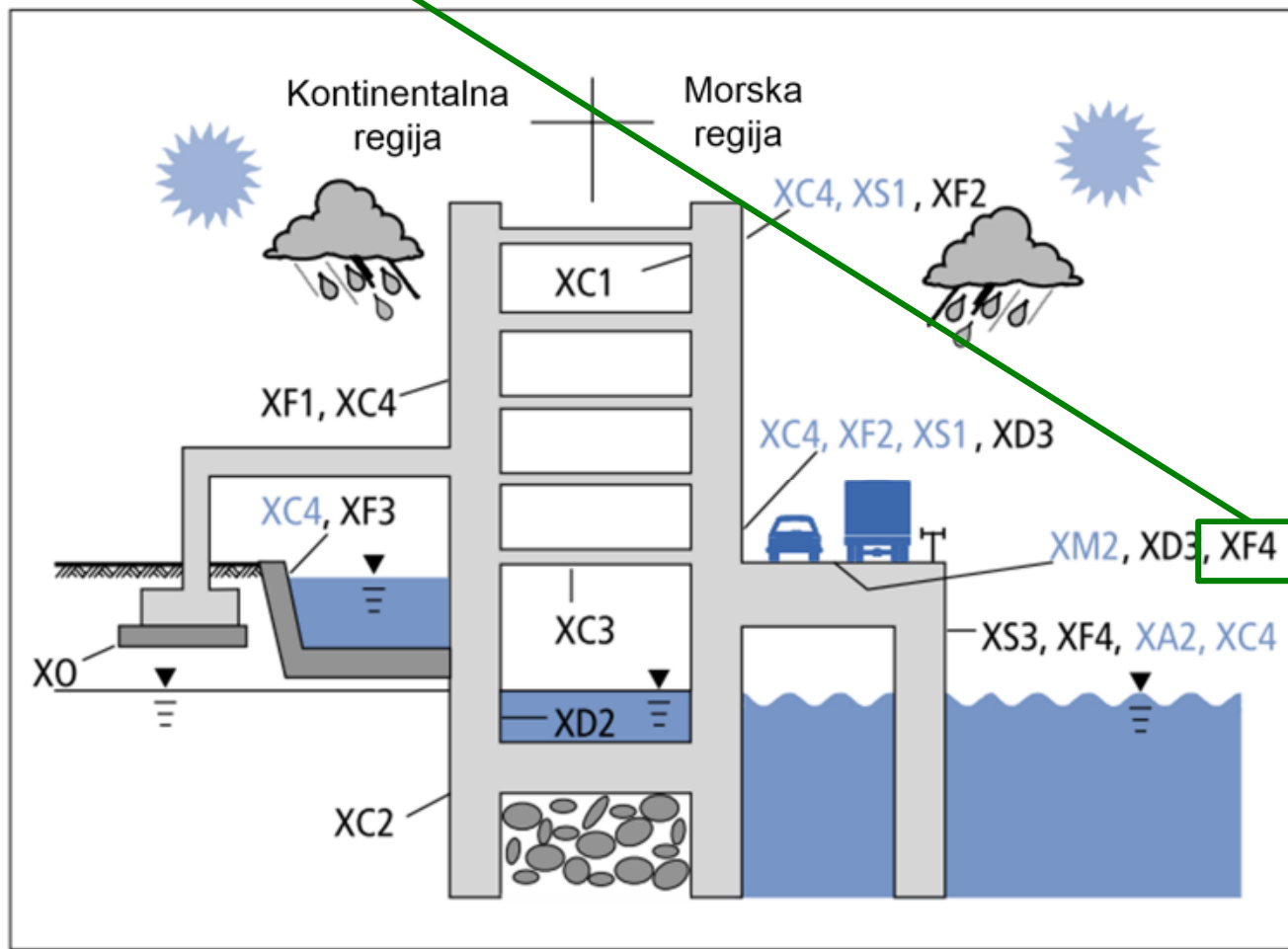


XC – Carbonation
XD – Chlorides from De-icing agents
XS – Chlorides from Sea water
XF – Freeze-thaw action
XA – Chemical Attack



5 Замрзавање/одмрзавање са агенсима за одмрзавање или без њих

XF3	Велика zasiћеност водом, без агенса за одмрзавање	Хоризонталне бетонске површине изложене киши и мразу
XF4	Велика zasiћеност водом са агенсима за одмрзавање или морском водом	Путне или мостовске коловозне конструкције изложене агенсима за одмрзавање Бетонске површине изложене директном прскању растворима средстава за одмрзавање и мразу Зоне квашења конструкција на морској обали

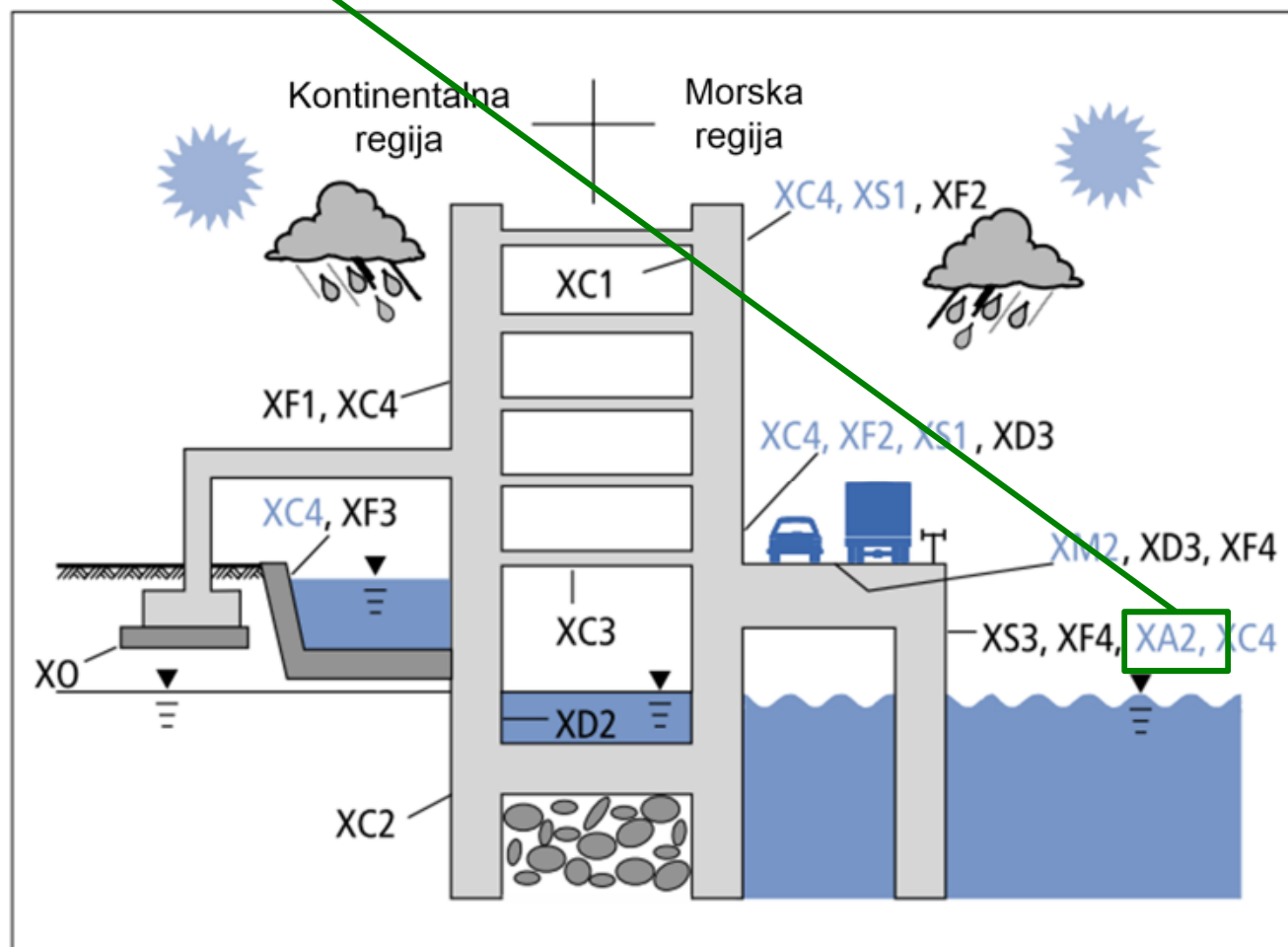


XC – Carbonation
XD – Chlorides from
De – icing agents
XS – Chlorides from
Sea – water
XF – Freeze-thaw
 action
XA – Chemical Attack



6 Хемијска изложеност

XA1	Блага хемијска агресивност средине, према EN 206-1, табела 2	Природна тла и подземна вода
XA2	Умерена хемијска агресивност средине, према EN 206-1, табела 2	Природна тла и подземна вода
XA3	Изражена хемијска агресивност средине, према EN 206-1, табела 2	Природна тла и подземна вода



XC – Carbonation
XD – Chlorides from De-icing agents
XS – Chlorides from Sea water
XF – Freeze-thaw action
XA – Chemical Attack



Trajnost

Nominalni zaštitni sloj koji se koristi pri dimenzionisanju je:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Minimalni zaštitni sloj c_{min} , pod kojim se podrazumeva rastojanje između šipke ili kabla najbližeg površini betona i površine betona, treba da obezbedi:

1. siguran prenos napona prianjanja,
2. zaštitu čelika od korozije (trajnost) i
3. odgovarajuću otpornost na požar.

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

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{Odstupanje u izvođenju (moguće korekcije...)}$$



Trajnost

Minimalni zaštitni sloj iz uslova dobrog prijanjanja, $c_{min,b}$:

Raspored šipki	Minimalni zaštitni sloj $c_{min,b}$ *
Pojedinačne šipke	Prečnik šipke, $\varnothing$
Šipke u svežnju	Ekvivalentni prečnik ($\varnothing_n$)

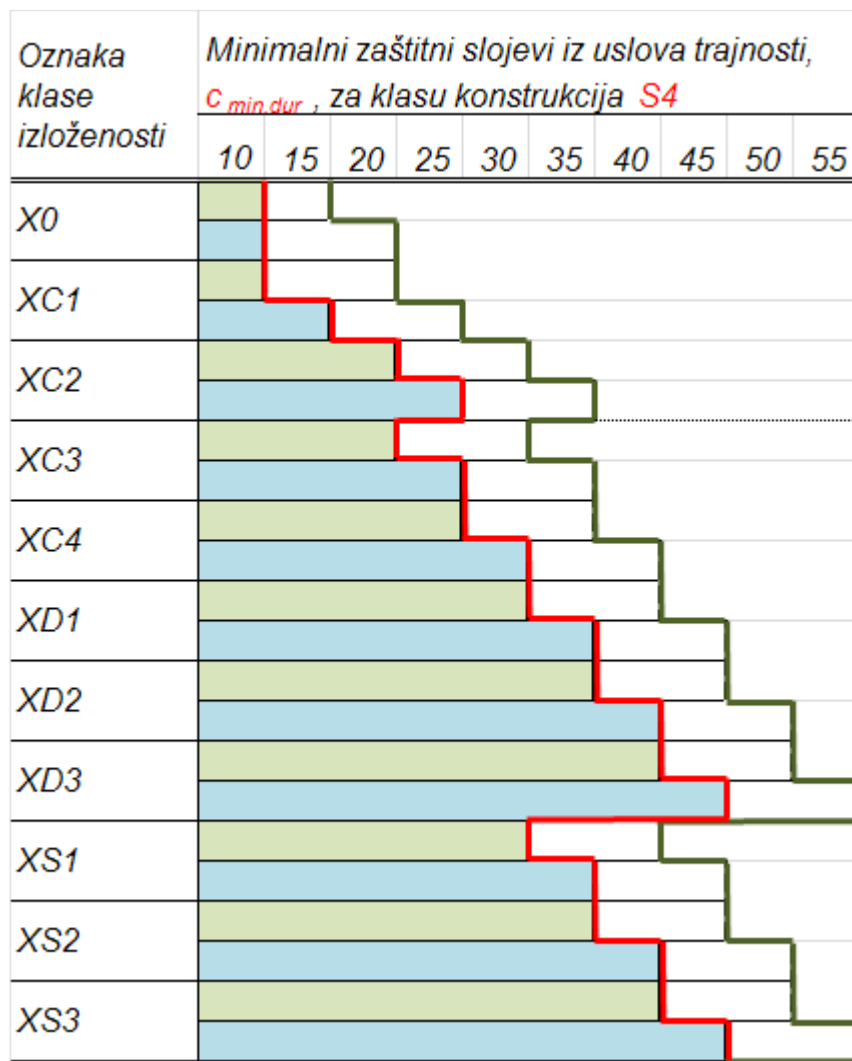
*Ako je nominalna maksimalna dimenzija agregata veća od 32 mm, $c_{min,b}$ treba povećati za 5 mm

Minimalni zaštitni slojevi iz uslova trajnosti, $c_{min,dur}$:

Minimalni zaštitni sloj iz uslova trajnosti, $c_{min,dur}$ (mm)							
Klasa konstrukcije	Klasa izloženosti						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
1	10	10	10	15	20	25	30
2	10	10	15	20	25	30	35
3	10	10	20	25	30	35	40
4	10	15	25	30	35	40	45
5	15	20	30	35	40	45	50
6	20	25	35	40	45	50	55



Trajnost



— Upotrebni vek 50 god.
— Upotrebni vek 100 god.

Tip elementa		Ploče, zidovi
		Grede, stubovi



Tabela 4.4N: Vrednosti minimalnog zaštitnog sloja $c_{\min, \text{dur}}$ za armaturu s obzirom na trajnost, prema EN 10080

Zahtevi za $c_{\min, \text{dur}}$ s obzirom na uslove sredine (mm)							
Klasa konstrukcije	Klase izloženosti prema tabeli 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS1	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



■ Upotrební vek od 50 godina !

Tabela 4.3N: Preporučena klasifikacija konstrukcija

Klasa konstrukcije							
Kriterijum	Klase izloženosti prema tabeli 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Proračunski eksploatacioni vek od 100 godina	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2
Klasa čvrstoće ^{1) 2)}	≥ C30/37 smanjiti klasu za 1	≥ C30/37 smanjiti klasu za 1	≥ C35/45 smanjiti klasu za 1	≥ C40/50 smanjiti klasu za 1	≥ C40/50 smanjiti klasu za 1	≥ C40/50 smanjiti klasu za 1	≥ C45/55 smanjiti klasu za 1
Elementi čija geome-trija odgovara ploča-ma (postupak građe-nja nema uticaja na položaj armature)	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1
Obezbeđena pose-bna kontrola kvalite-ta proizvodnje betona	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1

TRAJNOST KROZ PROPISE

- Prateći standard EN 206-1:2002: vodocementni faktor, količina cementa, sadržaj uvučenog vazduha

	Exposure classes																	
	No risk of corrosion or attack	Carbonation-induced corrosion				Chloride-induced corrosion						Freeze/thaw attack				Aggressive chemical environments		
						Sea water			Chloride other than sea water									
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2
Maximum w/c	---	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Minimum strength class	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minimum cement content (kg/m³)	---	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Minimum air content (%)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,0 ¹⁾	4,0 ¹⁾	4,0 ¹⁾	---	---	---
Other requirements												Freeze/thaw resisting aggregates in accordance with the recommendations in prEN 12620:1996				Sulfate-resisting cement 2)		



SERVICE LIFE DESIGN (*fib*, 2006)

- Model propisa
- Projektovanje u odnosu na trajnost betonskih konstrukcija bazirano na:
 - Ponašanju (engl. *Performance based durability design*)
 - Pouzdanosti
- Postupak proračuna u 4 koraka



SERVICE LIFE DESIGN (*fib*, 2006)

1. Kvantifikovanje mehanizma deterioracije
 - a) Vrsta deterioracionog procesa
 - b) Definisanje modela
 - c) Kvantifikovanje parametara iz modela
2. Definisanje graničnog stanja prema kome se projektuje
 - a) depasivizacija armature
 - b) prsline usled korozije armature
 - c) odljuskavanje zaštitnog sloja betona usled korozije armature
 - d) lom betonskog preseka usled gubitka poprečnog preseka armature



PROJEKTOVANJE PREMA UPOTREBNOM VEKU (SERVICE LIFE DESIGN, *fib*, 2006)

3. Definisanje tipa graničnog stanja
 - a) Granično stanje upotrebljivosti
 - b) Granično stanje nosivosti

4. Proračunski dokaz graničnog stanja
 - a) potpuna probabilistička metoda,
 - b) metod parcijalnih koeficijenata sigurnosti
 - c) metoda bazirana na iskustvenim preporukama
 - d) sprečavanje deterioracionog procesa



MEHANIZMI DETERIORACIJE

1. Korozija armature i korozija kablova za prethodno naprezanje usled:
 - a) karbonizacije betona
 - b) prodora hlorida

2. Oštećenja usled deterioracije betona
 - a) ciklusi smrzavanja i odmrzavanja,
 - b) alkalno- agregatna reakcija (AAR),
 - c) reakcija sulfata sa aluminatima u betonu,
 - d) odloženo formiranje etringita,
 - e) mikro- biološko dejstvo.

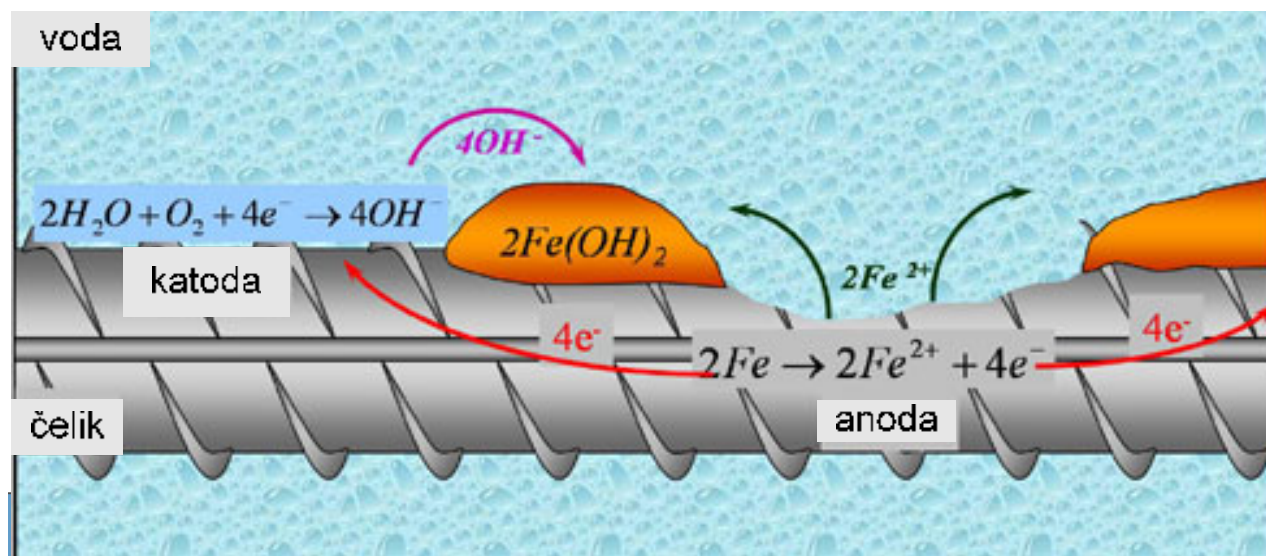
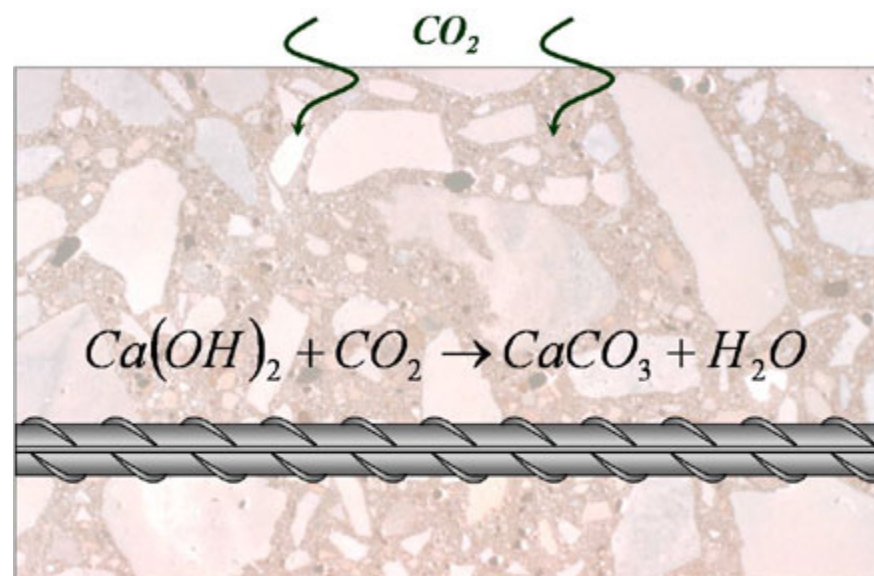
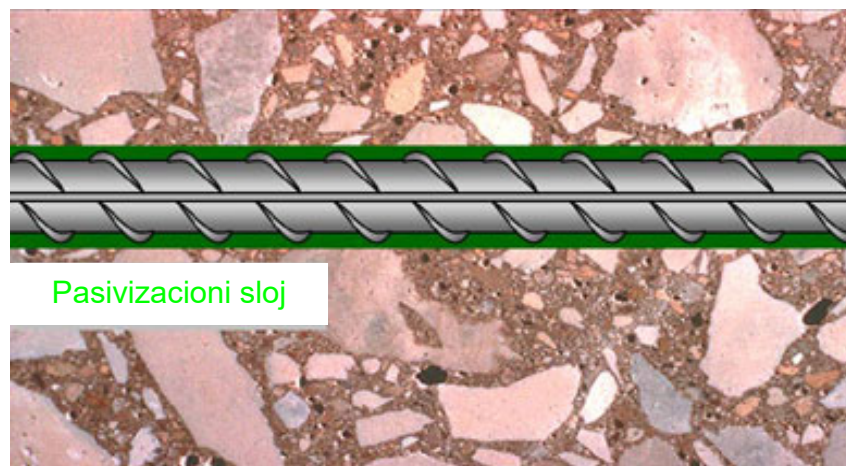


MEHANIZMI DETERIORACIJE KOJE TRETIRA MODEL PROPISA

1. karbonizacija betona
2. prodor hlorida
3. oštećenja betona usled dejstva mraza i
4. oštećenja betona usled simultanog dejstva mraza i soli protiv formiranja leda.



KARBONIZACIJA BETONA



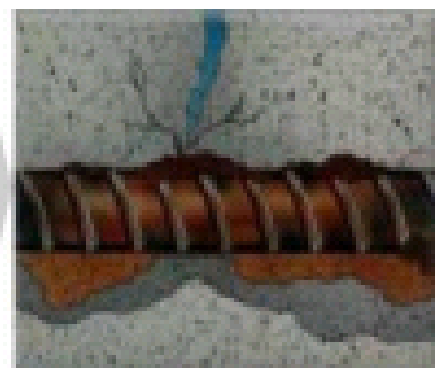
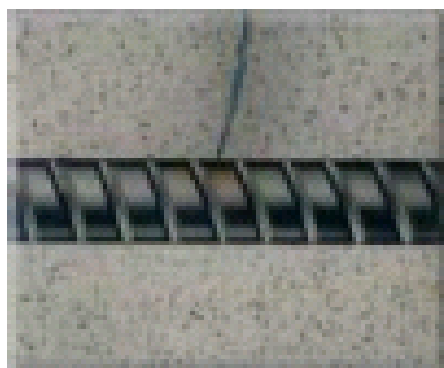
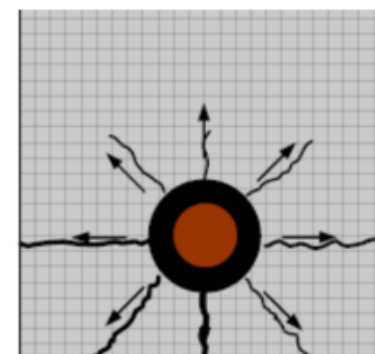
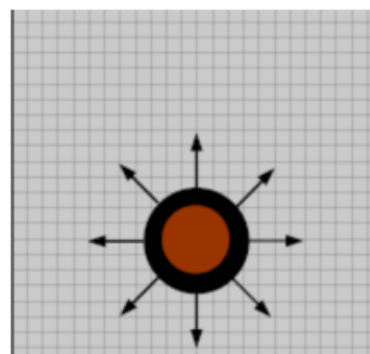
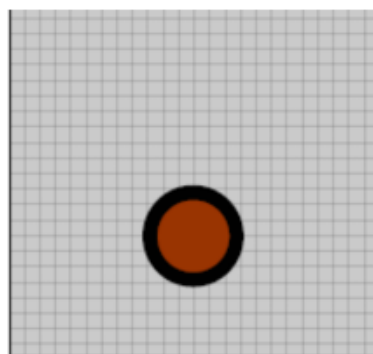
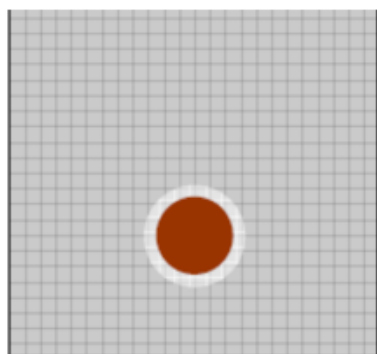
KARBONIZACIJA BETONA

- Depasivizacija armature

+ vlažnost + kiseonik



korozija armature



KARBONIZACIJA BETONA

- Depasivizacija armature

+ vlažnost + kiseonik  korozija armature

- Konstrukcije naročito izložene karbonizaciji:

- Dimnjaci
- Tuneli
- Objekti u visoko-urbanim sredinama



PENETRACIJA HLORIDA

- Izvor hlorida
 - Morska voda
 - So protiv smrzavanja
 - Kontaminiran agregat
 - Voda za spravljanje betona

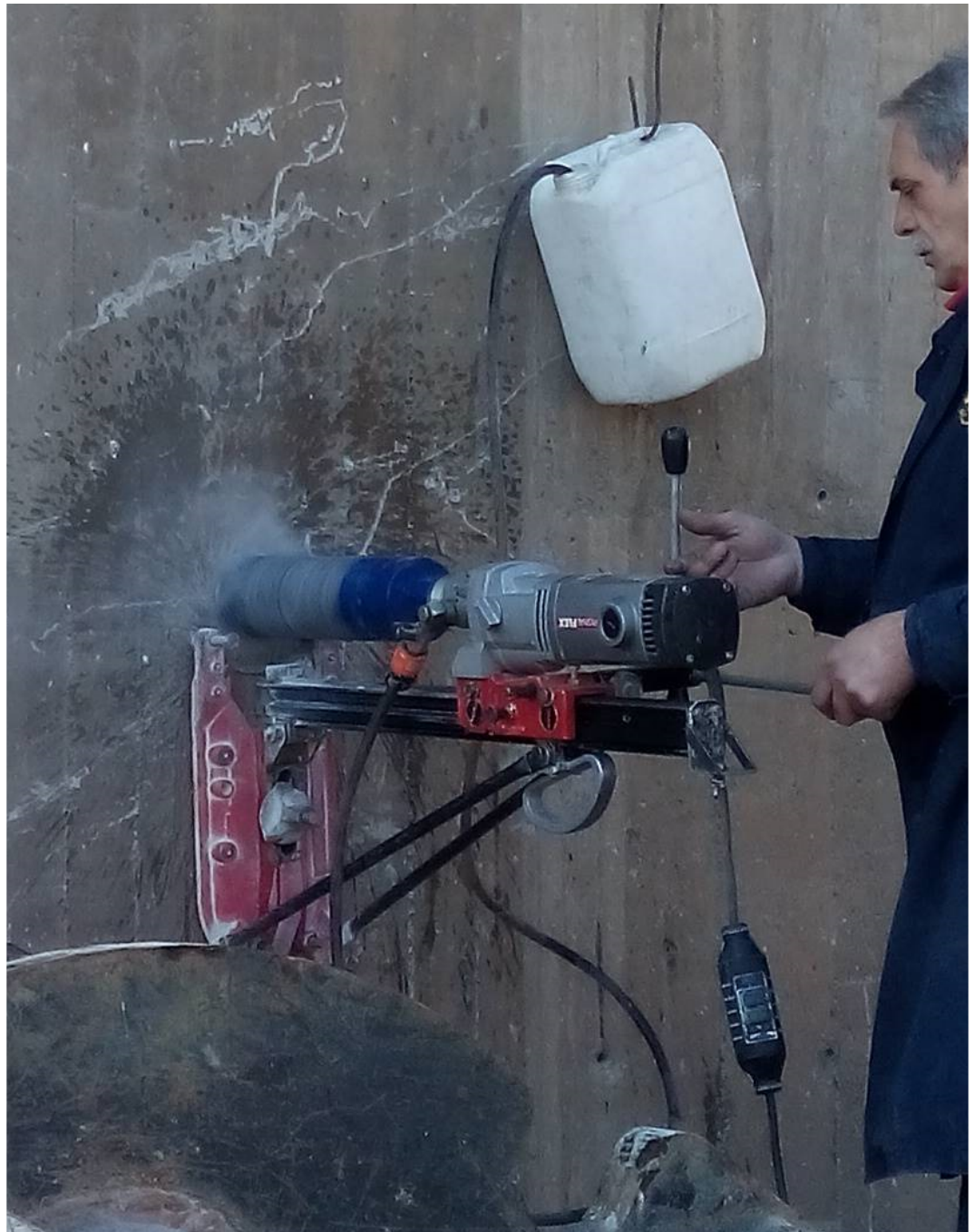
- Mehanizmi prenosa hloridnih jona
 - Difuzija
 - Kapilarna sukcija

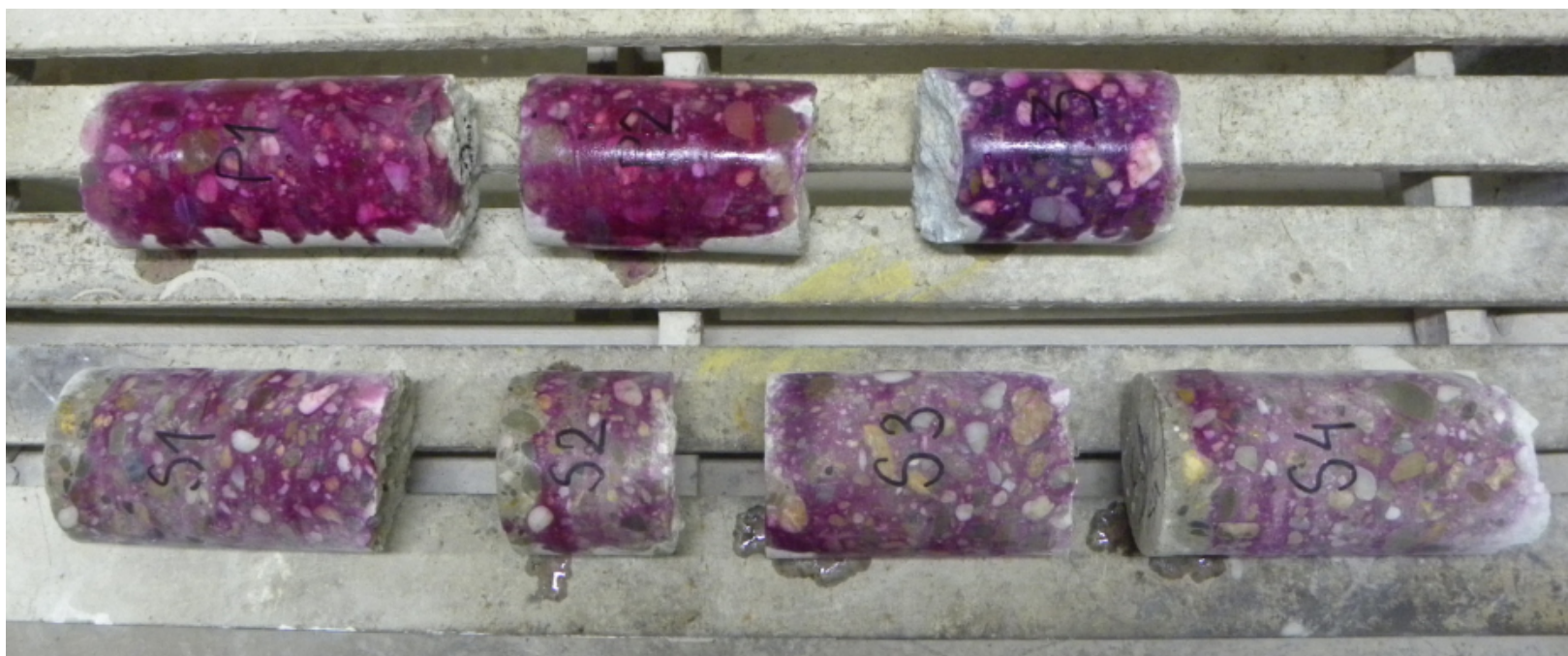
- Potencijalno ugrožene konstrukcije:
 - Otvorene javne garaže
 - Bazeni
 - Mostovske konstrukcije

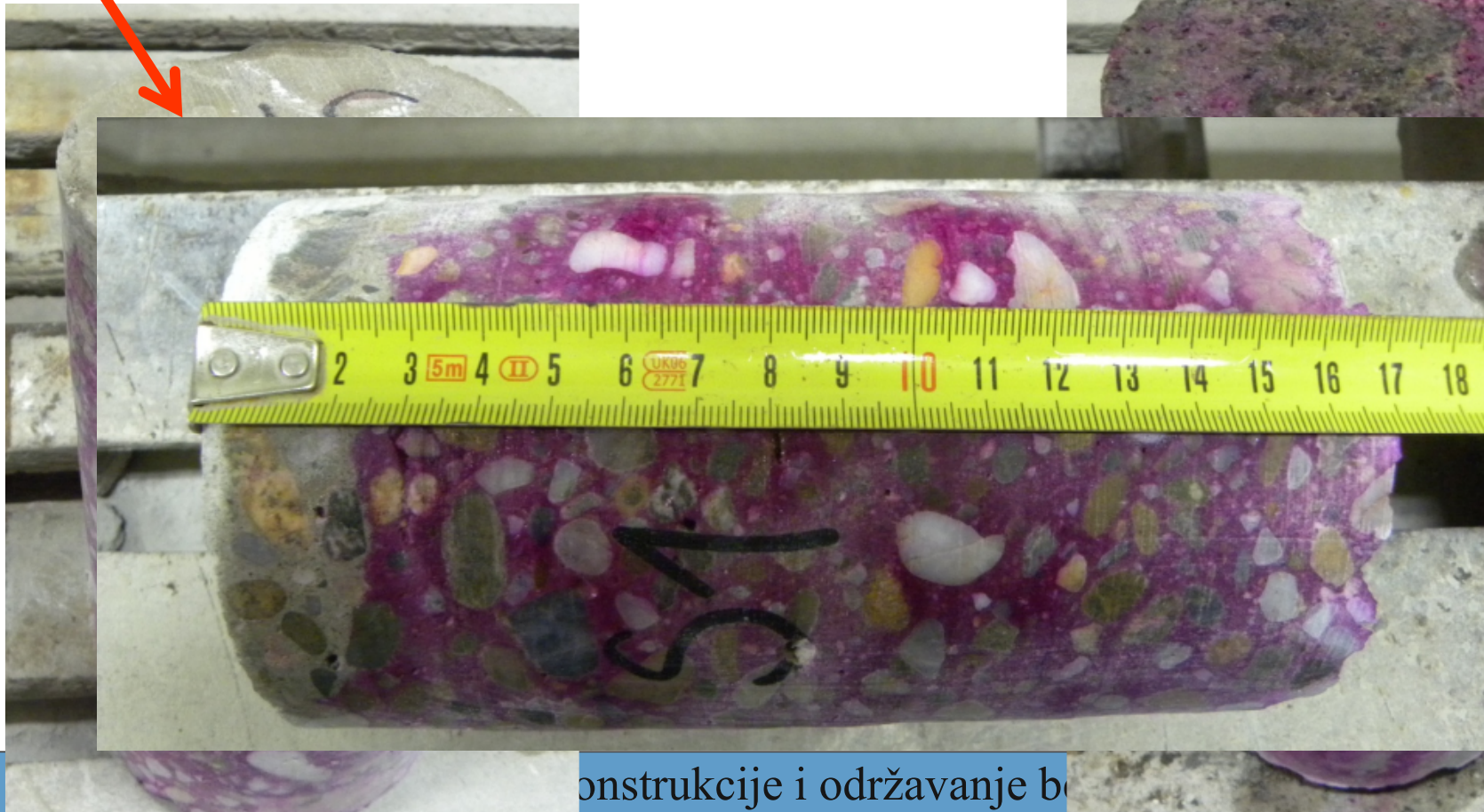
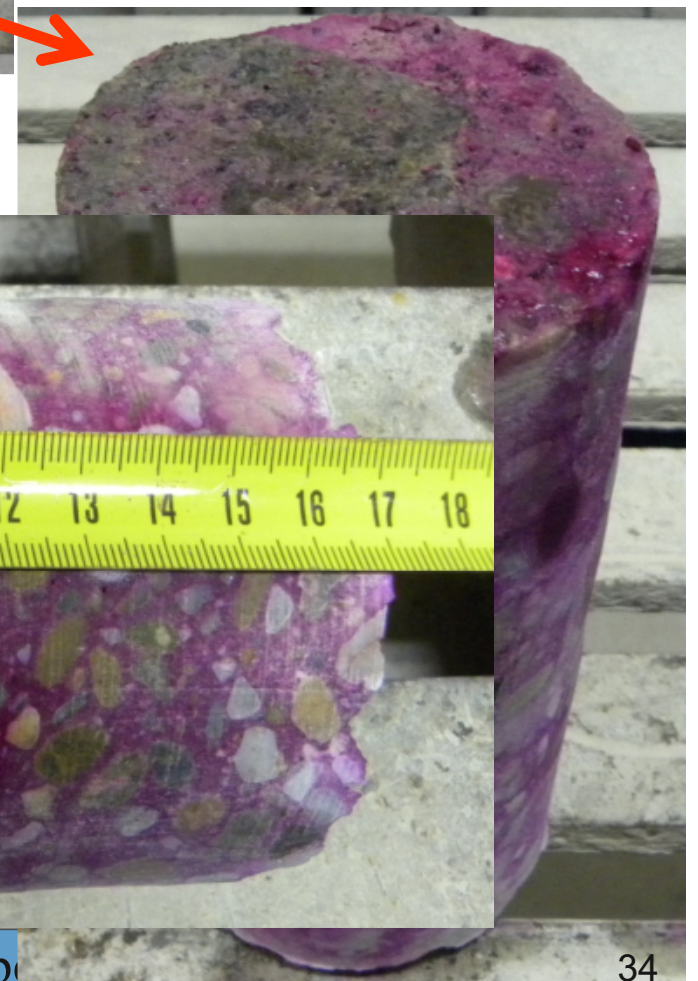
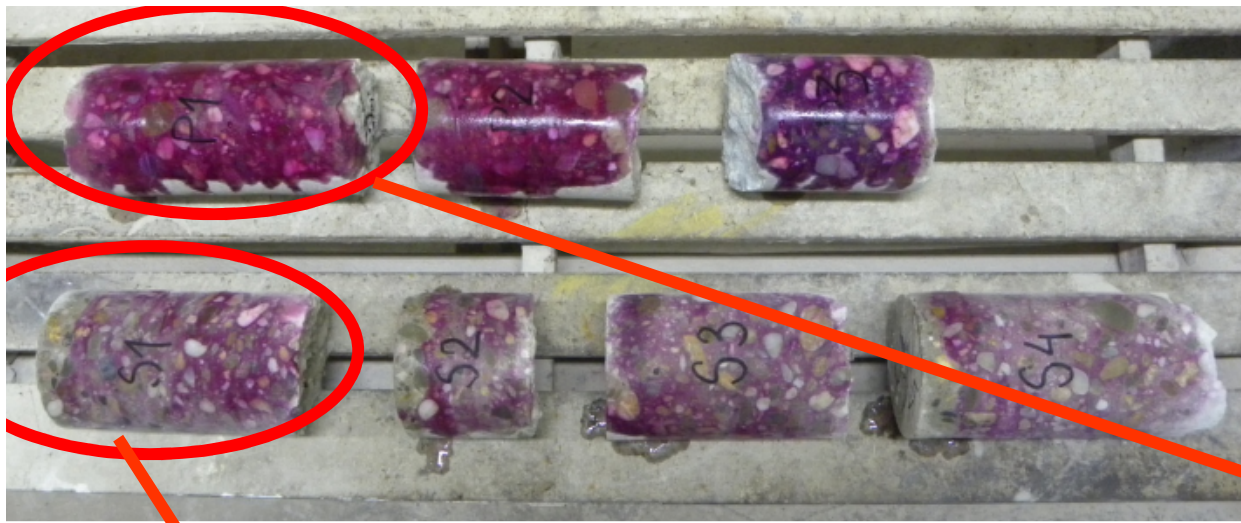






















SMRZAVANJE I ODMRZAVANJE





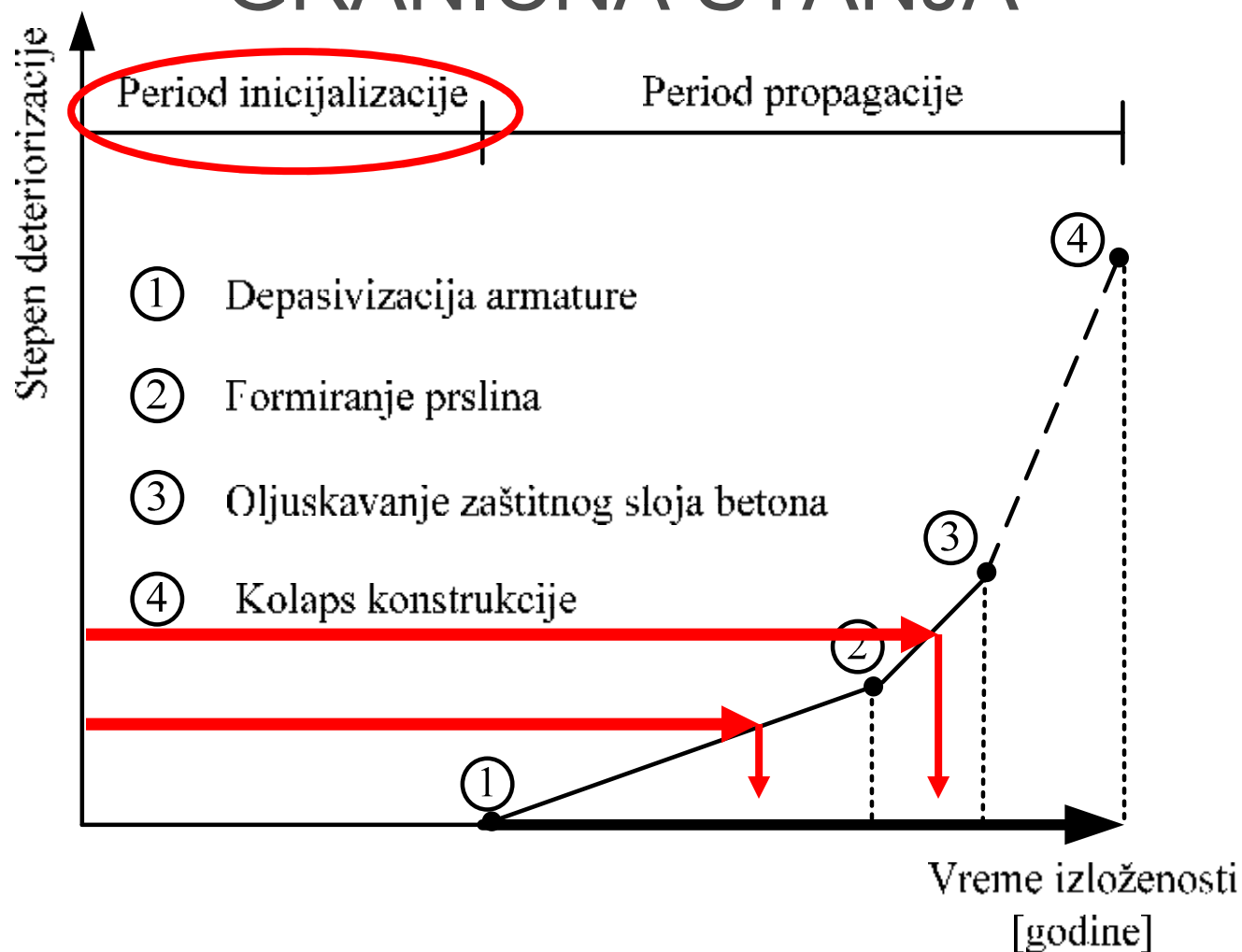
ALKALNO AGREGATNA REAKCIJA

- Reakcija aktivnog silicijuma iz agregata sa alkalijama u cementu-alkalno-silikatni gel
- Preduslovi:
 - agregat koji sadrži reaktivni silicijum (opal, kalcedon, tridimit...)
 - dovoljno alkalija koje se rastvaraju u vodi – najčešće iz cementa (alkalni hidroksidi – Na_2O , K_2O); smatra se da je minimalna količina alkalija neophodnih za reakciju 0,6%
 - neisparljiva voda u cementnom kamenu (neophodna za reakciju i širenje AS gela) i njegova nepropustljivost





DEGRADACIJA BETONA I GRANIČNA STANJA



Upotrební vek konstrukcije?



UPOTREBNI VEK

- Upotrebni vek:
 - Tehnički
 - Funkcionalni
 - Ekonomski
- Dužina upotrebno­g veka (ISO 2394):

Kategorija	Proračunski upotrebni vek [god]	Primeri
1	10	Privremeni objekti
2	10 do 25	Zamenjivi delovi konstrukcije, nosači, ležišta
3	15 do 30	Poljoprivredni i drugi slični objekti
4	50	Zgrade i slične konstrukcije
5	100 i više	Monumentalne zgrade ili objekti, mostovi

