



Универзитет у Београду – Грађевински  
факултет [www.grf.bg.ac.rs](http://www.grf.bg.ac.rs)

---

џски програм: **ГРАЂЕВИНАРСТВО ОСНОВНЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ**

II: **ПУТЕВИ, ЖЕЛЕЗНИЦЕ И АЕРОДРОМИ**

ча/Семестар: **III година / VI семестар**

з предмета (шифра): **МОСТОВИ (Б2С3М)**

ивник : **В. Проф. Др Снежана Машовић**

ов предавања: **Процеси угрожавања - дијагностика,  
прегледи мостова**

а : **17.05.2023.**

---

# Процеси угрожавања

- Зависно од материјала од ког је конструкција направљена изложена је различитим процесима пропадања.
- Најзначајнији процеси су:
  - Челичне конструкције:
    - Корозија
    - Замор
  - Бетонске конструкције:
    - Мржњење и крављење
    - Алкално-агрегатна реакција
    - Хемијска агресија,
    - Корозија арматуре и каблова

# Типови корозије код металних конструкција

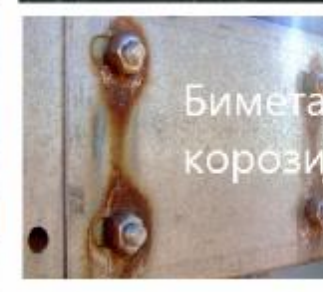
з (површинска корозија) – равномерна редукција пресека (по целој лини), без значајнијих локалних оштећења (одвија се заменом анодних и катодних места по површини материјала) – најмање опасан вид корозије.

ста корозија – развија се по дубини материјала (мала анода и велика катода) Дубина оштећења од корозије неколико пута већа од дебљине анода на површини, веома опасан вид корозије.

ија у зазорима - настаје када два исте врсте челика или метала у међусобном контакту, на пример у вијчаних ојачања плочама, спојене заваривањем, чворни лимови, непотпуних варова и сл. Продукт корозије бубри и изазива цепање материјала.

гална (Галванска корозија) - Галванска корозија настаје када су две различите врсте челика или метала повезане међусобно, на пример у завареним, вијчаним, или закованим спојевима закивцима. Мање активнији метал представља аноду, и брже кородира). Што је већа површина катоде у односу на аноду и процес је интензивнији.

иска корозија – ширење постојећих микропрслина (услед заосталих напона током процеса обраде у материјалу) уз присуство напона знатно већег од границе развлачења а у присуству специфичне корозивне средине.



# Замор челика

- Замор челика у мостовским конструкција је изазвано периодичним променама напона који је по интензитету знатно мањи од границе развлачења. У материјалу настају прслине које се током времена повећавају и коначно доводе до лома. Број циклуса оптерећења је велики 10 до 50 милиона напонских промена, а време потребно да се достигне чврстоћа на замор зависи од величине напонских разлика и броја циклуса оптерећења.
- Појава се најчешће манифестује у областима концентрације напона или нагле промене димензија пресека.
- Иницијалне прслине се веома ретко јављају у основном материјалу, већ се јављају на месту заварених веза и прикључака.



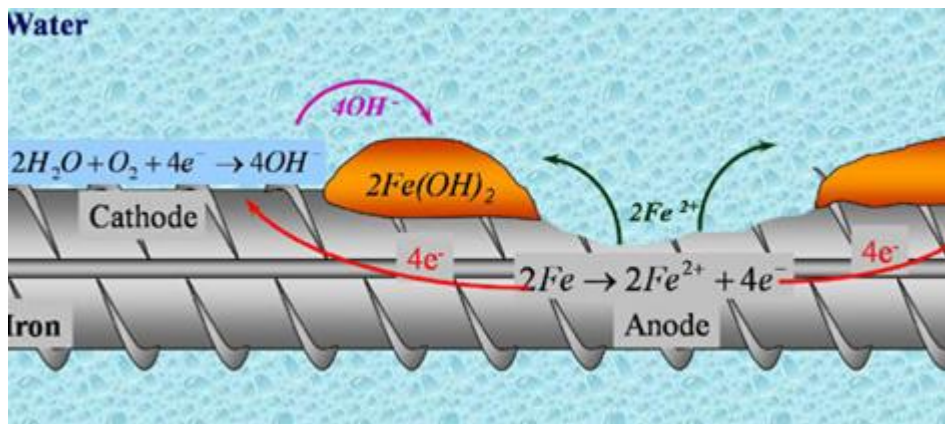
# Корозија арматуре у бетону

Корозија може бити хемијска или електрохемијска.

Хемијска корозија настаје у присуству агресивних супстанци које нису електролити, као што су: суви гасови и течности. Продукти корозије (оксиди) се везују на металну површину.

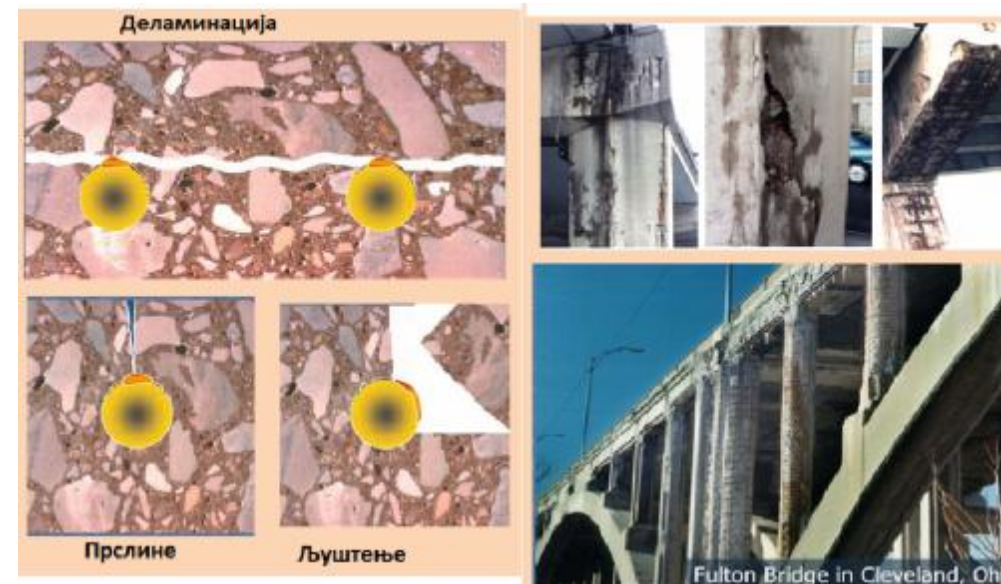
Електрохемијска корозија се јавља се у присуству електролита (киселине, базе, соли растворене у води).

Електрохемијска корозија се одвија у присуству електролита. Започиње на аноди (на местима где је разорена антикорозивна заштита) где се формирају позитивни јони гвожђа и ослобађају слободни електрони. Електрони иду ка катоди где реагују са водом и кисеоником формирају хидроксилне негативне јоне. Ови јони и аноду и реагују са јонима гвожђа и настају различити продукти - рђа. У зависности од присутне количине кисеоника могу настати различита једињења код којима постоје значајне разлике у повећању запремине оксидационог материјала.



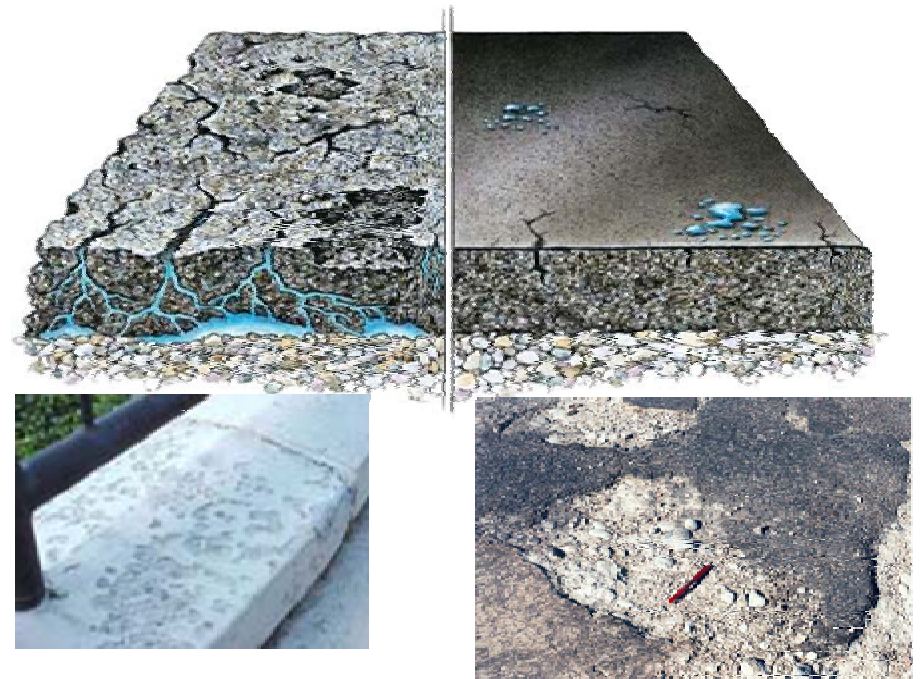
# Специфичности корозије арматуре у бетону

- Бетон је високо алкална средина у којој се око арматуре формира пасивни слој који је штити од корозије. Уколико дође до депасивизације овог слоја, што се одвија услед смањења алкалности бетона (рецимо услед карбонатизације) или уз присуство хлорида започеће корозија као електрохемијски процес .
  - Карбонатизација настаје услед реакције угљен диоксида из ваздуха са калцијом хидроксидом из бетона. Као таква не изазива штету по саму структуру бетона, али смањује алкалност бетона те убрзава процес корозије услед деградације пасивног заштитног слоја.
  - Хлориди доводе до депасивизације арматуре и ако је очувана алкалност бетона а неопходна концентрација хлорида значајно зависи од пермеабилности бетона.
- Механизам разарања је двострук:
    - Смањење пресека арматуре
    - Разарање бетона под напонима затезања који настају услед повећања запремине продуката корозије (деламинација, прслине и отпадање заштитног слоја)



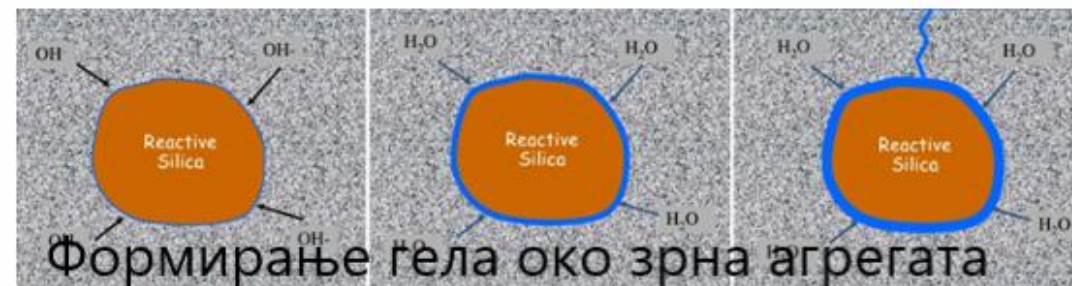
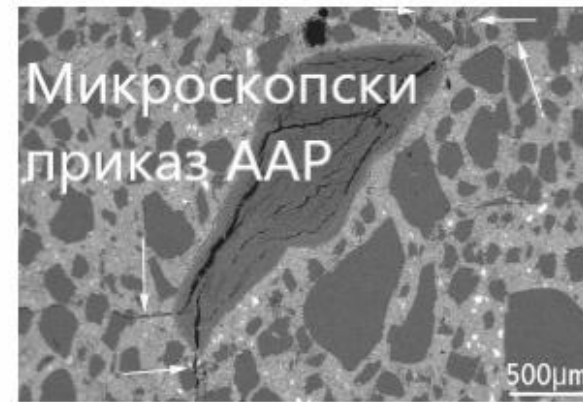
# Мржњење и крављење

- Зависи од порозности бетона, односно заштићености бетона водом. Лед врши притисак на цементну матрицу, која се скупља услед хлађења што доводи до радијалних напонима затезања и разарања цементне матрице. У процесу крављења елемент упија додатне количине воде. Тако да степен оштећења зависи од броја циклуса.
- На површини се јавља се љуштење бетона, долази до одламања површинских слојева (пораст опасности до корозије арматуре уколико се оштећења не санирају).
- Употребом аераната се у бетону формирају систем затворених пора који до одређене мере апсорбује притисак леда.



# Алкално агрегатна реакција

- Алкално агрегатна реакција (ААР) је хемијска реакција алкалија у бетону, и неких реактивни минерала у агрегату. Ствара се хигроскопски гел који апсорбује воду и шири се. Експанзија гела изазива пуцање бетона.
- Предуслови:
  - Висока рН-вредност бетона
  - Присуство  $\text{SiO}_2$  у агрегату (кварц, опалин, стакло итд.)
  - Влага



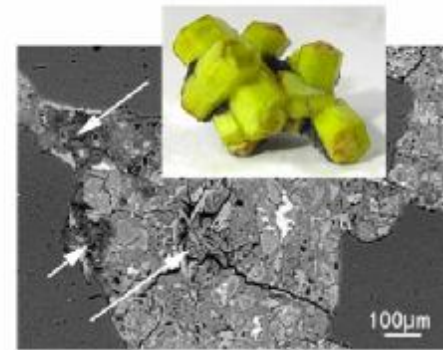
и његово бубрење



# Хемијска агресија

- **КИСЕЛИНЕ** (кисела киша, канализациони гас) реагују цементном пастом и разарају микроструктуру очврслог цементног тела и повећавају пропусност бетона
- **СУЛФАТИ** реагују са продуктима хидратације цемената стварају се две врсте минерала: етрингит ( који има већу запремину врши притисак на цементно тело и стварајући радијалне прслине) и таумасит (минерал који замењује цементну пасту али без везивнох својстава те разара стуктуру бетона).
- **СОЛИ:**
  - Хлориди - иницирају интензивну корозију арматуре и каблова за претходно напрезање
  - Соли натријума и калијума повећавају ризик од алкално агрегатне реакције
  - Со има хигроскопска својства, веже влагу, бетон загађени сољу се тешко суши.

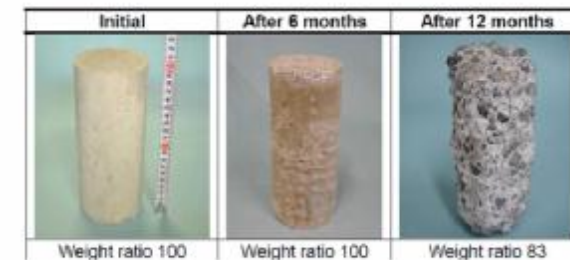
Еtringит и микроскопски снимак формирања еtringита око зрна агрегата



Разарање на површини бетона и појавом еtringита



Разарање бетона узроковано таумаситом



# Прегледи мостова

Прегледи мостова се спроводе како би се установила њихова подобност у смислу носивости, употребљивости и трајности.

Прегледом се прикупљају податци о оштећењима, који се након тога уносе у базу података.

Након прегледа, а на основу података о оштећењима и њиховом положају врши се дијагностика уочених оштећења, разматрају се могући узроци оштећења, по потреби предлаже детаљно испитивање (уз коришћење адекватне опреме), како би се могле предложити адекватне мере санације оштећења.

Постоји више дефинисаних врста прегледа сходно **о Правилнику о радовима на редовном одржавању јавних путева** (из 2020).

# ПРАВИЛНИК

## о радовима на редовном одржавању јавних путева "Службени гласник РС", број 15 од 24. фебруара 2020.

- Праћење стања мостова на путној мрежи врши се прегледима и утврђивањем оштећења према јединственој одговарајућој методологији, следећим врстама прегледа:
  - 1) редовни прегледи;
  - 2) сезонски (контролни) прегледи;
  - 3) систематски прегледи;
  - 4) главни прегледи;
  - 5) специјалистички прегледи;
  - 6) ванредни прегледи.
- Редовним прегледом стално се прате промене стања мостова и обезбеђује потребна безбедност саобраћаја.
- Сезонски (контролни) прегледи обављају се најмање двапут годишње и то по правилу пре и после зимског периода.
- Контролним прегледом моста контролише се:
  1. стање коловоза;
  2. стање дилатационих справа;
  3. стање лежишта;
  4. одводњавање;
  5. стање пешачких и заштитних (одбојних) ограда.
- Контролни преглед има карактер упозорења.

# Систематски преглед

Систематски преглед мостова обавља се једном у **пет година**.

Међу средњих и крајњих стубова;

Средњи и крајњи стубови;

Ободно стојећа крила;

Подножишта;

Дуговани носачи;

Попречни носачи;

Својерасни носачи;

Својерасне конзоле;

Пројекције корозије арматуре или челичних конструкција;

Термоизолација;

Својерасни застор;

12) дилатационе справе;

13) водоток или подручја испод моста;

14) клинови;

15) прелазне плоче;

16) кегле или „пропуштен” насип;

17) ограде

18) ивичњази;

19) пешачке стазе;

20) систем за одводњавање;

21) инсталације;

22) сигнализација на мосту.

Систематски преглед моста обавља се визуелно блиског одстојања у односу на сваки осматрани елемент.

По извршеном прегледу саставља се записни протокол са фотодокументацијом уочених оштећења

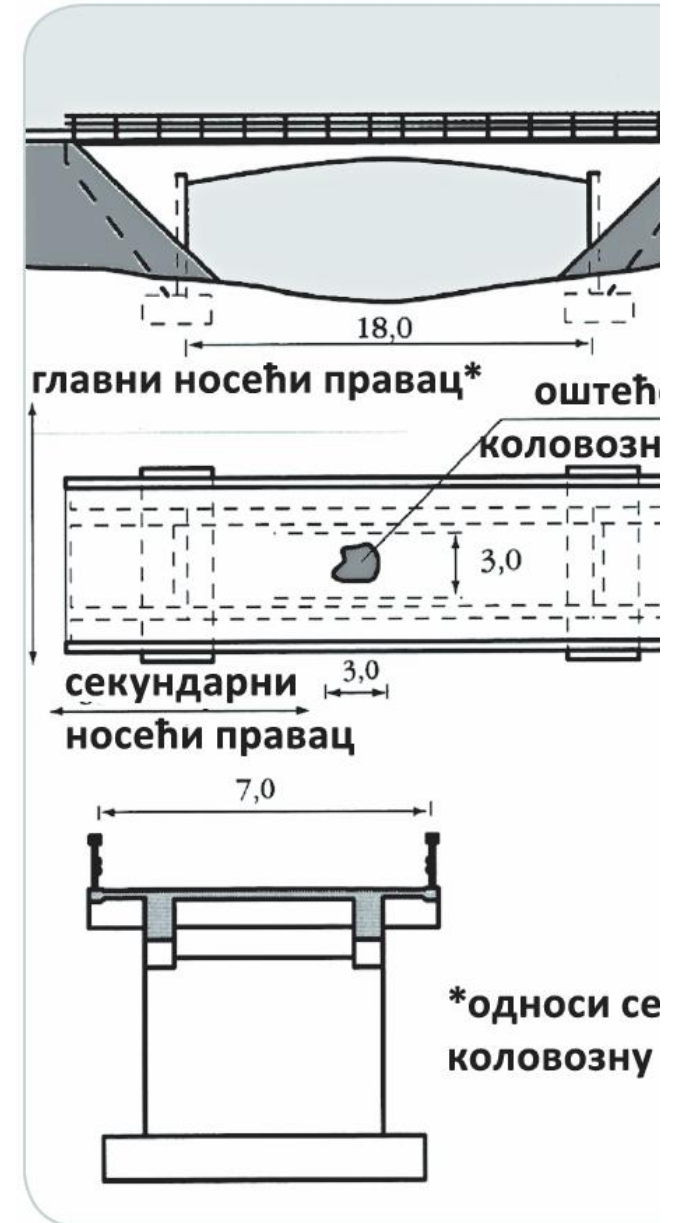
# Пре систематског прегледа

о могућности прикупити податке о мосту (пројектант, вођач, записници са претходних прегледа и санација) израдити скице целе мостовске конструкције и појединих делова (према потреби)

значајно на скицама оријентацију моста (део путне мреже и праваносветла) и делове моста ради лакше оријентације обезбедити основну опрему.

Шта садржи фото-документација:

- Ознака моста / Прилаз мосту
- Мост у целини
- Коловоз и опрема моста
- Насип, опорац, стубови и лежишта
- Подручје испод моста
- Главни и попречни носачи



# Визуелни преглед

Првенствено обавља уз употребу чула и једноставне премене:

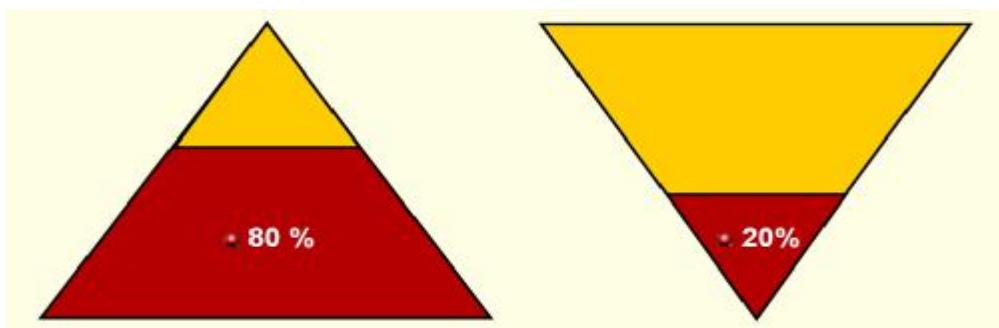
Вида (уочавање оштећења уз једноставна мерења)

Слух (деламинација)

Додир (откривање прслина и неравнина)

Мирис (присуство хемикалија и органских материја)

- Геометрија и димензије пресека
- Изглед и разлике у боји површи конструкције,
- Појава прслина њихова величини распоред,
- Знаци деградације материјала и површини конструкције,
- Деформације конструкције,
- Влажне површине (процуривање воде)

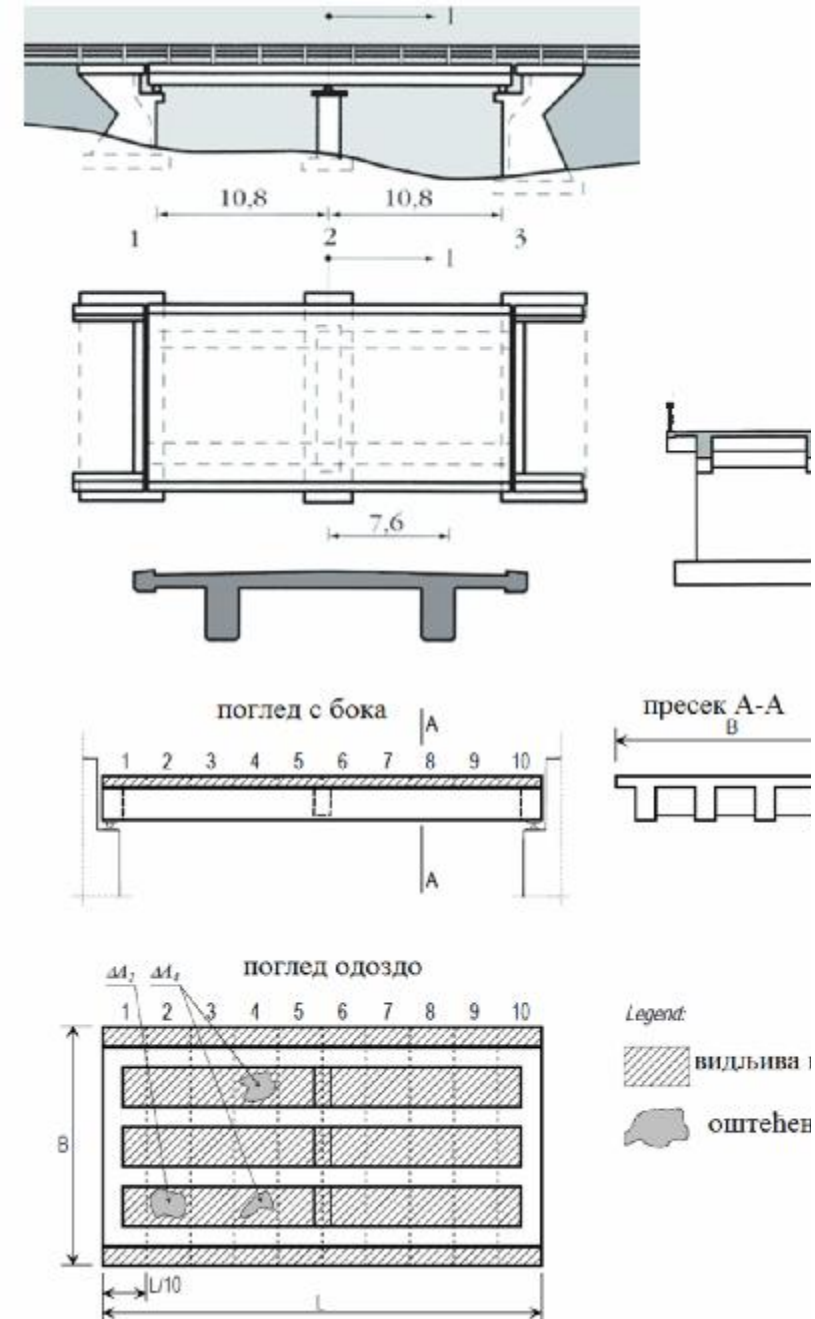


Прикупљене информације

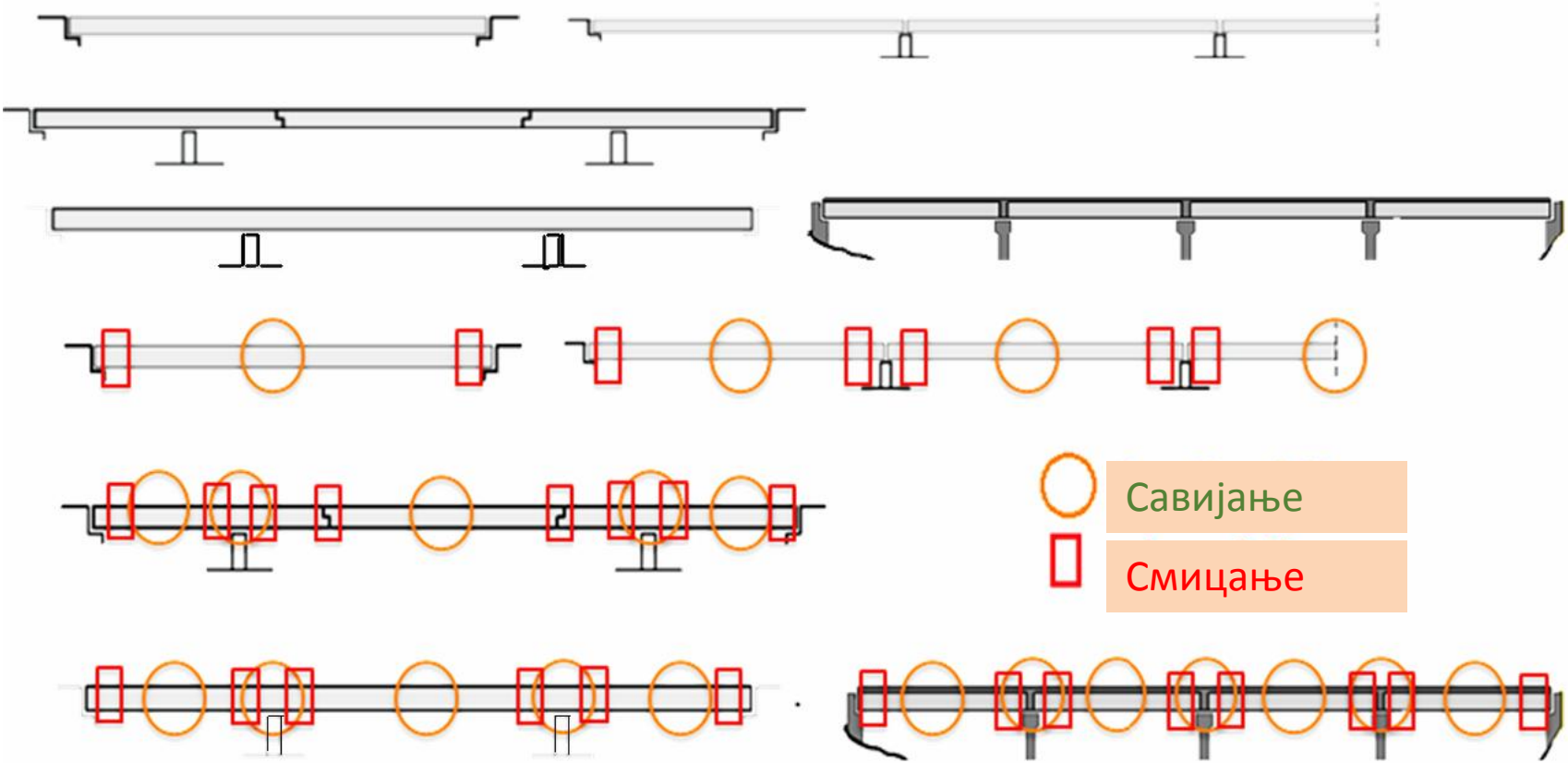
Трошкови

# Обављање визуелног прегледа

- Шта прегледамо?
- Опште стање
- Познавање конструкције
- Критична места и елементе
  - Места где се очекује почетак деградације или оштећења
  - Конструкцијски елементи чија је оправка скупа или врло захтевна
- Елементе од значаја за функционалност конструкције (опрема)

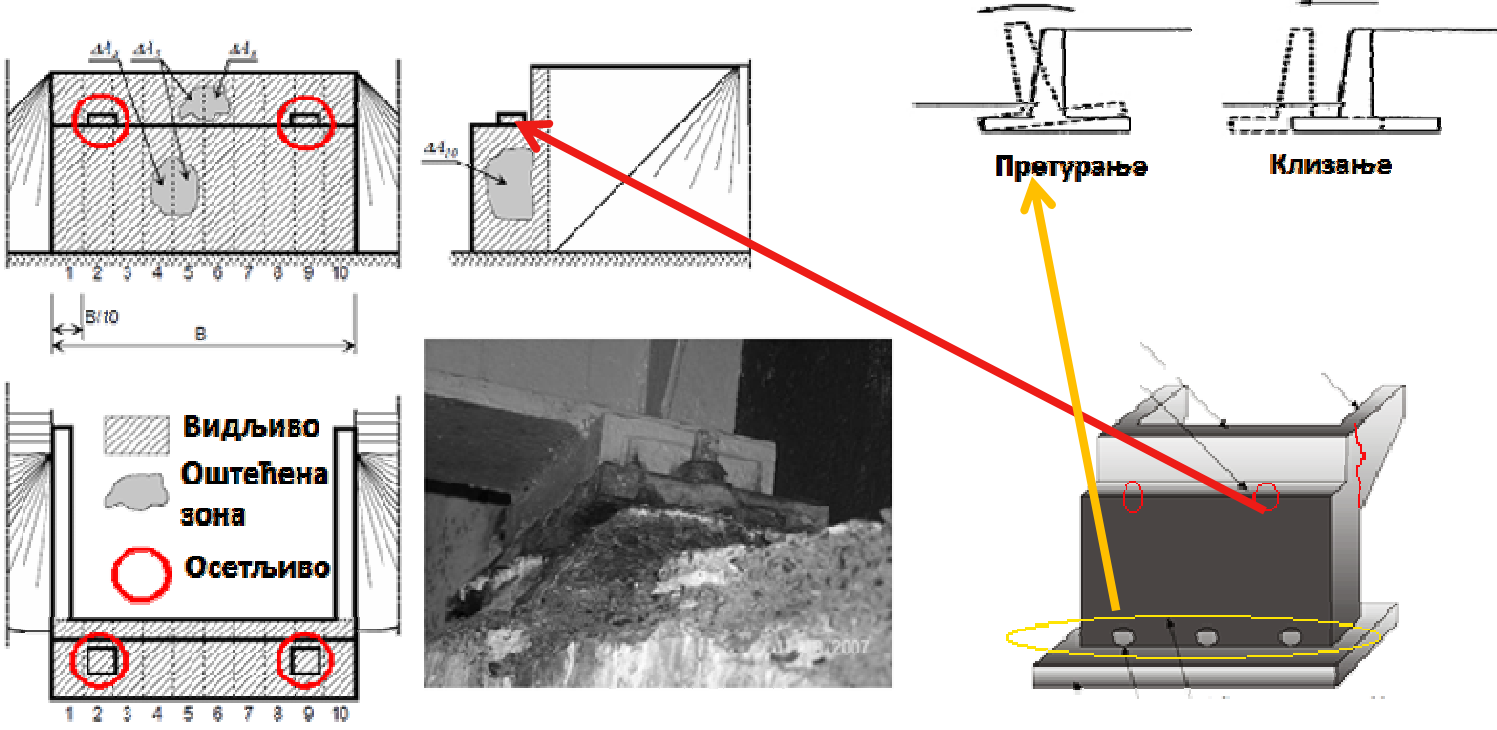


# Осетљива места - суперструктура





# Осетљива места - опорци и крила



# Осетљива места - стубови



целање



смицање



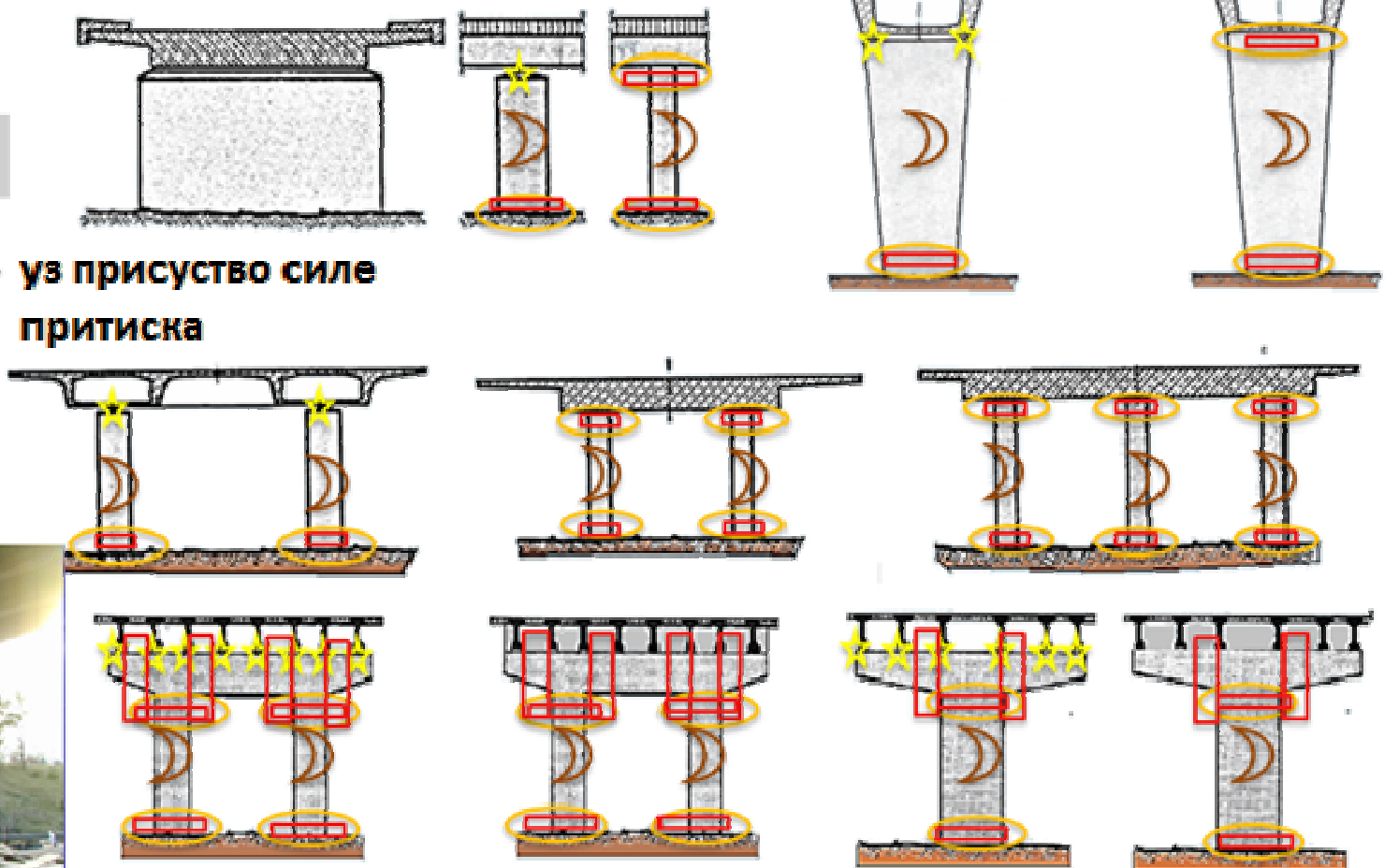
савијање



смицање



извијање





# Главни, специјалистички и ванредни преглед

зни преглед:

едном у *десет година*.

Сличан систематском уз преглед теже доступних места (радне платформе), и геодетска контрола.

/ случају установљених оштећења одредити /зрок.

Записник са фотодокументацијом уочених оштећења.

цијалистички преглед:

Кад је установљено да је угрожена стабилност моста или постоје оштећења која захтевају санацију

Детаљни циљани преглед који укључује тестове, друге комплексне методе и испитивања.

За потребе вођења судских спорова

Статичку контролу носивости или инжењерско-геолошки извештај

• Ванредни прегледи:

- ванредних догађаја који могу угрозити носивост или функционалност објекта, као што су:
  1. елементарне непогоде;
  2. тежа оштећења од ударца возила, поплава, пожар, експлозија, и сл.;
  3. после преласка изузетних терета преко моста (прекорачења дозвољених оптерећења; габарита возила);
- обавља се на исти начин као систематски специјалистички преглед зависно од оштећења

# Испитивање чврстоћа бетона

итов чекић (склерометар) – даје податак о тврдоћи и тисној чврстоћи на површини елемента (која може бити тичита од оне у унутар елемента), велико расијање алтата али се једноставно може направити велики број ења.

итивање чупањем (Pullout) базира на односу силе ребне за чупање вијака из бетона и његове притисне стоће, ради се о површинском слоју (нешто дубљем од итвивања склемометром). Минимална оштећења структуре- потребна поправка (крпљење)

итивање кидањем – одређује се чврстоћа на затезања директно и чврстоћа на притисак). Силе затезања се лцира на метални диск залепљен на површини бетона. нимална оштећења конструкције – потребна поправка љење).

новање – вађење узорака из масе бетона – оузданија али оштећује конструкцију - неопходне ајније поправке.



# Акустичне методе

Ултразвук (мери се брзина индукованих ултразвучних таласа) – информације о :

дебљини елемената  
постојању шупљина, прелина,  
неправилности, грешке у ињектирању  
каблова за претходно напрезање,  
ређе позицији арматуре..

Импакт удар (IMPACT-ECHO TEST) - одређује исте карактеристике као и ултразвучно мерење. Механичким ударима о површину конструкције изазивају се таласи мале фреквенције и мери се амплитуду њихове фреквенце .



Испитивање ултразвуком и опрема



Испитивање ехо ударом и опрема



# Одређивање положаја и димензија арматуре

- Електро магнетне методе:
  - Електромагнетна индукција – положај и пречник арматуре и дебљину заштитног слоја.
  - Једноставне методе али примењиве при мањим дебљинама заштитног слоја (до 10цм) и непоуздане код већег процента армирања.
- Могу се користити и софистициране методе као што су радиографија или радар.
- Метода расипања магнетног поља – могу се открити ломови арматуре за претходно напрезање.



Метода расипања магнетног поља примена на:  
Претходно напрегнутом носачу      Косим затегама

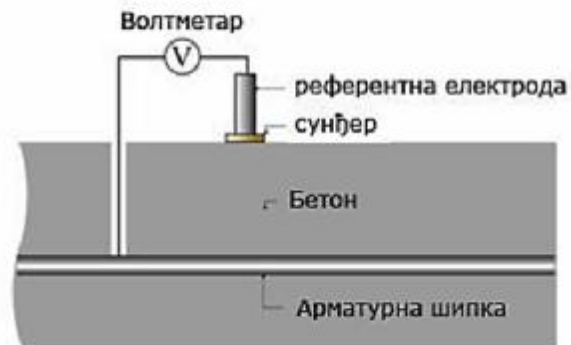


# Откривање корозије арматуре

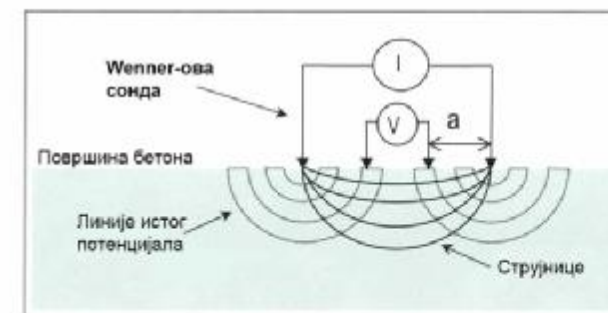
стоји читав низ метода за откривање корозије арматуре. Једноставније користе основне мерне уређаја су базиране на:

Потенцијалу електричног поља  
На бази електричног отпора  
бетона.

На бази потенцијала електричног поља



На бази електричног отпора





# Софистициране недеструктивне методе

1 Испитивања и обраде података добијени не-деструктивним методама су у непрекидном развоју. Тачност и тумачење резултат ових метода је комплексно.

Ултразвучне методе

Допуштање гама или х зрака и снимањем на супротној страни елемента за јако армиране конструкције

Термографске методе

Група метода примењива изузетно. Ради на принципу испростирања и одбијања електромагнетних таласа из елемента. Таласи продиру дубље него код површинских електромагнетних метода а релативно осетљива за арматуру ближе површини

Ултразвучне методе – инфрацрвена термографија

Је приказ распореда температуре у елементу на површини. Чеза се може установити грешке у материјалу, лед различите проводљивоти.

Употреба радара и приказ резултата



Резултати инфрацрвене термографије

