

Izv.prof.dr.sc. Ana Mandić Ivanković



TRAJNOST KONSTRUKCIJA I

Sadržaj kolegija

1. Uvod, Definicije osnovnih pojmova, Suvremeni pristup trajnosti, Projektiranje trajnosti
 2. Mehanizmi razaranja konstrukcija
Primjeri oštećenja konstrukcija
 3. Utjecaj projektiranja na trajnost
Utjecaj izvođenja na trajnost
 4. Utjecaj održavanja na trajnost, Gospodarenje građevinama, Ostali utjecaji na trajnost konstrukcija
 5. Dijagnostika stanja i monitoring konstrukcija
 6. Trajnost konstrukcija i granična stanja
 7. *1. kolokvij (predavanja 1. do 5.)*
-

Sadržaj kolegija

8. Ostvarenje trajnosti konstrukcija:
betonske i zidane konstrukcije

9. Ostvarenje trajnosti konstrukcija:
drvene i čelične konstrukcije

10. Neuspjesi, nesreće i katastrofe
Upravljanje rizicima

11. Privremene i pomoćne građevine
Metodologija obnove

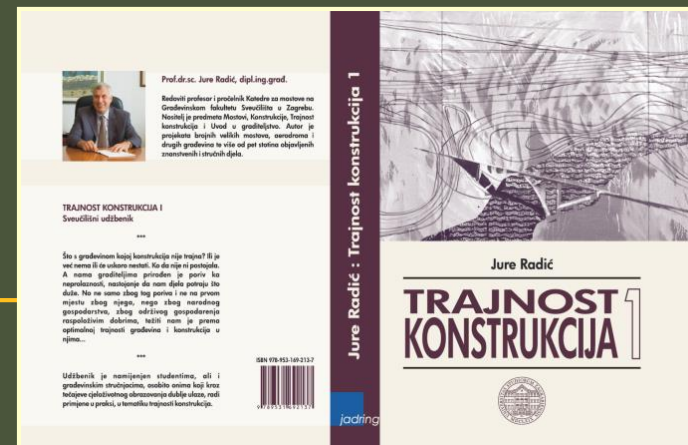
12. Estetski, ekološki i etički aspekti

13. Održiva gradnja

14. 2. kolokvij (predavanja 6. do 12.)

Popis literature

- Jure Radić: Trajnost konstrukcija I, 2010.
- J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije • Priručnik
- J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije • Riješeni primjeri
- J. Radić i suradnici: Zidane konstrukcije • Priručnik
- J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije • Građenje
- J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije • Sanacije
- Separat 1 za vježbe: Pregledi i oštećenja zgrada
- Separat 2 za vježbe: Opći pregled mostova



TRAJNOST KONSTRUKCIJA I



-1-

UVOD

UVOD

■ Što je građevina?

- Ljudski proizvod vezan s tlom, napravljen od određenog građevnog materijala s namjerom da zadovolji neku ljudsku potrebu (stanovanje...)

■ Građenje?

- Jedna od najstarijih ljudskih djelatnosti.



Drvene konstrukcije



Betonske konstrukcije



Metalne konstrukcije



Kamene konstrukcije



Zidane konstrukcije

UVOD

- ❑ Prirodna usmjerenost graditelja → neprolaznost ili što veća **TRAJNOST** građevina
- ❑ Povijest graditeljstva obiluje primjerima različitog pristupa trajnosti:
 - Bezuvjetna želja da građevine potraju vječno
 - Potpuno zanemarivanje činitelja trajnosti
 - Nastojanje za ostvarenjem optimalne trajnosti

UVOD

□ *LACER*

Most na rijeci Tagus
kod Alcántara,
Španjolska,
98.-106.g.n.e.,

□ $L_{uk}=214$ m,

□ $H=60$ m,

□ $L_{max}=28$ m



UVOD

- **LACER** Uvjeren u savršenost svog djela

Most na rijeci Tagus
kod Alcántara,
Španjolska,
98.-106.g.n.e.

*"PONTEM PERPETVI MANSVRVM
IN SECVLA MVNDI"
OVAJ MOST ĆE TRAJATI VJEČNO*



UVOD

Neke građevine su propadale zbog odnošenja kamena koji se upotrebljavao kao građevni element za nove konstrukcije

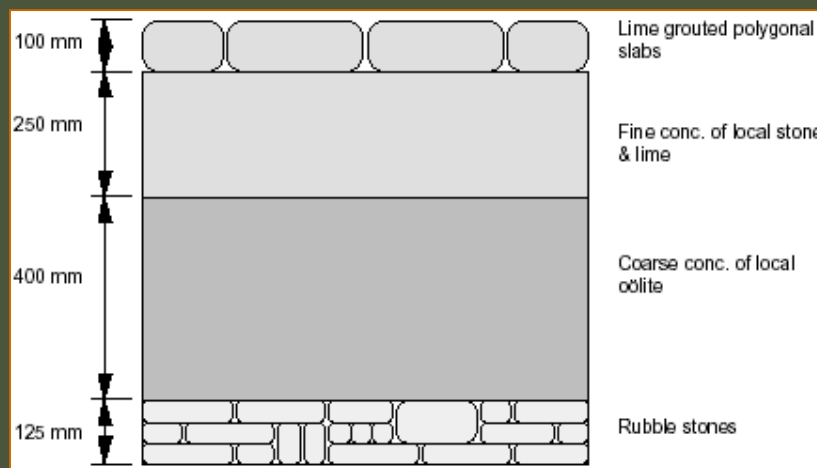


RIM

UVOD

Javno dobro važnije od privatnog:
omogućavanje prolaza preko privatnog
vlasništva u slučaju oštećenja ceste

*Rimska
cesta*



UVOD

Drvene rimske konstrukcije se ipak nisu očuvale do današnjih dana iz razloga slabijih trajnosnih svojstva drva u odnosu na kamen, a mnoge su nastale u požarima.



Model drvenog mosta preko Rajne

Rimski mostovi



Most preko Tibera – najstariji u Rimu

Niz građevina iz ovog doba je i u Hrvatskoj ...

UVOD



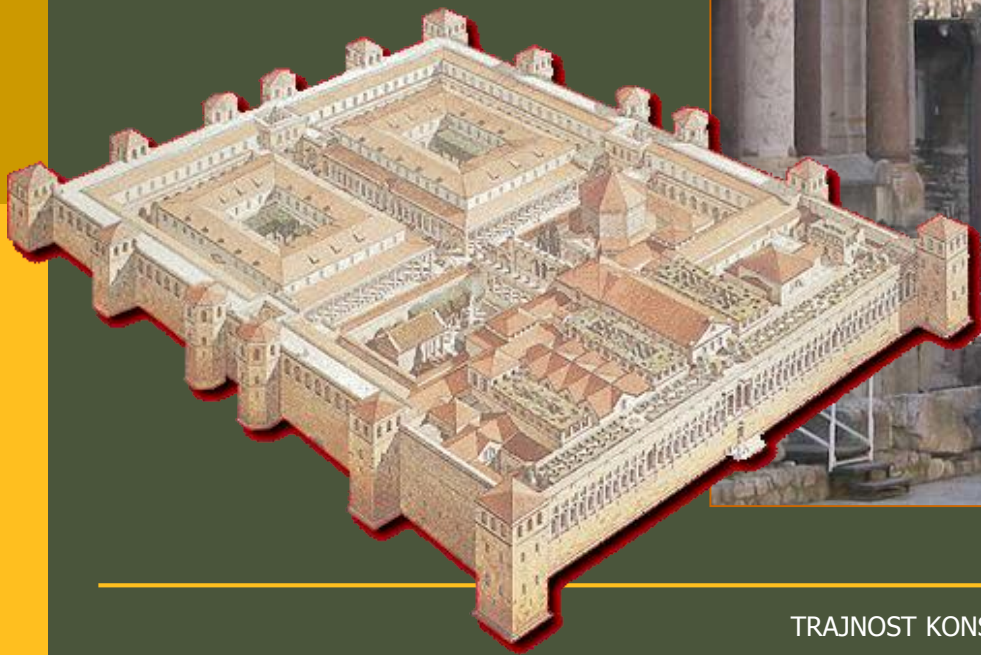
Pulska arena



Niz građevina iz ovog doba je i u Hrvatskoj ...

UVOD

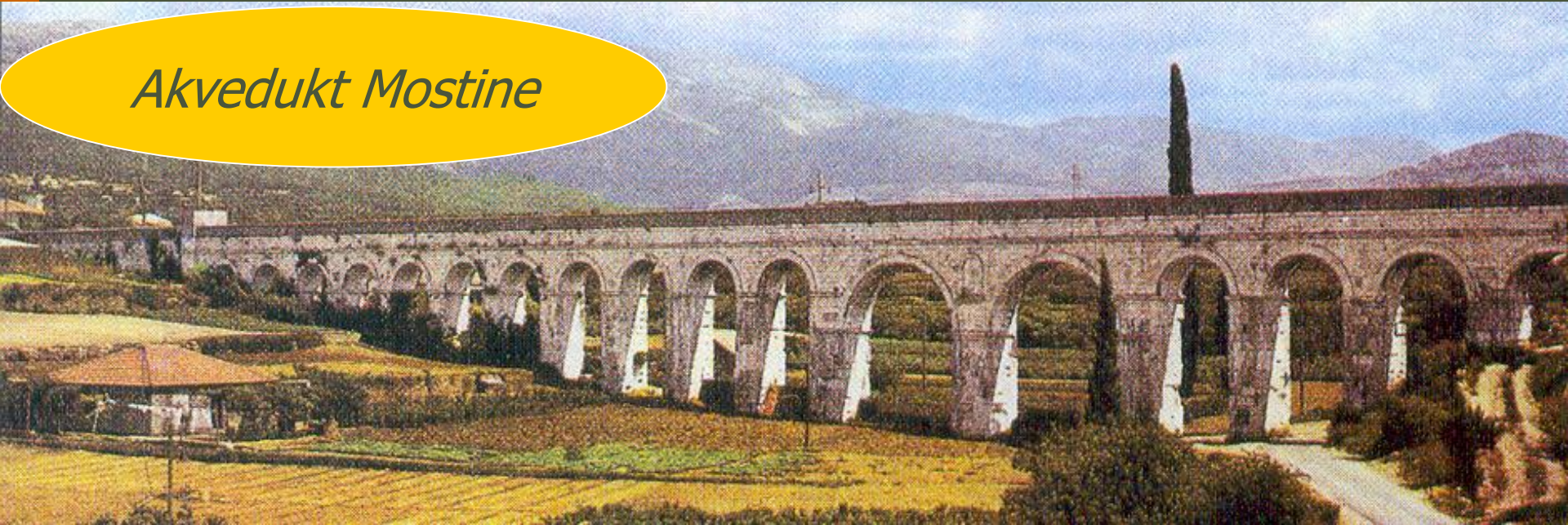
Dioklecijanova palača



Niz građevina iz ovog doba je i u Hrvatskoj ...

UVOD

Akvedukt Mostine



- ❑ Akvedukt Dioklecijanove palače
- ❑ Izgradnja: 284.-305.
- ❑ Transport vode iz rijeke Jadro u duljini od 9 km

UVOD

Odlučni čimbenici velike trajnosti rimskih građevina:

- uporaba vrlo kvalitetnog kamenog materijala
- primjena luka kao glavnog konstrukcijskog elementa
- gradnja s velikim rezervama nosivosti

UVOD

Bitno mlađe, ali po trajnosti izuzetne
građevine ...



Dubrovnik

UVOD

Bitno mlađe, ali po trajnosti izuzetne
građevine ...

Katedrala u Šibeniku



Bitno mlađe, ali po trajnosti izuzetne
građevine ...

UVOD



Dvorac Veliki Tabor

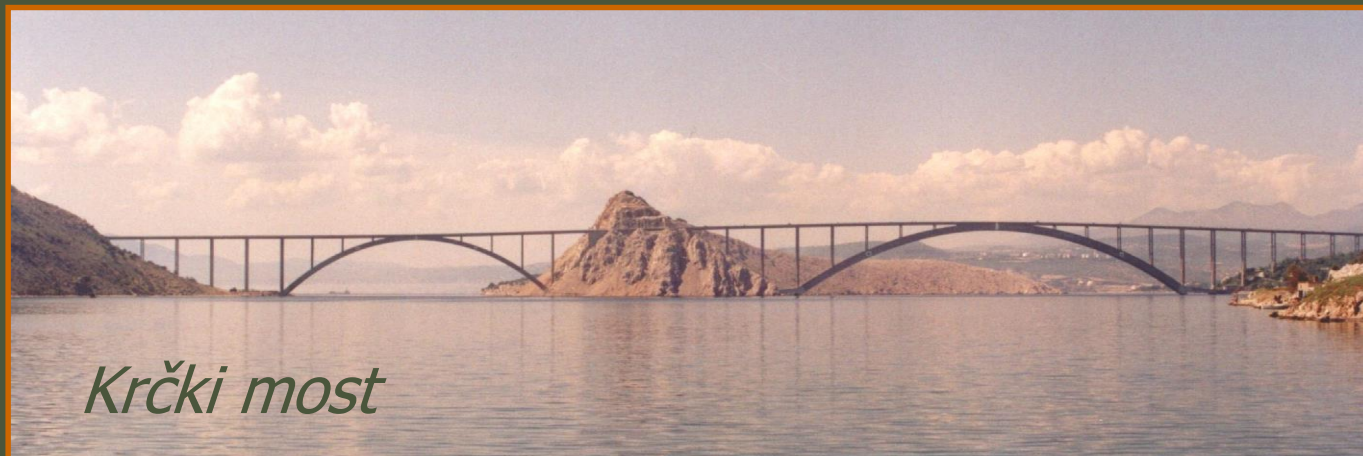
Bitno mlađe, ali po trajnosti izuzetne
građevine ...

UVOD



Varaždin

UVOD



UVOD

Šibenski most: 1964.-1966.



Paški most: 1967.-1968.



UVOD



Krčki most: 1976.-1980.



UVOD

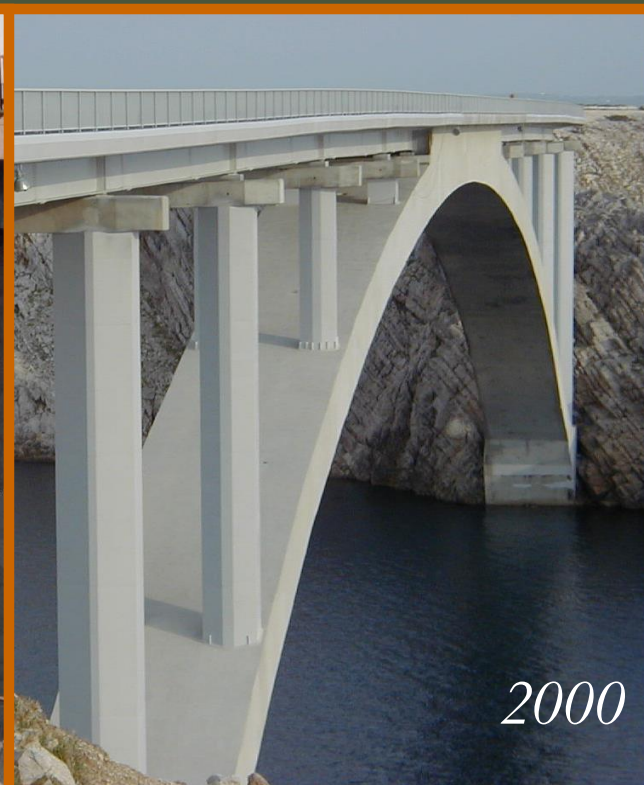
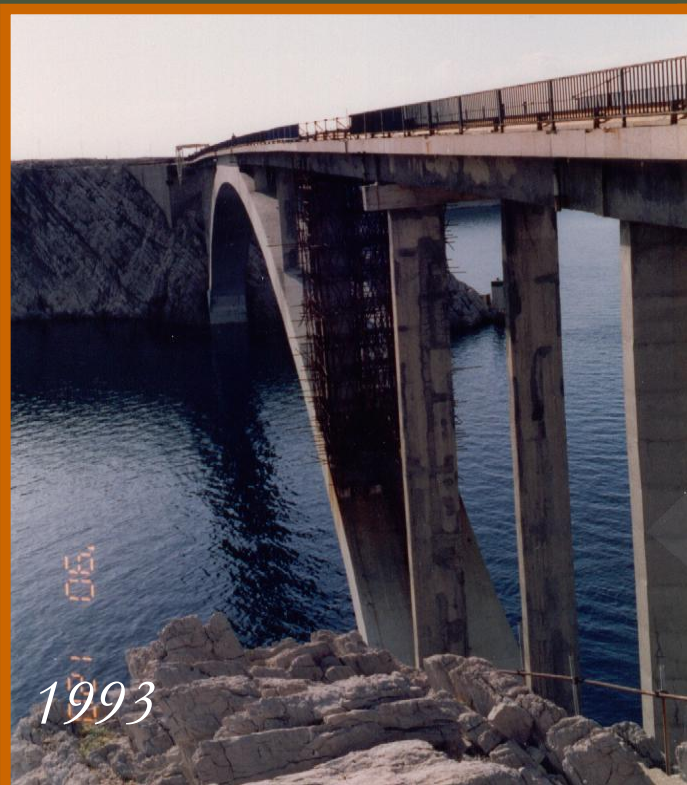
Paški most – stanje 1993.



UVOD

Rekonstrukcija Paškog mosta 1999.

- Zamjena betonske rasponske konstrukcije čeličnom
- Ojačanje stupova pomoću čelično-betonskog plašta



UVOD

DANAŠNJI ISKORACI + TRAJNOST

Maslenički most 1997.



UVOD



DANAŠNJI ISKORACI + TRAJNOST

Most Krka 2005.

UVOD

Primjeri iz prošlosti jasno potvrđuju da se kroz stoljeća ili čak tisućljeća najbolje očuvaju one građevine koje se kontinuirano koriste.

Napuštene građevine, vrlo slikovito opisane kao "baština bez baštinika", izostankom brige i održavanja, ubrzano propadaju uslijed vanjskih djelovanja i dotrajanja.

DEFINICIJE OSNOVNIH POJMOVA

TRAJNOST KONSTRUKCIJE

spособnost posjedovanja zahtijevane razine sigurnosti i uporabljivosti u određenom vremenskom razdoblju pod utjecajem pretpostavljenih uzročnika

SIGURNOST KONSTRUKCIJE

spособnost podnošenja vanjskih djelovanja (***nosivost***) uz određeni koeficijent sigurnosti, dakle s većom ili manjom rezervom (ili pričuvom)

UPORABLJIVOST KONSTRUKCIJE

spособnost udovoljavanja zahtjevima namjene odnosno spособnost konstrukcije ili elemenata da tijekom vremena zadrže odgovarajuća svojstva

POUZDANOST KONSTRUKCIJE

pojam koji objedinjuje i sigurnost i uporabljivost i trajnost konstrukcije

DEFINICIJE OSNOVNIH POJMOVA

UPORABNI VIJEK KONSTRUKCIJE

vremensko razdoblje nakon ugradnje tijekom kojega su nosivost, uporabljivost i druga zahtijevana svojstva iznad min.dopustive razine

PRORAČUNSKI UPORABNI VIJEK

zahtjev za trajnošću konstrukcije u propisima i normama se daje kao zahtjev da konstrukcija treba dosegnuti određeni broj godina uporabnog vijeka

TEHNIČKI UPORABNI VIJEK

razdoblje tijekom kojega su tehnička svojstva konstrukcije iznad minimalno prihvatljive razine, uz redovito održavanje građevine.

EKONOMSKI UPORABNI VIJEK

dosegnut je kada konstrukcija ne ispunjava zahtjeve s ekonomskog stajališta (iako tehnička svojstva konstrukcije zadovoljavaju)

DEFINICIJE OSNOVNIH POJMOVA

ODRŽAVANJE GRAĐEVINE

podrazumijeva skup aktivnosti usmjerenih na zadržavanje ili ponovno uspostavljanje potrebnih svojstava konstrukcije ili njenih dijelova

PREGLEDI

obuhvaćaju aktivnosti koje se provode s ciljem utvrđivanja trenutnog stanja odnosno ponašanja postojeće konstrukcije.

PREVENTIVNO ODRŽAVANJE

UNAPRIJED DEFINIRANO

provodi periodično, u skladu s prethodno definiranim programom i planom aktivnosti, čak i ako se ne uočavaju bilo kakvi znakovi oštećenja i degradacije konstrukcije

REAKTIVNO

utvrđena značajna narušenost potrebnih svojstava konstrukcije, ali se radi o oštećenjima uz koja je ponašanje konstrukcije još uvijek unutar dopuštenih granica

POPRAVCI

aktivnosti koje imaju za cilj ponovno uspostaviti takvo stanje konstrukcije pri kojem su ispunjeni svi zahtjevi, (svojstva konstrukcije narušena preko dopuštene granice)

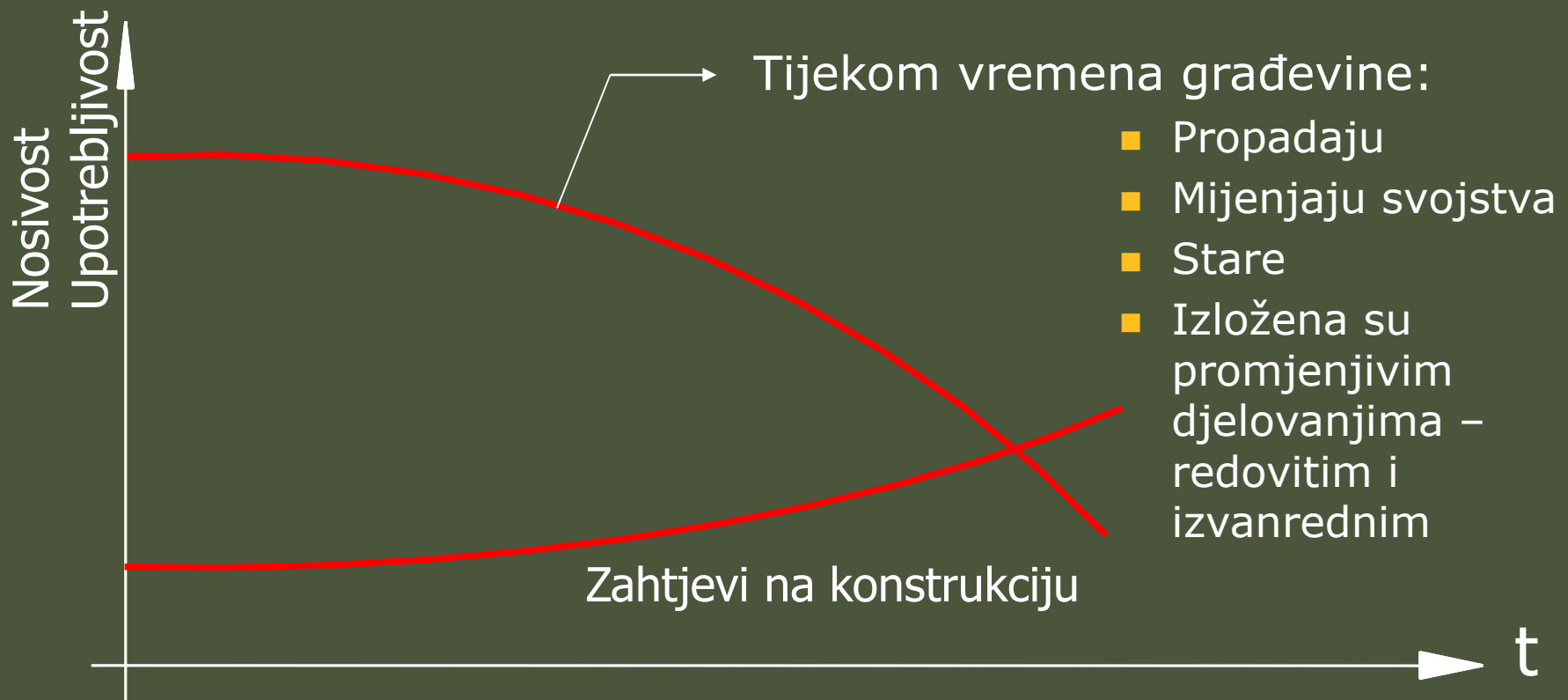
PRIJAŠNJE POIMANJE TRAJNOSTI

- Smatrano da se **TRAJNOST KONSTRUKCIJE** ostvaruje sama po sebi
→ nije pridavana pozornost tom parametru



SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA

- *Promjena svojstava konstrukcije i zahtjeva na konstrukciju tijekom vremena*



SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA



Uzroci propadanja konstrukcija

□ *Utjecaji izvana:*

- Agresivna okolina (vjetar, sol...)
- Djelovanja (promjenjiva, izvanredna)
- ...

□ *Obilježja konstrukcije*

- Konceptija
- Detalji
- Kvaliteta materijala
- ...

+ *Nebriga o konstrukciji tijekom uporabe (neodržavanje)*

Uzroci oštećenja



*Jaki vjetrovi prskaju izložene
dijelove konstrukcije morskom
vodom*

*Salinitet Jadranskog mora:
3.5 – 3.8 % mase vode*

*Vjetar brzine
304 km/h na
Masliškom mostu
(prosinac 2003.)*



*Najveća brzina
vjetra zabilježena
u Europi*



Uzroci oštećenja



Uzroci oštećenja

Loše rješenje detalja
oslanjanja glavnih nosača

GLAVNI NOSAČ

LEŽAJNA GREDA

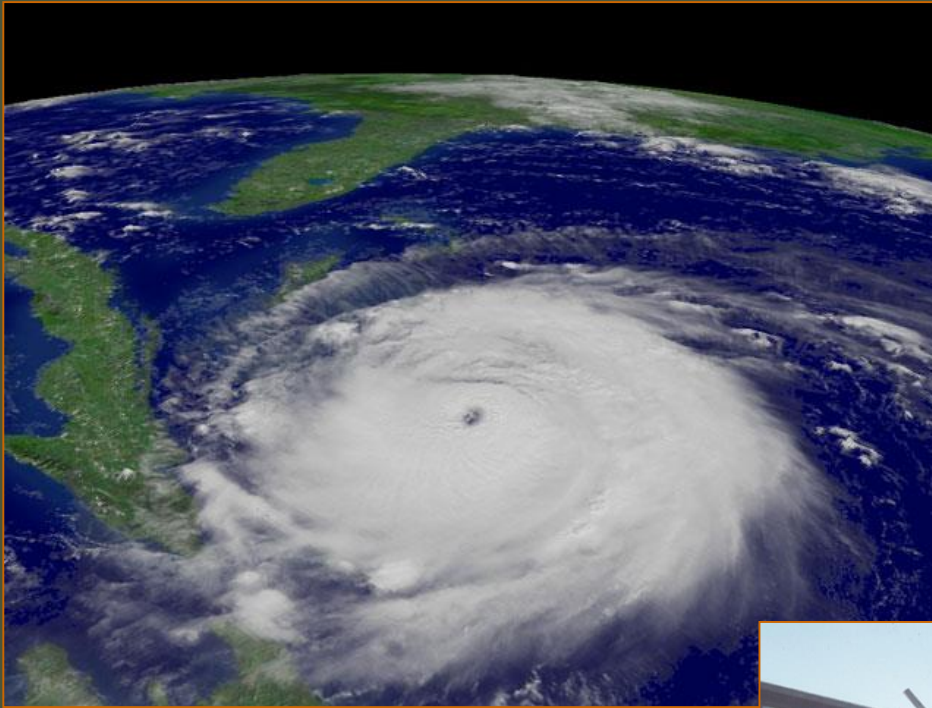
Korozija armature, agresivan
okoliš –
mali zaštitni sloj betona

Korozija prednapetih
kabela,
agresivan okoliš –
mali zaštitni sloj
betona

Uzroci oštećenja



Uzroci oštećenja



Florida, 2004.



Uzroci oštećenja

Uragan Katrina, 2005.



Uzroci oštećenja



Uragan Katrina, 2005.



Uzroci oštećenja



Uragan Katrina, 2005.

Uzroci oštećenja



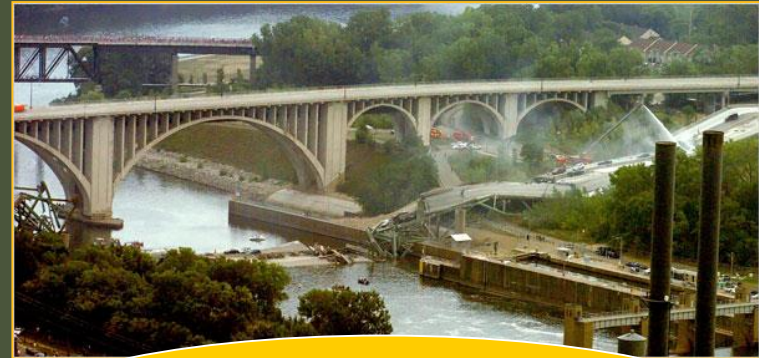
Kobe, Japan, 1995.

Uzroci oštećenja



Kina, 2007.

Uzroci oštećenja (neprimjereni proračun)



Minneapolis, SAD, 2007.



Uzroci oštećenja (pogreške pri izvođenju)



Kina, 2007.

Uzroci oštećenja (nedovoljna nosivost skele)



Vijetnam, 2007.

SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA

*Osim zadatka nosivosti i upotrebljivosti,
bitan kriterij trajnost!*

- U znanosti se ta činjenica u zadnje vrijeme sve jasnije spoznaje:
 - Od 1960. brojni skupovi i kongresi
 - ...

SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA

GRANIČNA STANJA



NOSIVOSTI

- *Gubitak ravnoteže konstrukcije*
- *Otkazivanje konstrukcije zbog velikih deformacija, pretvaranje konstrukcije u mehanizam, pucanje, gubitak stabilnosti konstrukcije*
- *Propadanje zbog zamora ili drugih učinaka zavisnih o vremenu*

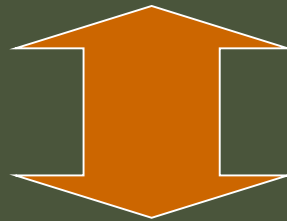


UPORABLJIVOSTI

- *Deformacije i pomaci koji utječu na izgled, upotrebu konstrukcije, ili su uzrok štete na završnim radovima ili nenosivim elementima*
- *Titranja koja izazivaju nelagodu ljudi, štete na konstrukciji/gradivu, ograničavaju funkcioniranje*
- *Štete koje kvare izgled, smanjuju trajnost, ometaju funkcioniranje konstrukcije, uočljive štete uslijed zamora ili nekih drugih čimbenika ovisnih o vremenu*

SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA

- Graničnim stanjima uporabljivosti (ograničenje naprezanja – raspucavanja, ograničenje širina pukotina) posredno se osigurava trajnost konstrukcije



- Osiguranjem trajnosti konstrukcije osigurava se uporabljivost, ali i utječe na nosivost, koja može biti ugrožena njezinim propadanjem

SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA

■ *NEDOVOLJNA TRAJNOST GRAĐEVINA*

- gorući problem gospodarenja građevinama
- Zahtijeva ulaganje ogromnih finansijskih sredstava da bi se zadržala sigurnost i uporabljivost konstrukcija

■ *OVAKVO STANJE UGLAVNOM POSLJEDICA (jedno od ili češće kombinacija)*

- nedovoljna pozornost posvećena pitanju trajnosti u projektu konstrukcije
- nedovoljna pozornost posvećena pitanju trajnosti tijekom izvođenja konstrukcije
- neredovito održavanje ili njegov potpuni izostanak tijekom uporabe konstrukcije

SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA

□ *PROPISI*

- Određivanje parametara

□ *Načini ostvarenja: PROBABILISTIKA I VJEROJATNOST*



U KONSTRUKCIJI

U DJELOVANJIMA

- Predskazivanje
- Očekivana djelovanja

□ *GOSPODARSKI ČINITELJI*

□ *ZNAČAJ (STUPNJEVITOST) GRAĐEVINA*

SUVREMENI PRISTUP TRAJNOSTI GRAĐEVINA

VIESTI DRUŽTVA INŽINIRA I ARHITEKTA.



(broj 1. od 1891. g.):

- *«Monier je u Parizu gradio vodospreme tako da je oko željeznih rešetaka ovijao mort ili beton od najboljeg cementa i dobivao tijelo koje ima izvanrednu čvrstoću, te može stoga taj sistem od velike važnosti u budućnost biti, ako se budu trajnim i pokazale dotične gradnje».*

TRAJNOST KONSTRUKCIJA I



- 2 -

PROJEKTIRANJE
TRAJNOSTI

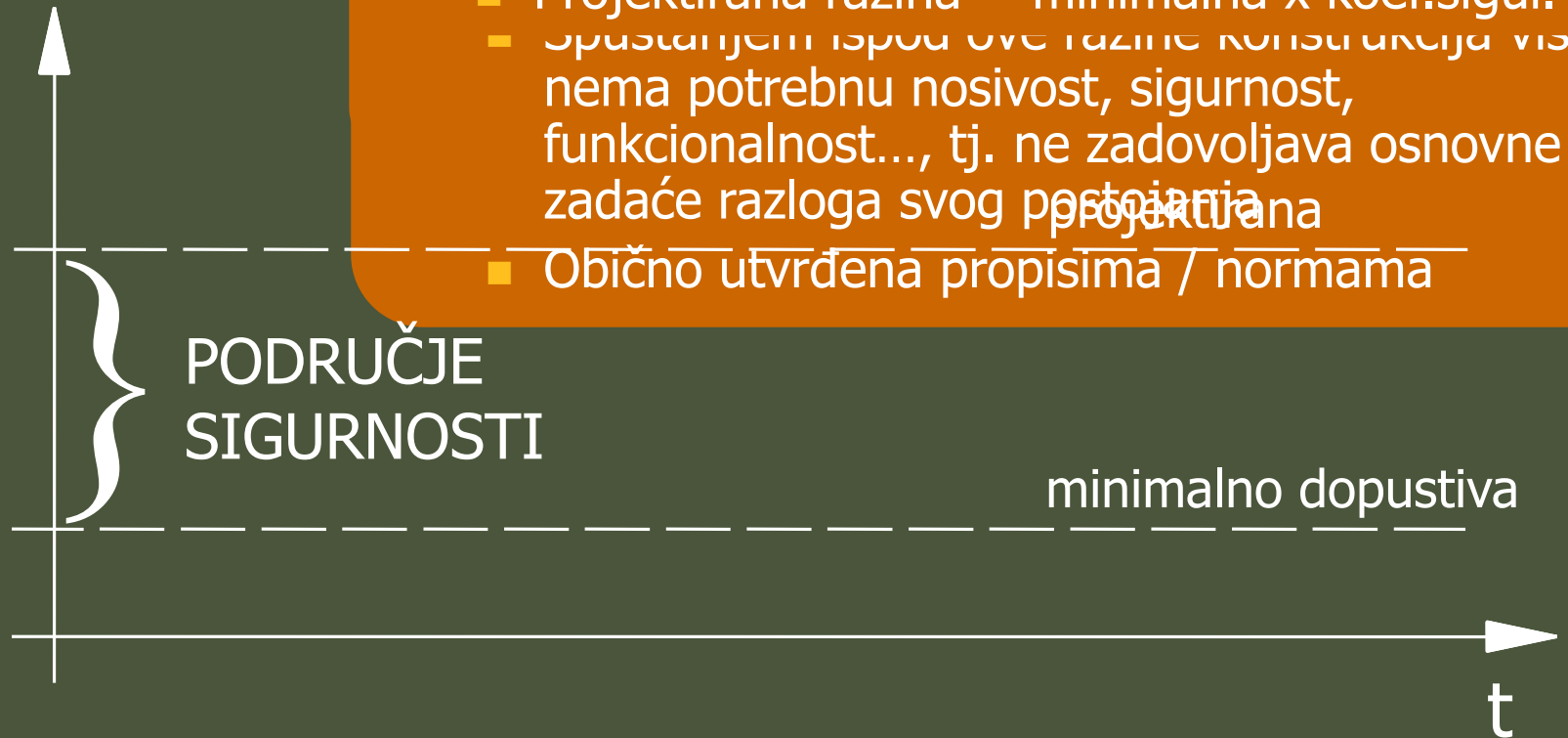
PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI

- Promatraju se skupine **odlučnih svojstava**



PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI

svojstvo (A)

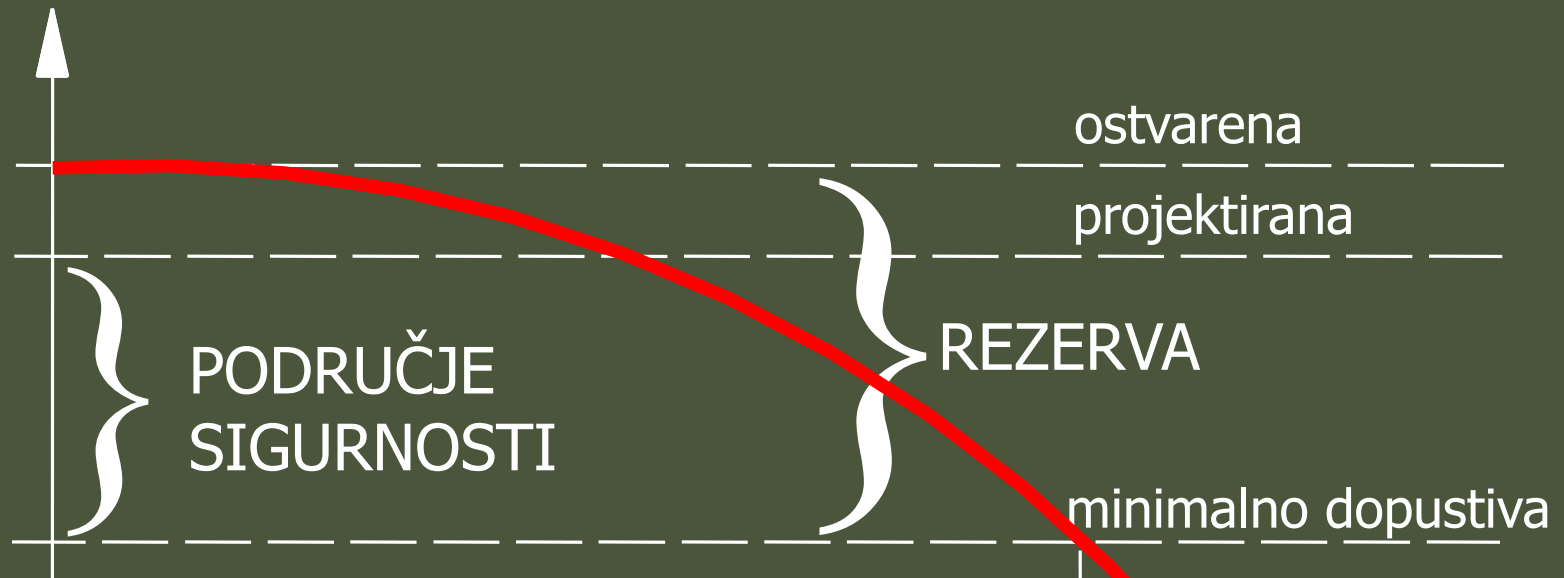


□ *Područje sigurnosti*

- Projektirana razina = minimalna x koef.sigur.
- Spuštanjem ispod ove razine konstrukcija više nema potrebnu nosivost, sigurnost, funkcionalnost..., tj. ne zadovoljava osnovne zadaće razloga svog postojanja
- Obično utvrđena propisima / normama

PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI

svojstvo (A)



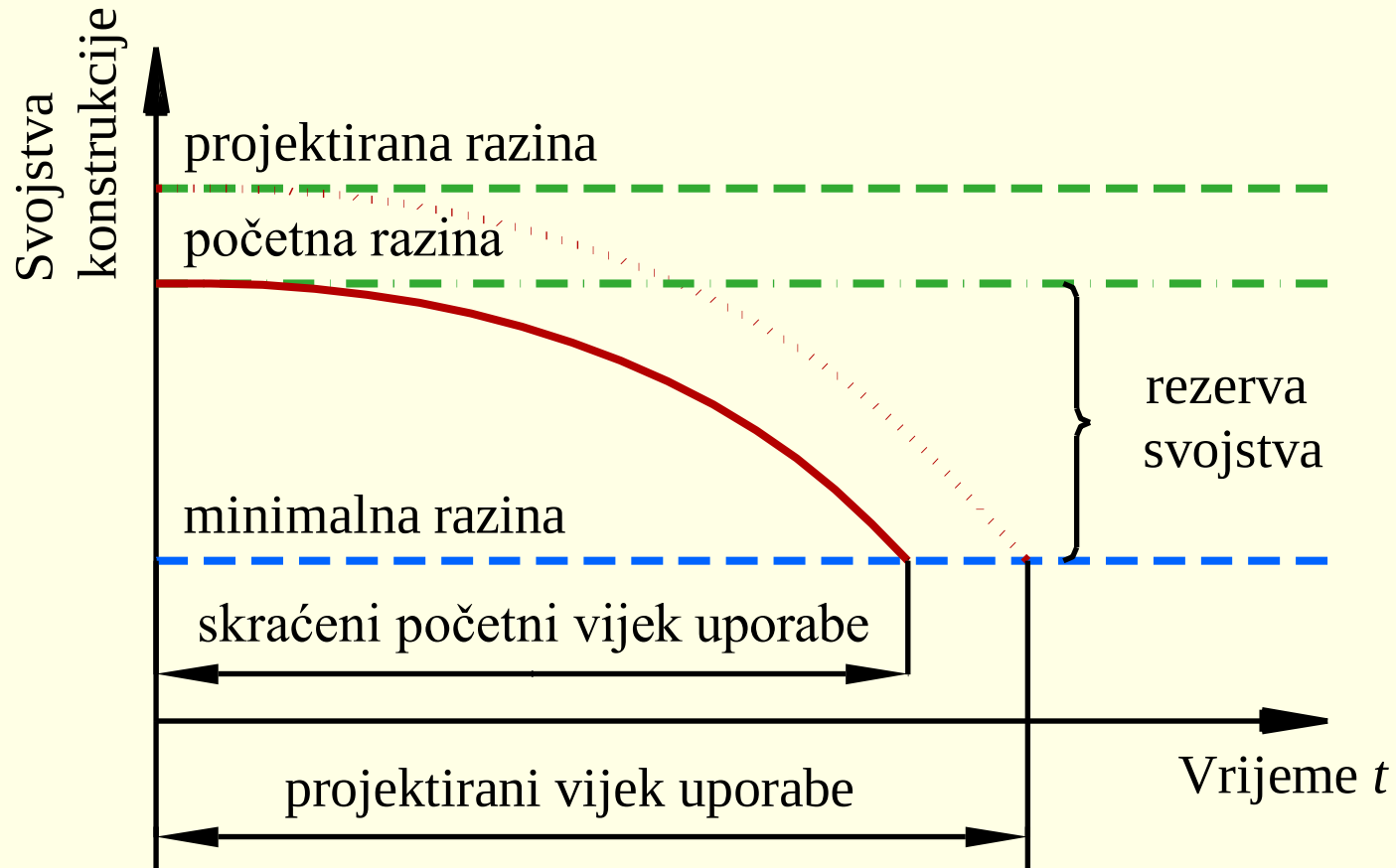
□ *Rezerva svojstva*

- Razlika između ostvarene početne razine i minimalne dopustive razine
- Obično nejednake za različita svojstva
- Pokrivaju različite nepoznanice (o svojstvima konstrukcije, djelovanjima i sl.)

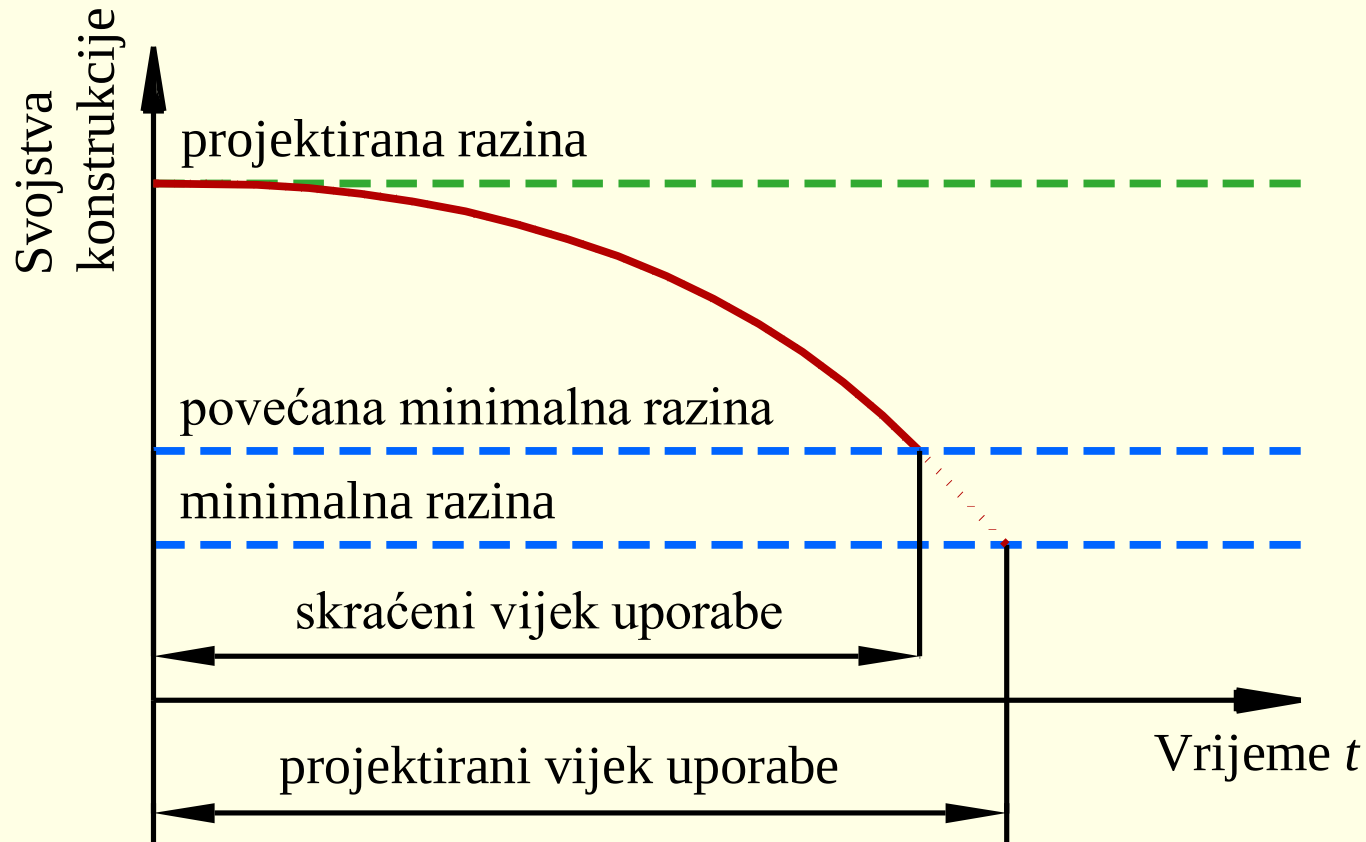
PROMJENA SVOJSTAVA TIJEKOM UPORABNOG VIJEKA

- *Uporabni vijek* odnosno *trajnost* ovisi o:
 - Rezervi odlučnog svojstva u odnosu na minimalnu razinu
 - Brzini degradacije, odnosno:
 - kvaliteti gradiva
 - podložnosti propadanju
 - trošenju
 - Incidentima
 - Atmosferskim utjecajima
 - Održavanju
 - ...

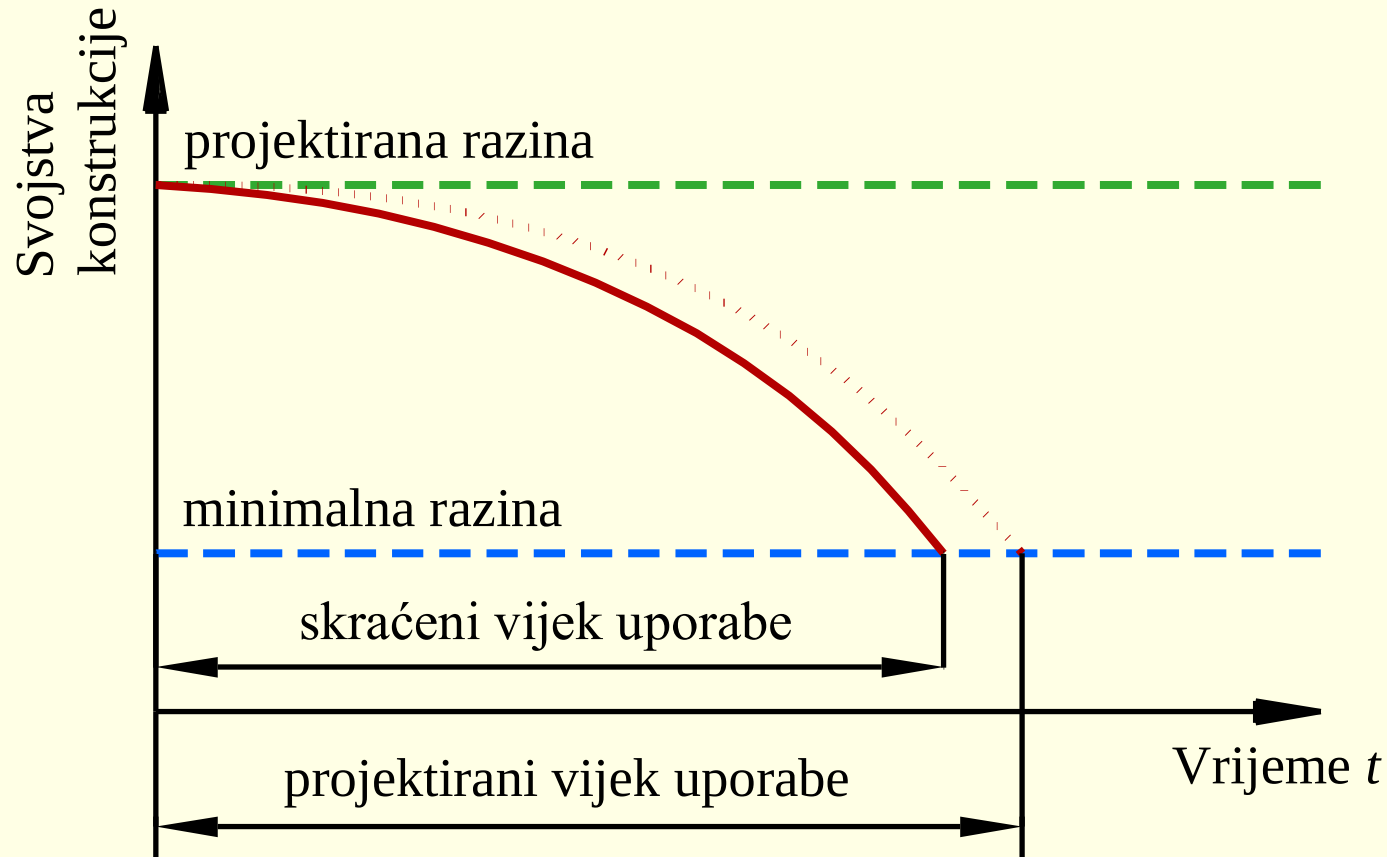
PROMJENA SVOJSTAVA TIJEKOM UPORABNOG VIJEKA



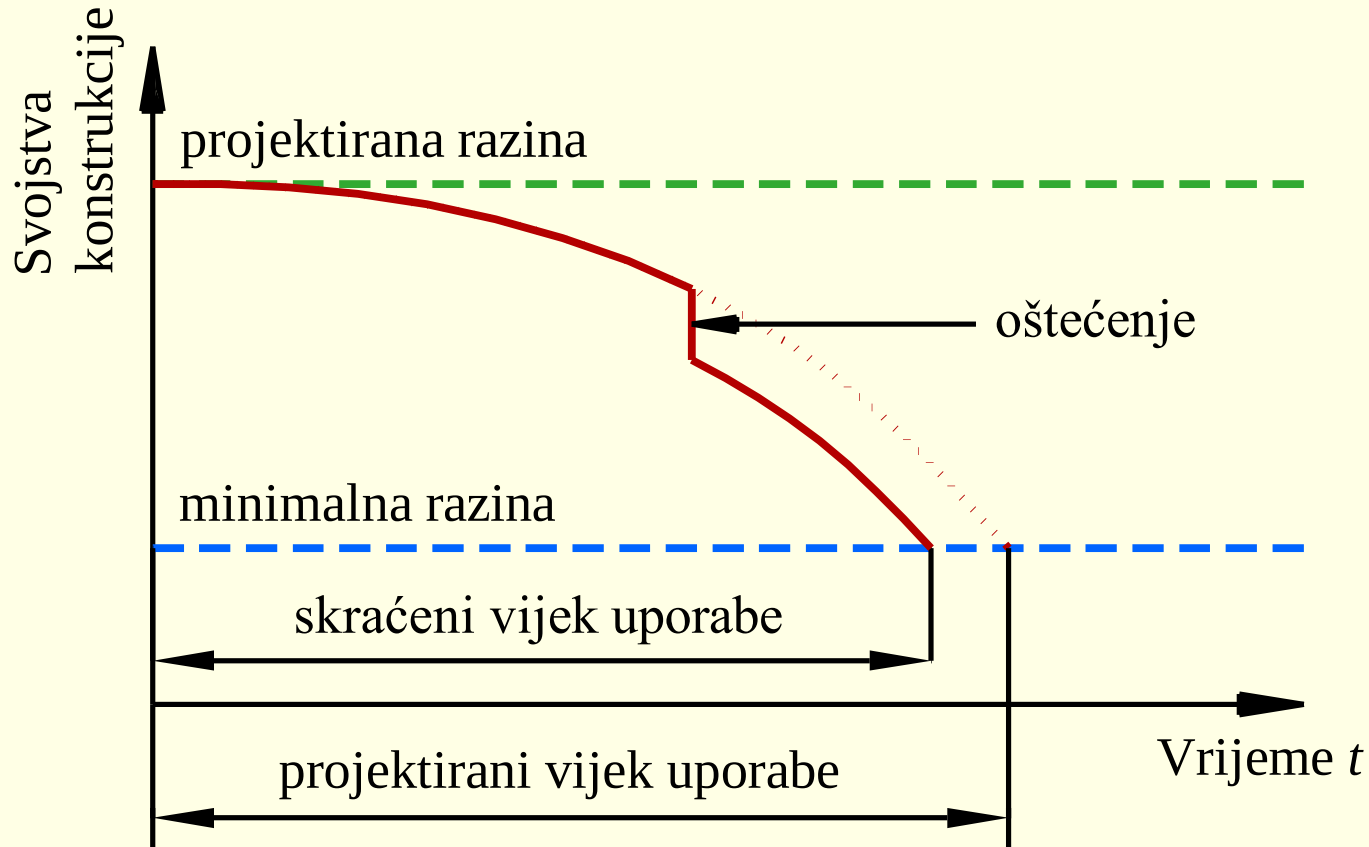
PROMJENA SVOJSTAVA TIJEKOM UPORABNOG VIJEKA



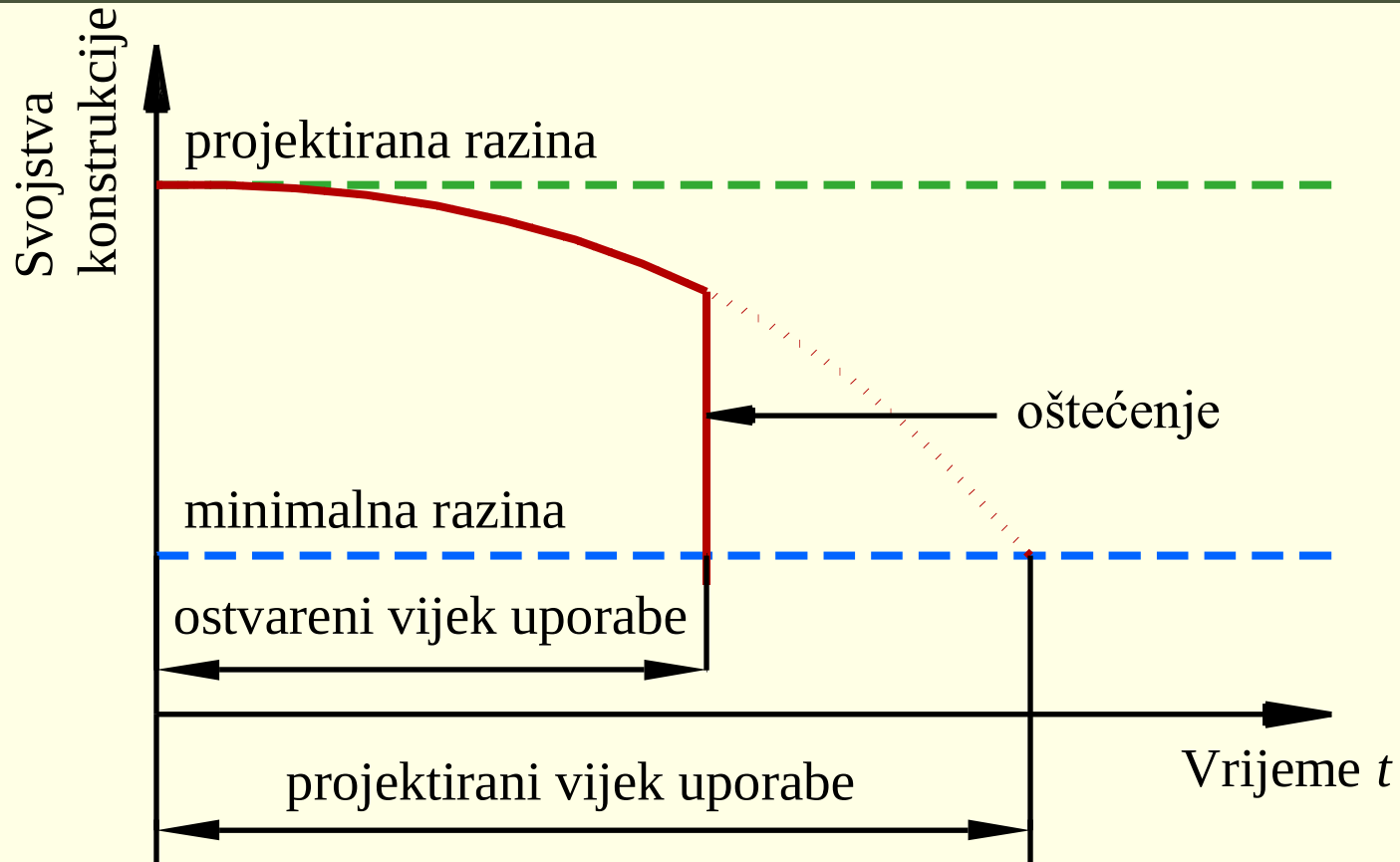
PROMJENA SVOJSTAVA TIJEKOM UPORABNOG VIJEKA



PROMJENA SVOJSTAVA TIJEKOM UPORABNOG VIJEKA



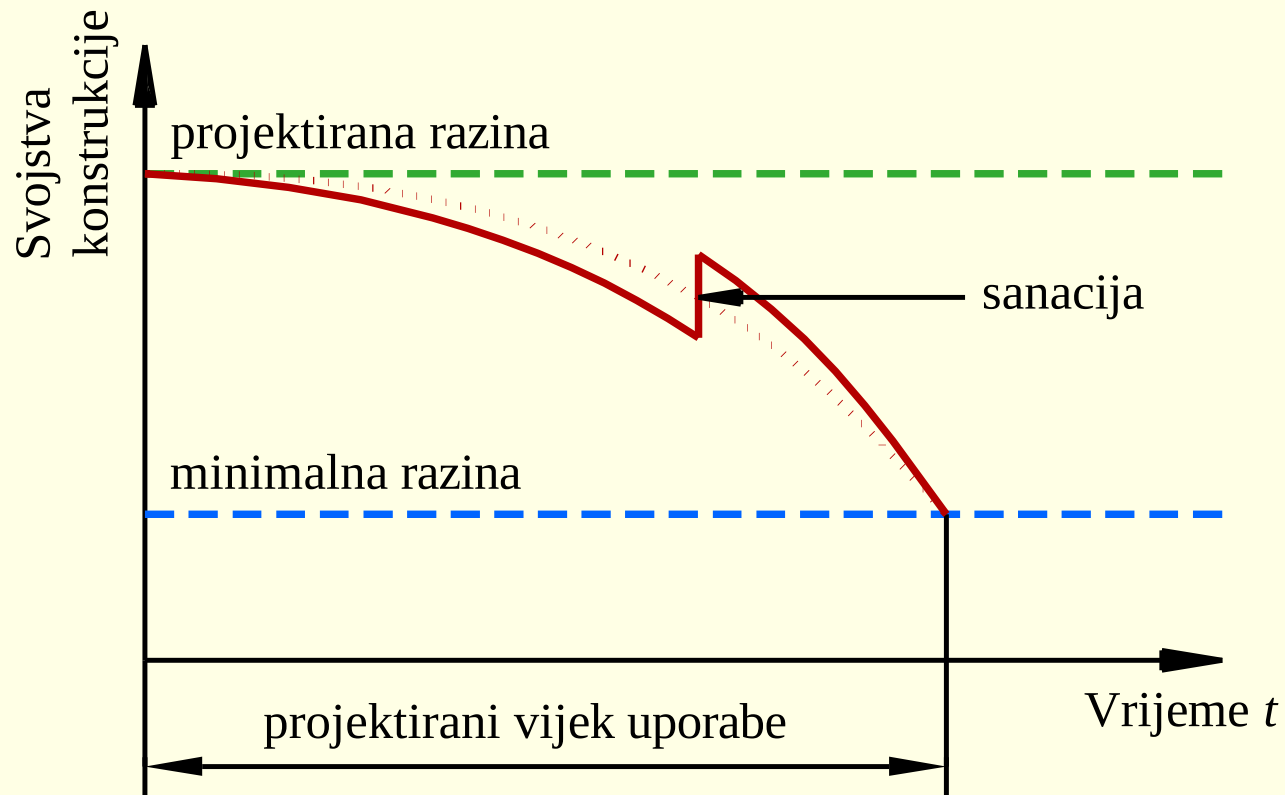
PROMJENA SVOJSTAVA TIJEKOM UPORABNOG VIJEKA



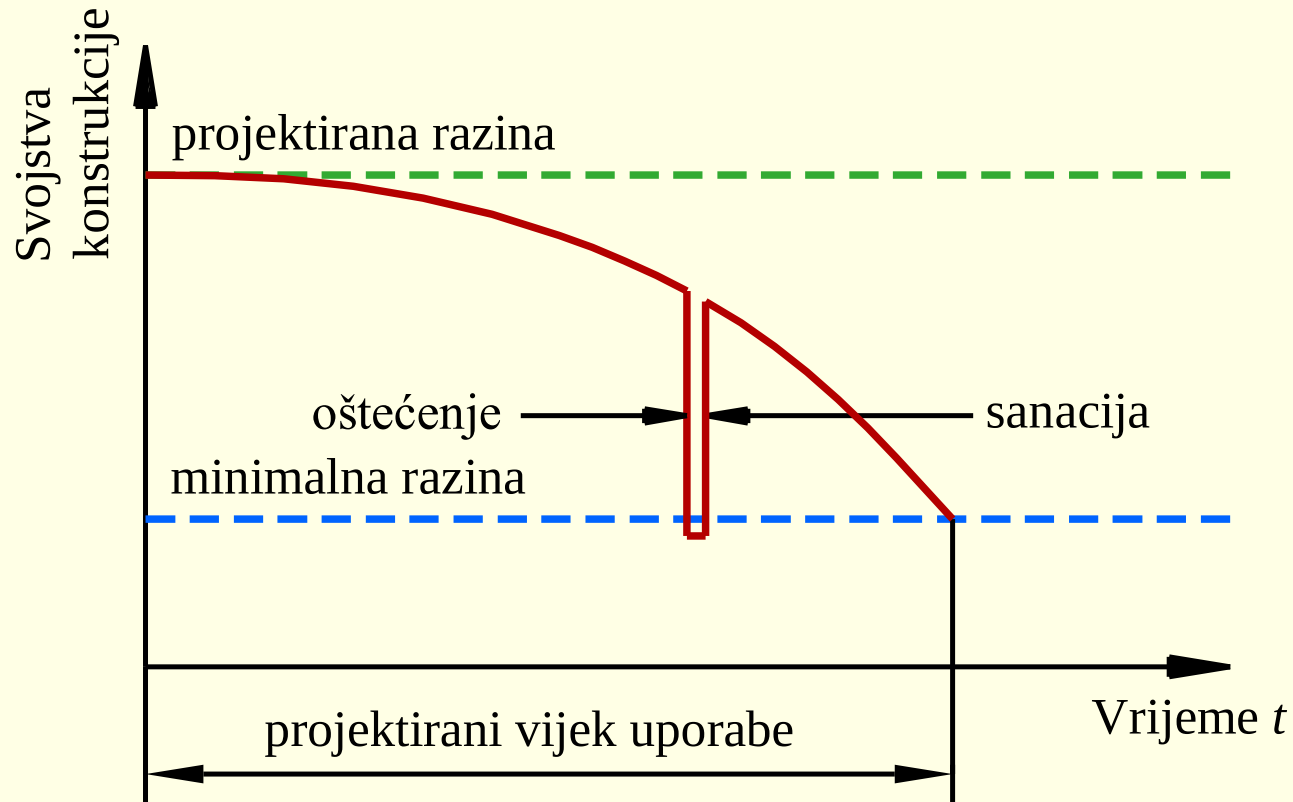
svojstvo (A)



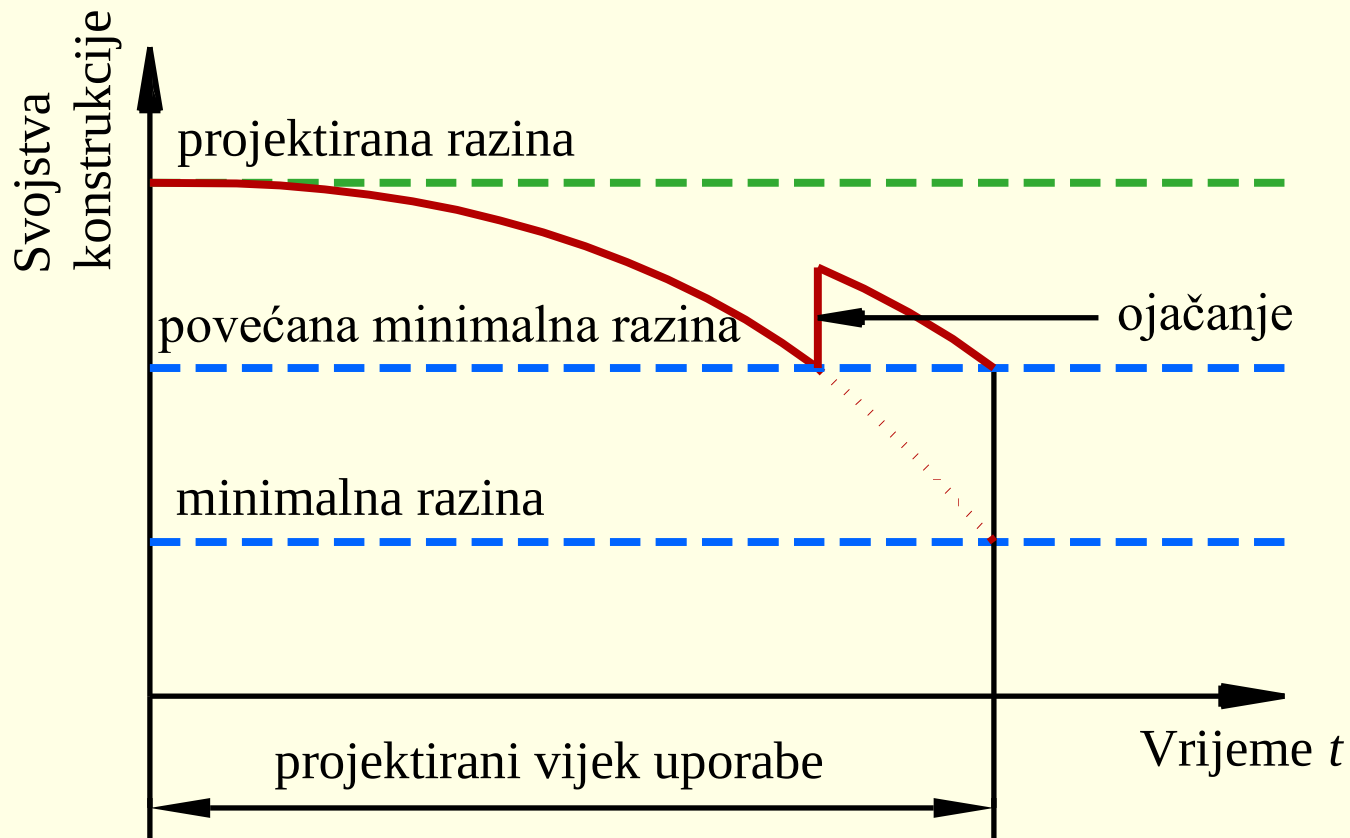
PRODULJENJE UPORABNOG VIJEKA



PRODULJENJE UPORABNOG VIJEKA



PRODULJENJE UPORABNOG VIJEKA



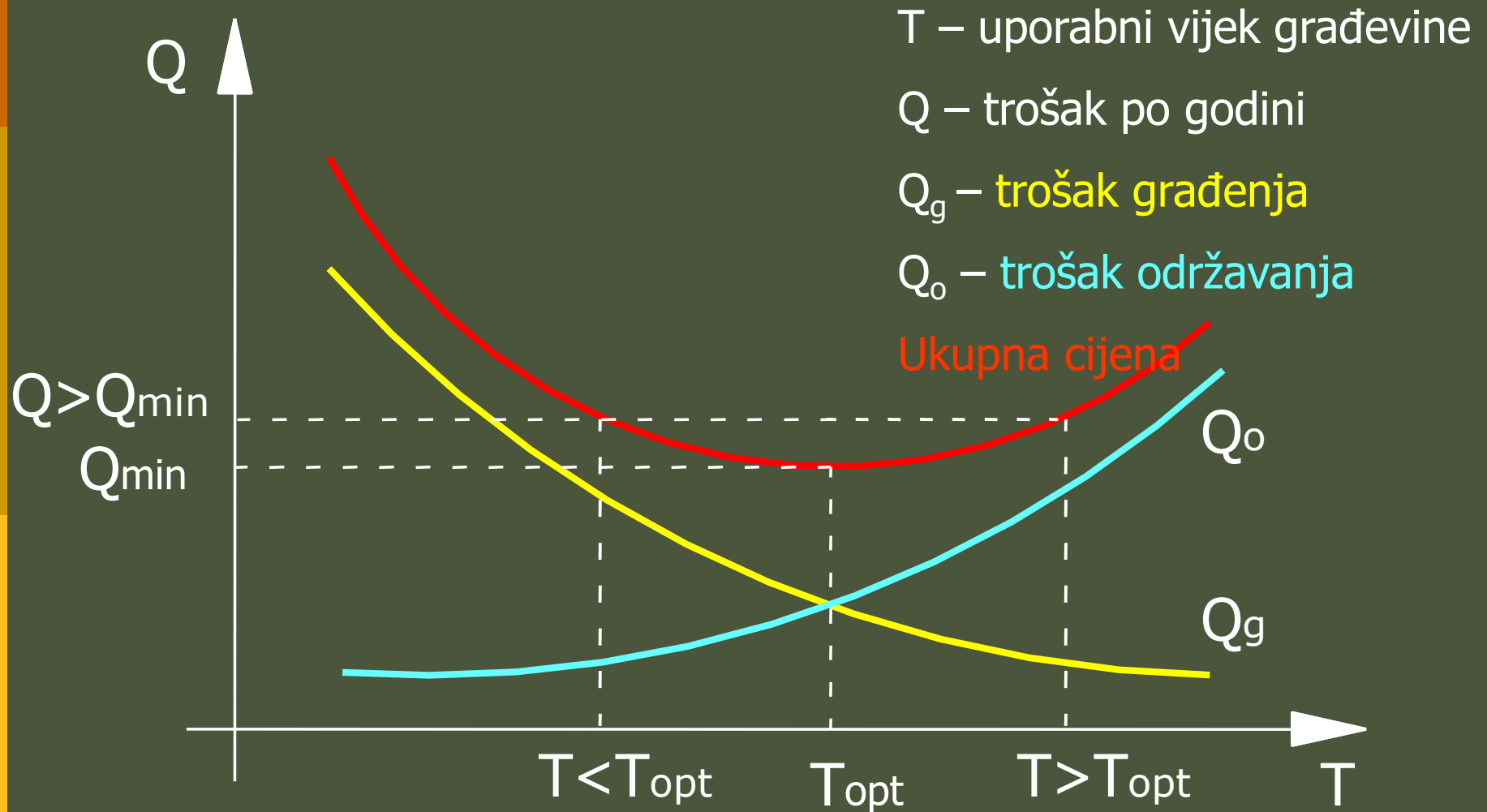
OPTIMALNA TRAJNOST

- *Kako dugo se isplati popravljati neku konstrukciju?*
 - Teorijski moguće intervencijama unedogled produžavati trajnost konstrukcije – pitanje ekonomske opravdanosti!
- Ukupna cijena građevine postaje osnovna kategorija:

TROŠKOVI GRAĐENJA

TROŠKOVI ODRŽAVANJA

OPTIMALNA TRAJNOST



OPTIMALNA TRAJNOST

- ❑ Prethodni grafikon – *optimalna trajnost s ekonomskog gledišta*
- ❑ Mogu se promatrati i drugi parametri:
 - Promet (uporaba građevine)
 - Troškovi korisnika
 - Utjecaj na druge građevine
 - Utjecaj na okolinu
 - Trošak nekorištenja građevine
 - Trošak uklanjanja
 - Mogućnost reciklaže
 - ...

Dodatne
krivulje u
prethodnom
grafikonu

OPTIMALNA TRAJNOST

■ CILJ

- *Da projektirana trajnost bude optimalna*
- Povratan proces:
uz zanemarenje incidenata
i nepredviđenih radova
održavanja postići takva svojstva i rezerve da se uporabni vijek poklopi s optimalnom trajnošću



STRATEGIJE PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI

A provodi se izbjegavanjem prijetećeg razaranja u skladu s vrstom i agresivnosti okoliša



A.1: Promijeniti mikro-okolinu, npr. pomoću izolacije, membrana, premaza

A.2: Odabrati nereaktivne ili inertne materijale: armatura od nehrđajućeg čelika, nereaktivne agregate, cemente otporne na sulfate, cemente niskog alkaliteta

A.3: Spriječiti reakcije, npr. katodnom zaštitom. U ovu kategoriju se također ubraja i izbjegavanje smrzavanja uvlačenjem zraka

B provodi se odabirom optimalnog sastava materijala i konstrukcijskih detalja za otpor razaranju koje prijeti



Različite vrste intervencija i kombinacije metoda



odabir odgovarajućeg c i mješavine betona + odgovarajuća izvedba detalja

RAZVOJ PRISTUPA PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI

- ❑ 1. generacija : SMATRA SE DA ZADOVOLJAVA
"Deem-to-satisfy"
- ❑ 2. generacija : ZAŠTITA U VIŠE FAZA
"Multi-barrier approach"
- ❑ 3. generacija : METODA ZASNOVANA NA
VJEROJATNOSTI

Projekt trajnosti 1. generacije

- “Smatra se da zadovoljava” predviđeni vijek uporabe, ako se ispune zahtjevi
 - Vrste cementa
 - Količine cementa
 - Vodocementni faktor
 - Primijenjena njega
 - Ograničenje širine pukotina
- Zahtjevi su definirani u propisima ili normama, a ovise o pretpostavljenoj agresivnosti okoliša

Projekt trajnosti 2. generacije

- ❑ Zaštita u više faza odnosno pomoću više “barijera” – sastoji se u inteligentnom odabiru odgovarajućeg broja i vrsta mjera zaštite
- ❑ Postupak:
 - Identificirati vrstu i agresivnost okoliša
 - Predvidjeti moguće djelovanje i nakupljanje agresivnih tvari
 - Odrediti glavne mehanizme transporta i koji parametri kontroliraju te mehanizme (prodiranje, difuzija, kapilarno upijanje)
 - Odabrati barijere koje mogu zajednički raditi na usporavanju ili sprječavanju transporta i nakupljanja agresivnih tvari

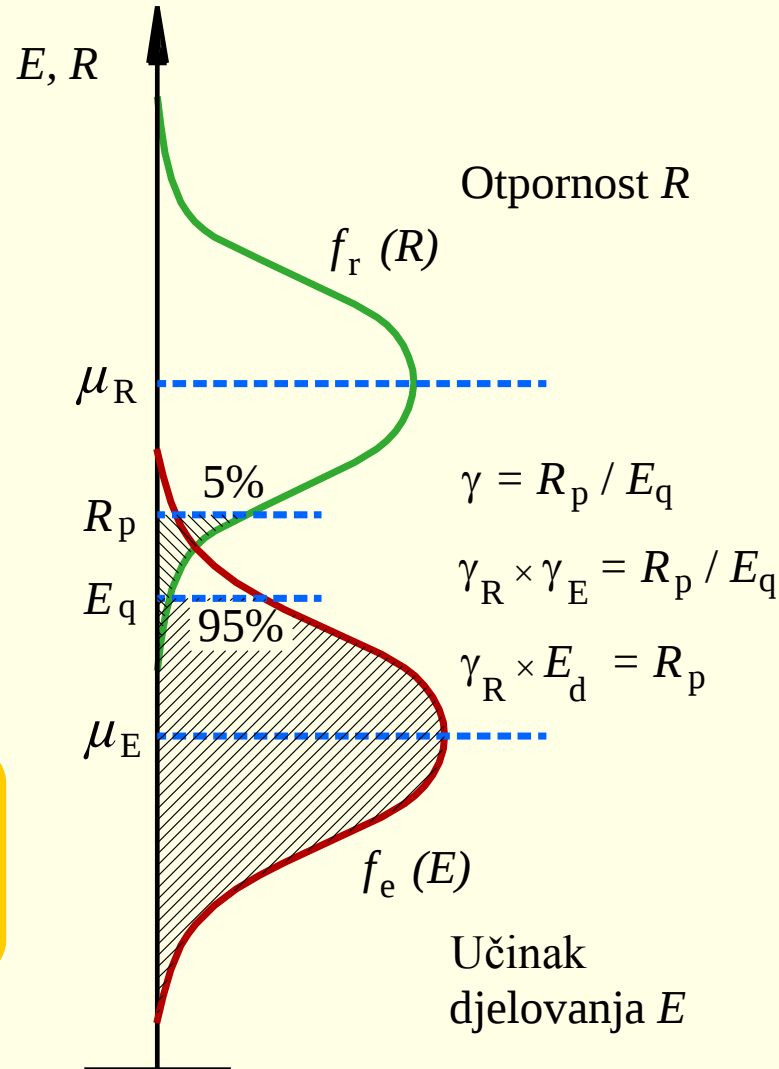
Projekt trajnosti 3. generacije

- Osnovna metodologija sastoji se u primjeni teorije vjerojatnosti i pouzdanosti
- Ovakav postupak međunarodno priznat i primjenjuje se već desetljećima pri projektiranju sigurnosti konstrukcija
- No, čimbenici koji utječu na trajnost i ponašanje konstrukcije tijekom čitavog vijeka uporabe, tek se odnedavna razvijaju na sličan način

Projekt trajnosti 3. generacije

- U čemu se sastoji?
 - Mehanizmi transporta i razaranja konstrukcija promatraju se i modeliraju na probabilističkoj razini i kao takvi uvode u opći projekt konstrukcije
- Postupak u potpunosti izjednačen s proračunom čvrstoće: koeficijenti *sigurnosti* predstavljaju društveno prihvatljivu razinu pouzdanosti projektiranja konstrukcije

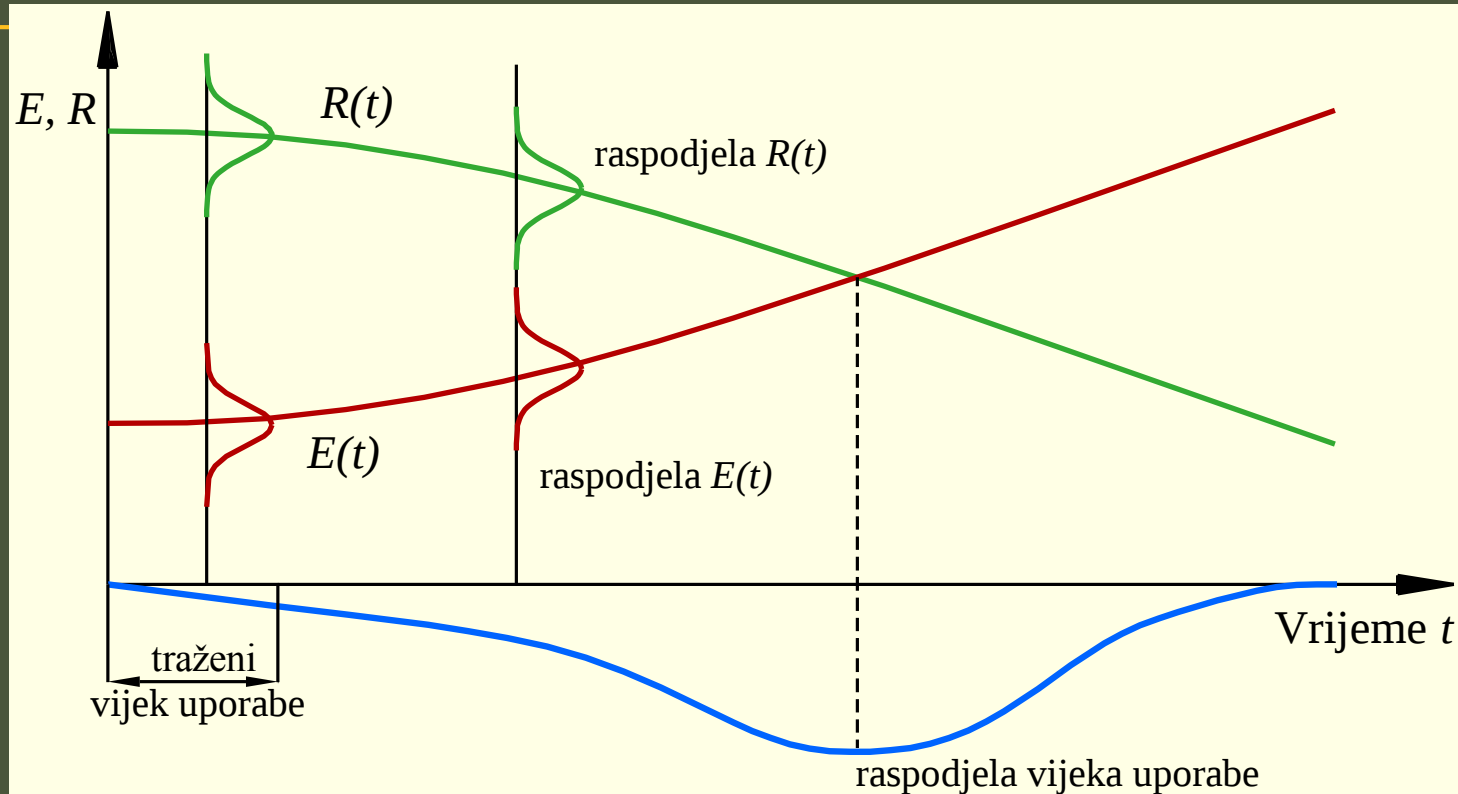
OSNOVE I PREDNOSTI PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA



*Probabilističko
poimanje pouzdanosti
konstrukcija*

OSNOVE I PREDNOSTI PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA

Projektiranje
vijeka
uporabe



$R(t)$ - funkcija degradacije promatranog svojstva u vremenu

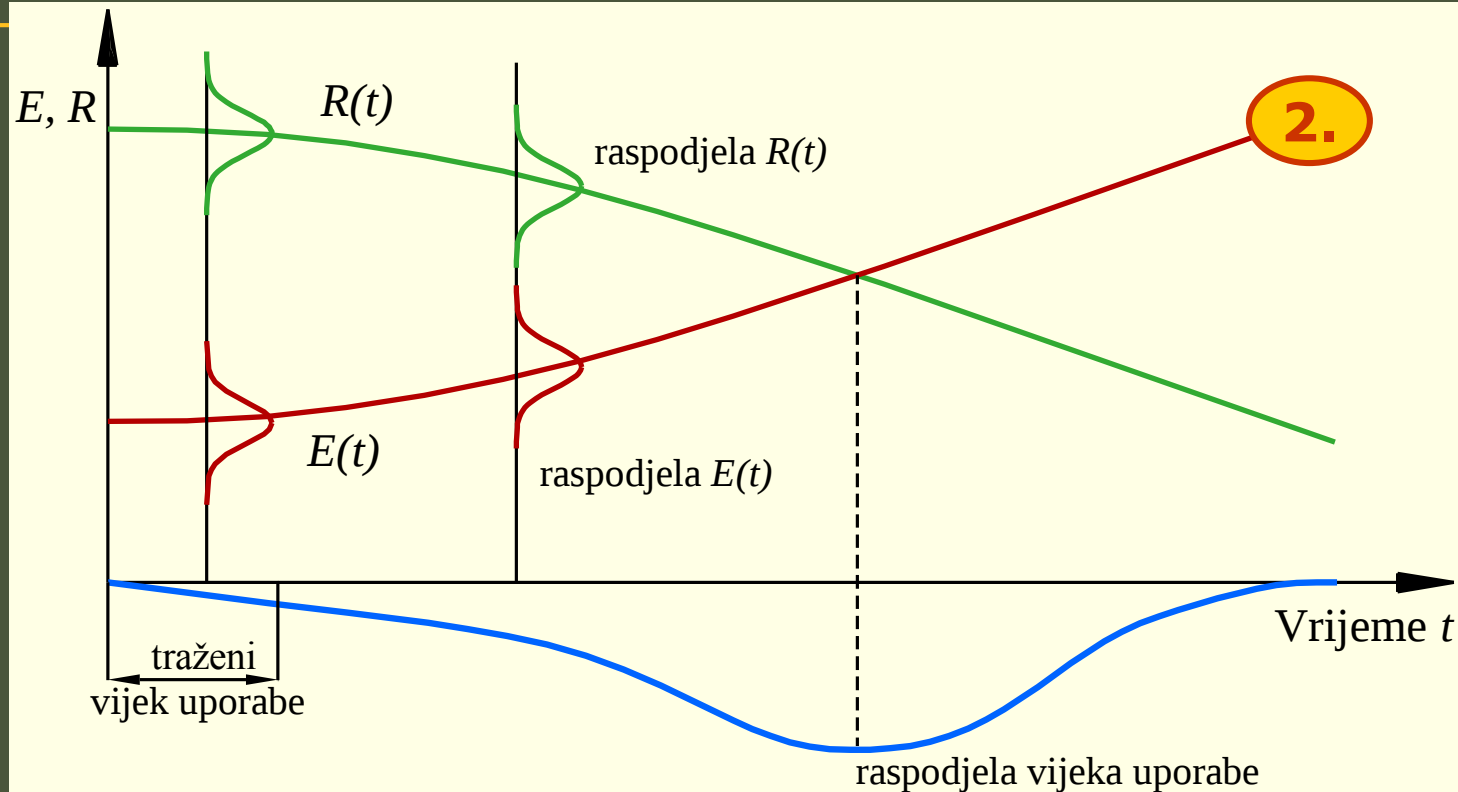
$E(t)$ - funkcija promjene minimalno zahtjevano razine dotičnog svojstva

1.

Utvrđiti projektiranu trajnost (na temelju optimalne tr., izučavanja uvjeta okoliša, monumentalnosti i značaja građevine, prognoze djelovanja

OSNOVE I PREDNOSTI PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA

Projektiranje
vijek
uporabe



$R(t)$ - funkcija degradacije promatranog svojstva u vremenu

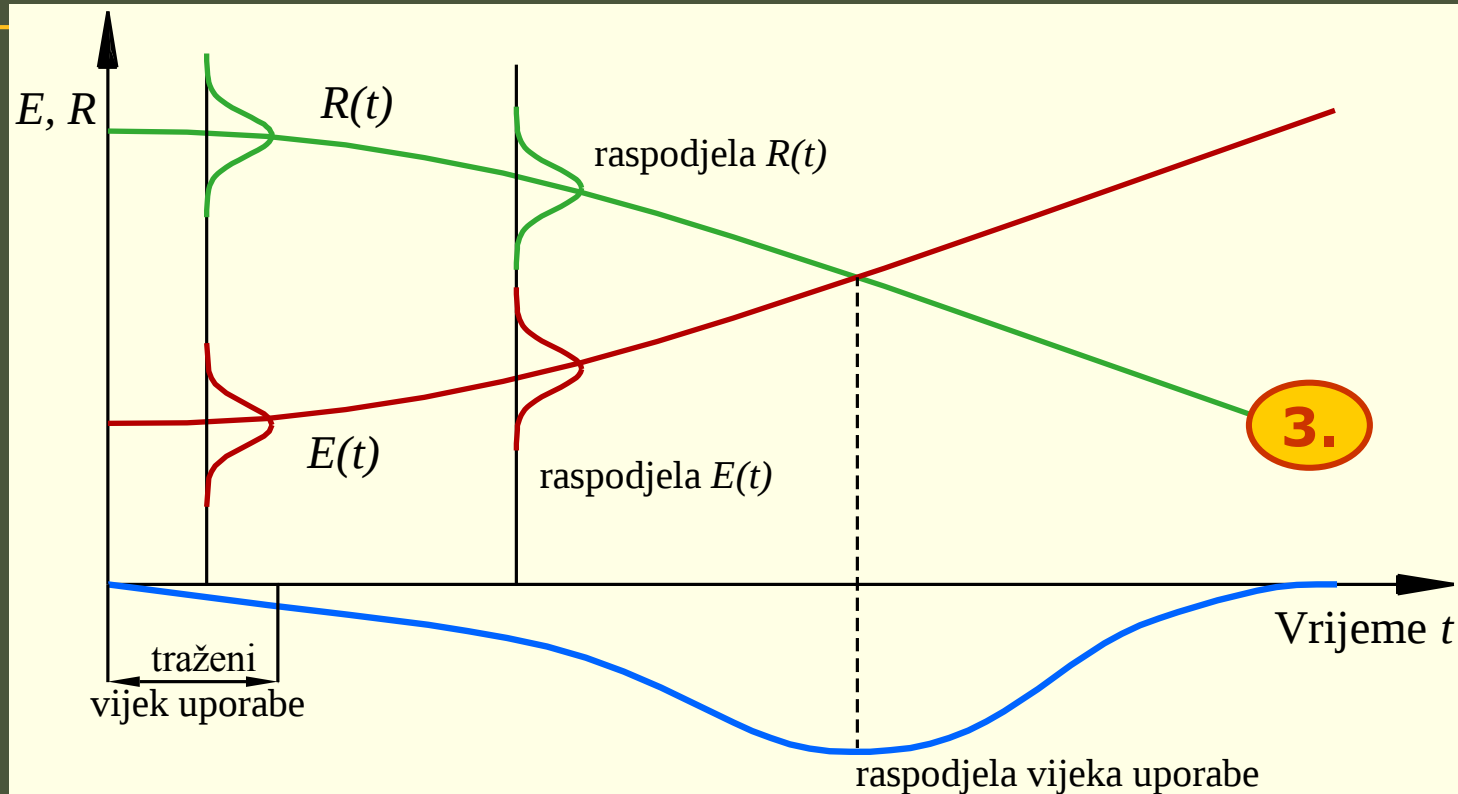
$E(t)$ - funkcija promjene minimalno zahtjevane razine dotičnog svojstva

2.

Definirati minimalno dopustiva razina promatranog svojstva nosivosti ili uporabljivosti i prognozirati njen razvoj u budućnosti

OSNOVE I PREDNOSTI PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA

Projektiranje
vijek
uporabe



$R(t)$ - funkcija degradacije promatranog svojstva u vremenu

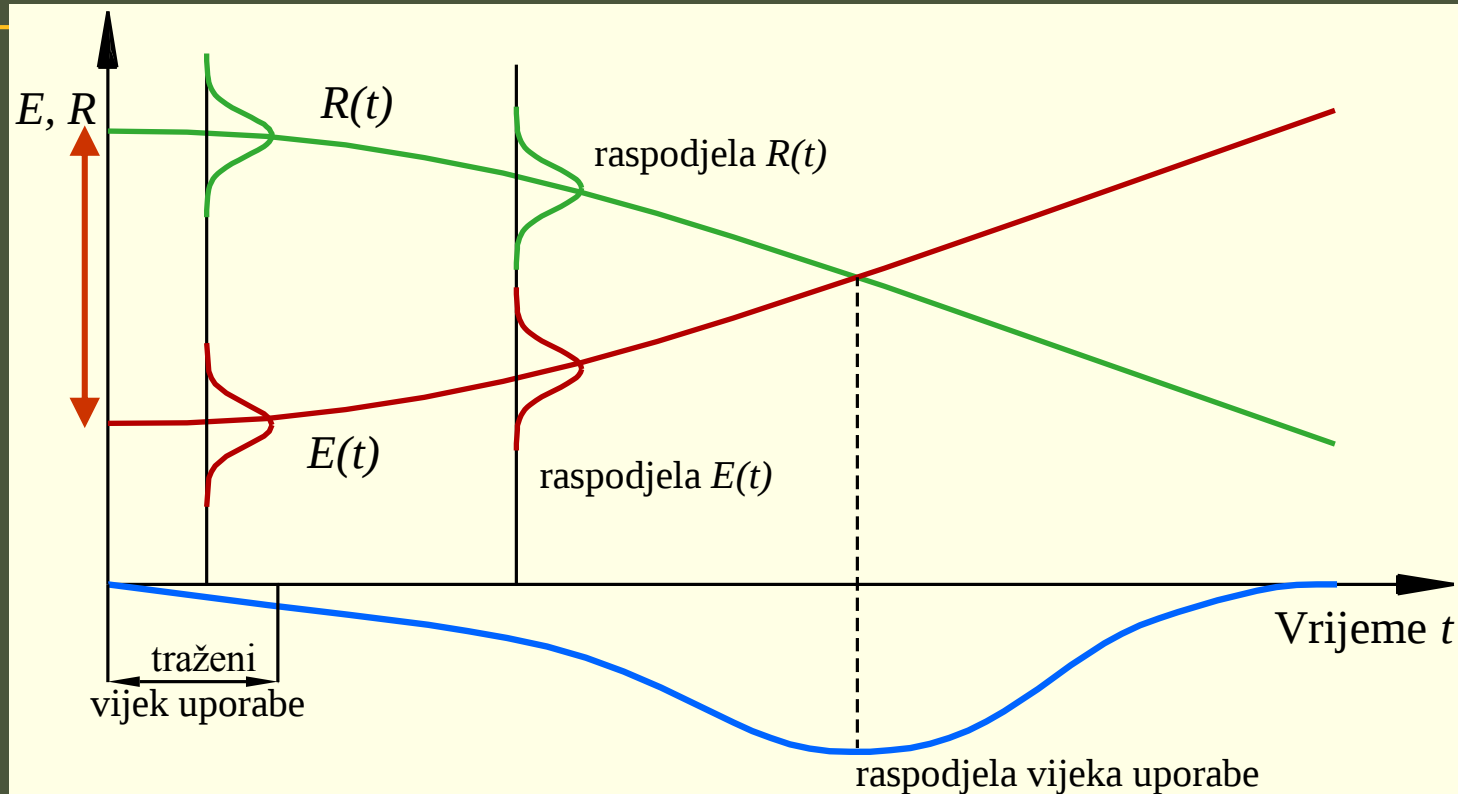
$E(t)$ - funkcija promjene minimalno zahtjevano razine dotičnog svojstva

3.

na temelju iskustva o ponašanju gradiva, detalja i sustava
definira se linija degradacije promatranog svojstva

OSNOVE I PREDNOSTI PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA

Projektiranje
vijeka
uporabe



$R(t)$ - funkcija degradacije promatranog svojstva u vremenu

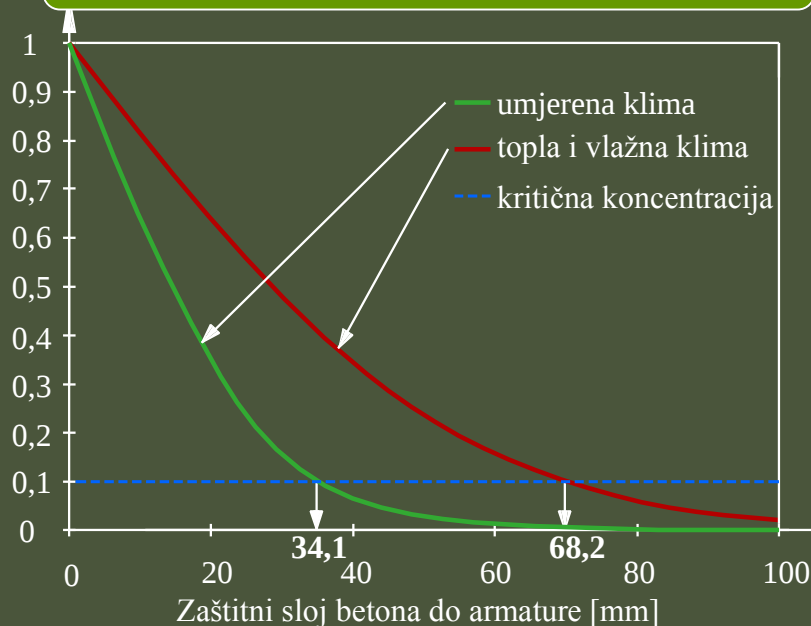
$E(t)$ - funkcija promjene minimalno zahtjevano razine dotičnog svojstva

4.

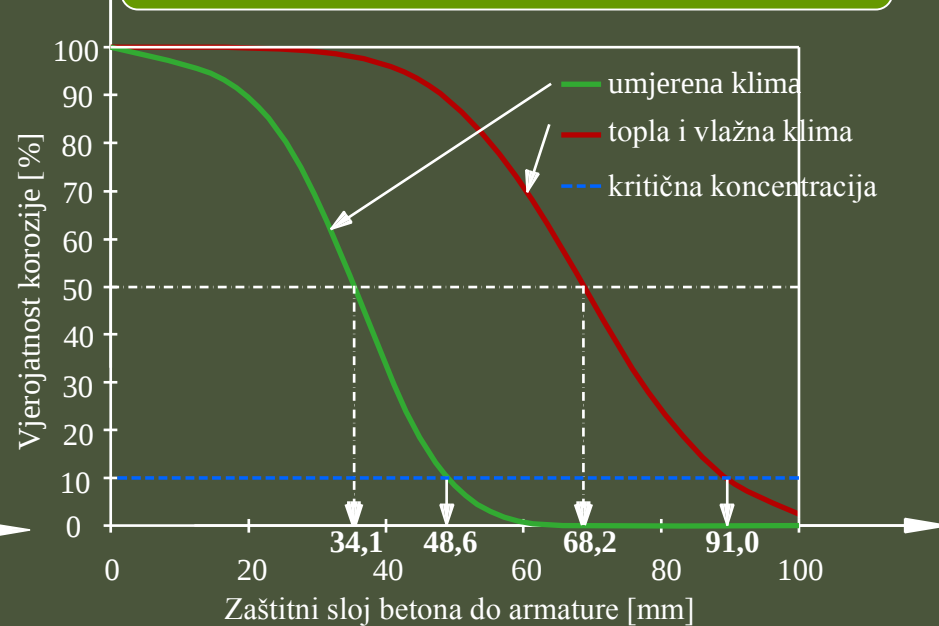
određuje se potrebna razina promatranog svojstva $R-E$ za $t = 0$, uzimanjem u obzir raspodjelu vjerojatnosti uporabnog vijeka

OSNOVE I PREDNOSTI PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA

Deterministički pristup



Probabilistički pristup



Ab konstrukcija: za osiguranje vijeka uporabe T od 50 godina, uz pretpostavku granične vrijednosti klorida

Deterministički pristup daje samo 50%-tnu vjerojatnost doseganja T bez korozije

Ako smatramo prihvatljivom samo 10 %-tnu vjerojatnost početka korozije prije 50 g, zahtijeva se znatno veći zaštitni sloj

ZAKLJUČNO

- Projektiranje trajnosti nije ograničeno samo na uobičajeno granično stanje nosivosti i uporabljivosti, već uključuje procese degradacije
 - mehaničke,
 - klimatske
 - kemijsko-tehnološke,
 - ili biološke prirode.

*SLJEDEĆE
PREDAVANJE*