

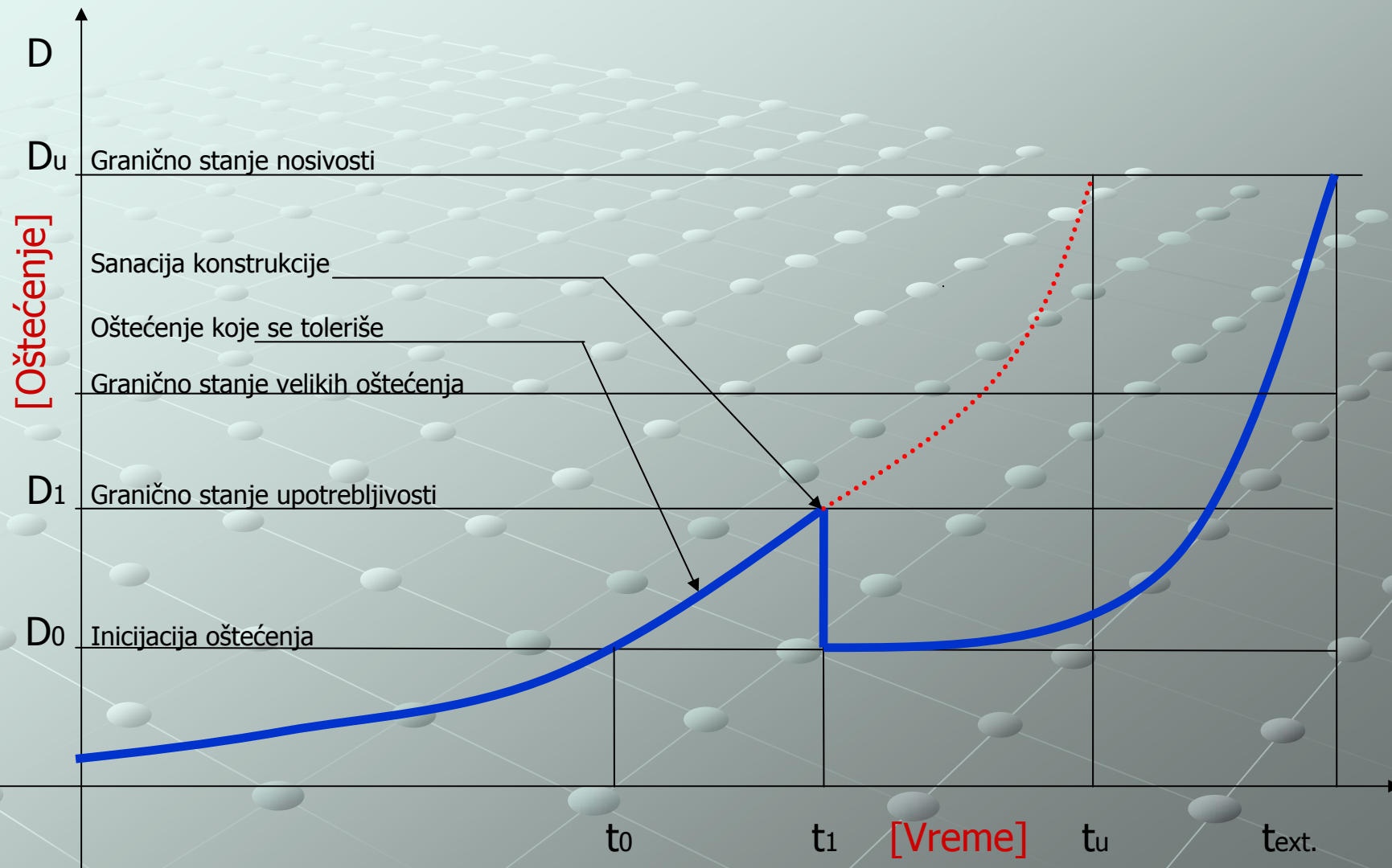


PROCENA INTEGRITETA MOSTOVSKJE KONSTRUKCIJE BAZIRANA NA RIZIKU

Miodrag Pavišić, građ. inž.
Nezavisni konsultant

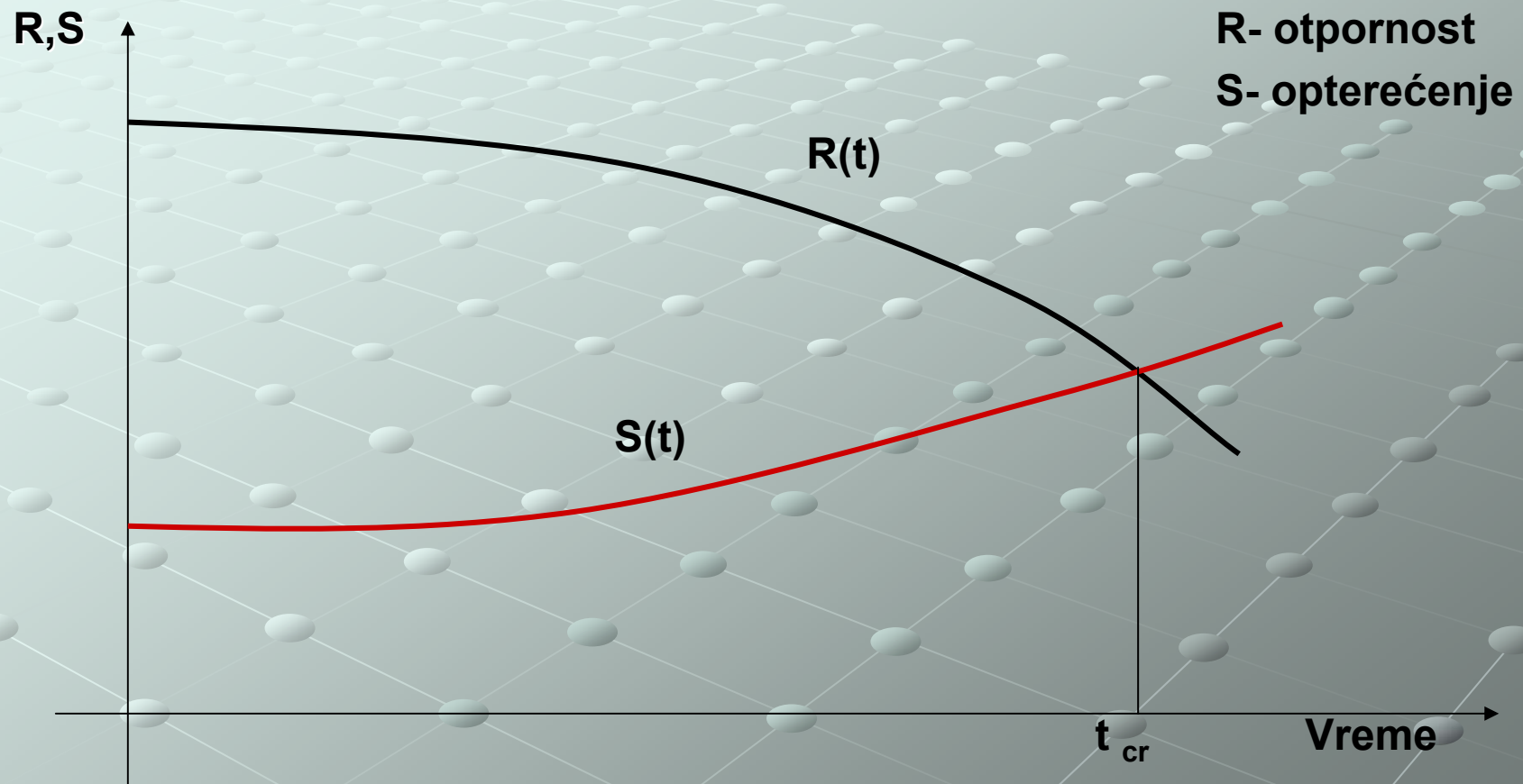


PROCES /FUNKCIJA/ OŠTEĆENJA



GRANIČNO STANJE:

$$R - S \leq 0$$



PROCENA INTEGRITETA

– pitanja koja se otvaraju...

- Koji su faktori od najvećeg značaja tokom starenja konstrukcije?
- Kako degradira inicijalna otpornost konstrukcije, $R = R[D(t)]$?
- Kakav je gradijent prirasta opterećenja i koji su ekstremni efekti?
- Koji su kritični elementi sistema?
- Koji i kakav postupak inspekcije treba planirati i organizovati?
- Koja merenja, uzorkovanja, NDT i druga ispitivanja treba primeniti?
- Koji je očekivani preostali životni vek konstrukcije?

POSTUPAK PROCENE INTEGRITETA

1. **Inspekcija konstrukcije**

Bazirana na riziku

2. **Identifikacija oštećenja**

Opis, skice i fotografije

3. **Ispitivanja**

Materijal i konstrukcija

4. **Rejting stanja**

Kvantifikacija oštećenja

5. **Procena integriteta**

Bazirana na riziku

1. INSPEKCIJA KONSTRUKCIJE MOSTA

Deterministički prilaz:

Prema unapred određenom vremenskom planu, obično u jednakim intervalima, sprovodi se kompletan pregled konstrukcije
/Skupo i dugotrajno/

Probabilistički prilaz:

Pregledaju se samo elementi konstrukcije povišenog rizika –
/verovatnoće loma/, prema vremenskom planu koji diktira stanje
elemenata procenjeno prethodnim pregledom
/Efikasno i optimalno/

2. IDENTIFIKACIJA OŠTEĆENJA

Kvalitativna, opisna karakterizacija oštećenje – lokacija, razmera, izgled, uzrok, posebna zapažanja, klasifikacija..

Nedostatak: Subjektivno/Podložno slobodnoj proceni inženjera-inspektora

Fotografija preuzeta iz Izveštaja o pregledu mosta (2006 g.) izvršenog od strane stručne ekipe "Mostprojekt"-a



Низводни сандук, зона ПН 135` (ПН135`-ПН136`). Спој ОРТО плоче и узводног вертикалног лима. Пукотина у ОРТО плочи. шпахтла је увучена 18мм у пукотину.

3. ISPITIVANJA /opciono/

1. ISPITIVANJE MATERIJALA

- kontrola čvrstoće betona
- dubina prodora hlornih jona
- zamor materijala
- kontrola zavarenih spojeva
- ...

2. ISPITIVANJE KONSTRUKCIJE

- ispitivanje pod probnim opterećenjem
- identifikacija sistema
- monitoring

4. REJTING STANJA*

- Moguća oštećenja se evidentiraju/tipiziraju (n=32)
- Sračunava se rejting prema formuli:

$$S = \sum_1^n G_i * k_{1i} * k_{2i} * k_{3i} * k_{4i}$$

G_i - tip oštećenja (ocena 1- 5 zavisno od ozbiljnosti ošt.)

k_{1i} - izraženost oštećenja (0-1)

k_{2i} - intezitet oštećenja (0-1)

k_{3i} - značaj konstruktivnog elementa (0-1)

k_{4i} - zahtevana urgentnost intervencije (0-10)

*) Austrijski model, Projekt BRIME PL97-2220 (Del. D-2, 1999)

Table 1.3

Condition rating value S

Damage class	Definition	S
1	No or very little deterioration	0-3
2	Little deterioration	2-8
3	Medium to severe deterioration	6-13
4	Severe deterioration	10-25
5	Very severe deterioration	20-70 (k4=10)
6	Very severe or total deterioration	>50 (k4=10)

*) Austrijski model, Projekt BRIME PL97-2220 (Del. D-2, 1999)

5. PROCENA INTEGRITETA

ANALIZA RIZIKA

R, S – Slučajne veličine

Granično stanje: $R \leq S$ ili $R - S = m \leq 0$

R, S, m – opisane normalnom funkcijom raspodele verovatnoće

R_{sr}, S_{sr}, m_{sr} – srednje vrednosti

$\sigma_R, \sigma_S, \sigma_m$ – standardna odstupanja

$$m_{sr} = R_{sr} - S_{sr}$$

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

$\delta_R = \sigma_R / R, \delta_S = \sigma_S / S$ – koeficijenti varijacije

RIZIK

VEROVATNOĆA DOSTIZANJA GRANIČNOG STANJA :

$$P_f(t) = P_r[R \leq S] = P_r[R - S < 0] = \int_0^{\infty} f_R(t) f_S(t) dt$$

Vremenski zavisna funkcija

$f_R(t)$ funkcija gustine verovatnoće otpornosti

$f_S(t)$ funkcija gustine verovatnoće opterećenja

IZBOR MERODAVNOG GRANIČNOG STANJA

1. Napon:

$$\sigma \rightarrow \sigma_T$$
$$(\Delta\sigma \rightarrow \Delta\sigma_D)$$

2. Uslov stabilnosti

$$P \rightarrow P_{cr}$$

3. Faktor inteziteta napona: $K_I \rightarrow K_{Ic}$

4. Deformacija:

$$\delta \rightarrow \delta_{cr} = L/N_{(konst.)}$$

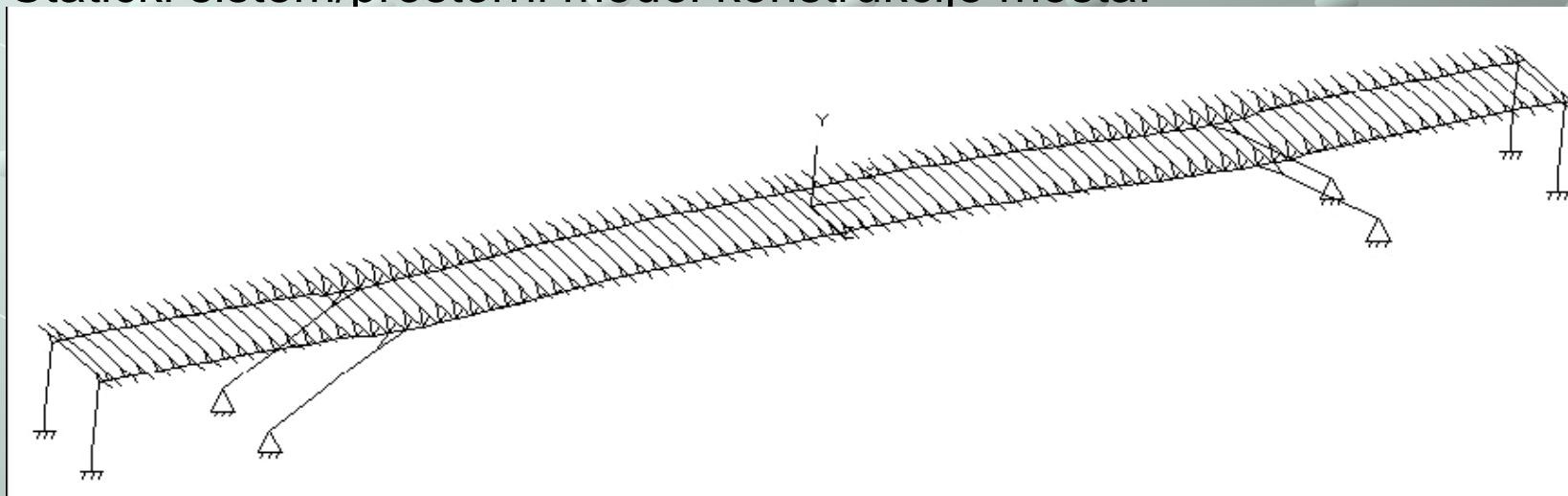
5. Kritična dužina prsline:

$$da/dN = C (\Delta K)^n$$
$$(a_c - a_N \leq 0)$$

MOST “GAZELA” Dali će se srušiti?

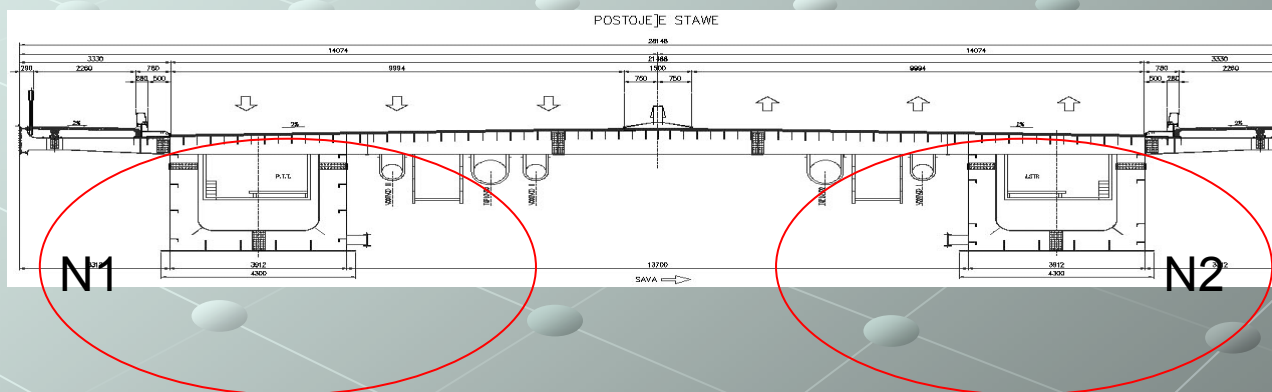
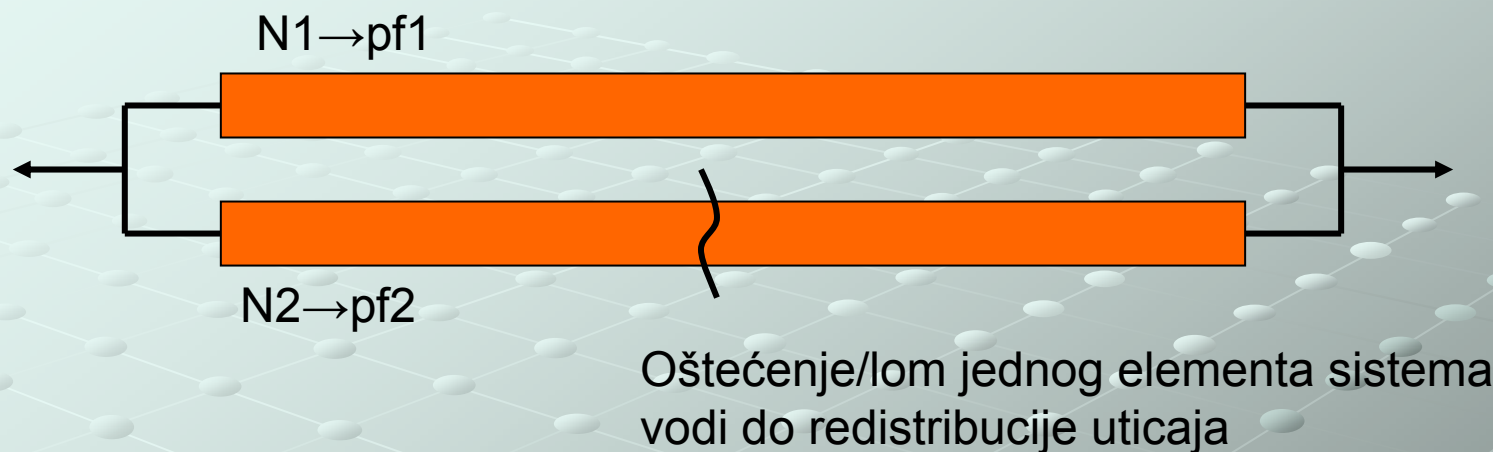
ANALIZA MOGUĆEG MEHANIZMA LOMA

Statički sistem/prostorni model konstrukcije mosta:



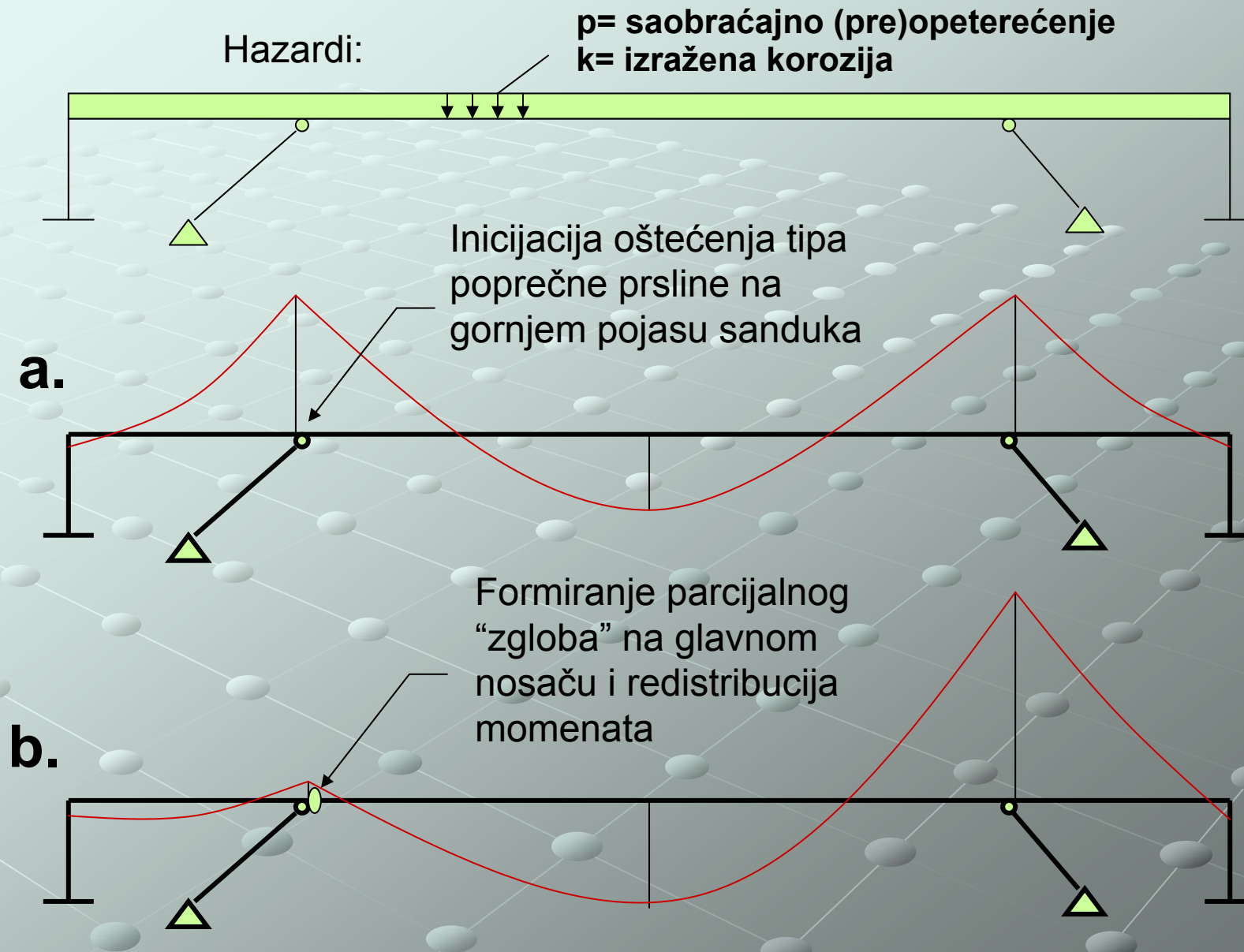
Skica preuzeta iz glavnog projekta sanacije

Sa aspekta pouzdanosti konstrukcija statički sistem mosta “Gazela” se može svrstati u grupu “paralelnih sistema”:

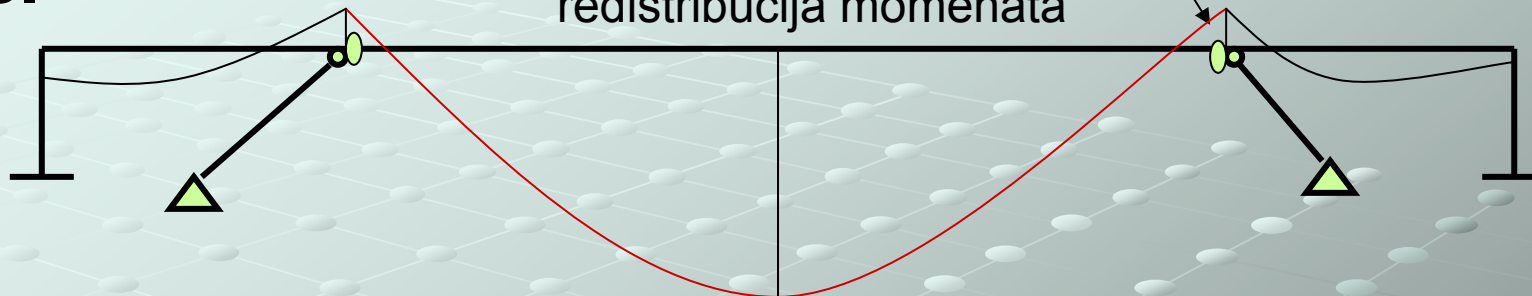


$$P_f = \prod_{i=1}^n p_{fi} = p_{f1} \times p_{f2}$$

MOGUĆI MEHANIZAM LOMA

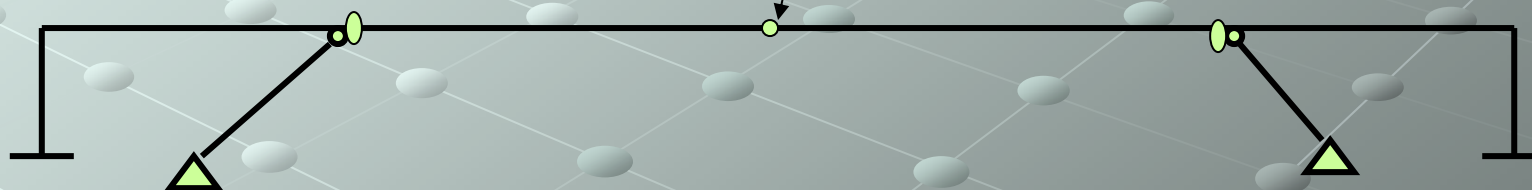


c.



Formiranje drugog
parcijalnog “zgloba” na
glavnom nosaču i nova
redistribucija momenata

d.



Formiranje trećeg parcijalnog
“zgloba” i progresivni lom
konstrukcije

1. Pitanje: dali je navedeni mehanizam najverovatniji od mogućih?

2. Pravo pitanje: koja je brzina odvijanja procesa prema navedenom mehanizmu od a. → d. i pod kojim okolnostima?

DIGRESIJA

O UZROKU POJAVE UOČENE PRSLINE

- Globalni lom sistema

- Lokalni lom (elementa) sistema

- Kolovozna tabla projektovana je i izvedena debljine 10 do 20 mm i kao takva ima veoma malu fleksionu krutost
- Podužni nosači /ukrućenja kolovozne table/ su torziono mekani elementi što dodatno doprinosi povećanoj savitljivosti kol. table
- Statički sistem kolovozne table je “beskonačna traka” sa graničnim uslovom koji predpostavlja uključivanje na podužnim krajevima
- Ugaoni zavari za vezu kol. table sa vertikalnim limom sanduka su pod veoma složenim, višeosnim naponskim stanjem koje rezultira usled delovanja momenata savijanja i transverzalnih sila od globalnog, lokalnog i sub-lokalnog dejstva opterećenja.
- Sva ova dejstva imaju zamorne karakteristike

PROBLEM ZAMORA ... 1963 g.

Koncept proračuna konstrukcije mosta na zamor bazno je predstavljao odnos: $r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \dots \rightarrow$ koefic. Z (za ČN25 i ČN35)

$$\sigma_{Ddoz} = Z \times \sigma_{doz}$$

σ_D – dinamička jačina materijala ($N=2 \times 10^6$ ciklusa)

σ_{doz} – dozvoljeni napon za statičko naprezanje

Kod drumskih mostova efekat zamora je zanemarljiv ($Z=1$)

PROBLEM ZAMORA... 2007 g.

ENV 1993-1-1: 1992

Koncept proračuna konstrukcije mosta na zamor
bazno predstavlja odnos: $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}$$

γ_{Ff} – parcijalni faktor sigurnosti za zamorno opterećenje

$\Delta\sigma_{E2}$ – naponska razlika pri ekvivalentnoj konst. ampl. za 2×10^6 ciklusa

$\Delta\sigma_{E2} = \gamma \times \Delta\sigma_p$,

γ – faktor ekvivalentnog oštećenja

$\Delta\sigma_p$ – referencni naponski opseg

$\Delta\sigma_p = |\sigma_{\max} - \sigma_{\min}|/2$

$\Delta\sigma_c$ – otpornost na zamor odgovarajuće kategorije detalja pri 2×10^6 ciklusa

γ_{Mf} – parcijalni faktor sigurnosti za čvrstoću na zamor

RIZIK OD ZAMORA

Karakteristika opterećenja:

Dinamičko opterećenje cikličnog karaktera sa neujednačeno promenljivom amplitudom

Karakteristika oštećenja:

Kumulativni karakter (sa ciklusima ili blokovima opterećenja)

Razvoj oštećenja odvija se u 2 faze:

1. Inicijacija prsline
2. Propagacija prsline

Inicijacija prsline na “slabom” mestu (greška u materijalu, dejstvo korozije...)

Propagacija prsline (u “subkritičnom”) režimu rezultat razvoja lokalne plastifikacije

Zamorni karakter propagiranja prsline

$$da/dN = C (\Delta KI)^n$$

Paris-Erdogan (1963 g)

C, n – const. (karakteristike materijala)

da/dN – priraštaj rasta prsline

$\Delta KI = \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$ – priraštaj factora inteziteta napona

Inicijacija i propagacija prsline – fenomeni slučajnog karaktera, te se mogu razmatrati sa aspekta verovatnoće pojave

Rizik – verovatnoća dostizanja uslova nestabilnosti prsline:

Granično stanje: $\Delta K_I \rightarrow \Delta K_{Ic}$ ili $a \rightarrow a_{cr}$ ili $N \rightarrow N_{cr}$

Problemi i nesigurnosti:

Neujednačena promena amplitude opterećenja

- Nepoznata istorija opterećenja

-C, n – slučajne veličine

Moguć put ka pravom rešenju

Metodologija analize zamora koja se primenjuje u avionskoj industriji bazirana na fundamentalnom radu:

Freudenthal and Gumbel,
Physical and Statistical Aspects of Fatigue (1956)

ZAKLJUČAK

1. Procenu integriteta mostovske konstrukcije treba obavljati na osnovu probabilističkog prilaza analize i procene rizika
2. Inspekciju konstrukcije mosta treba planirati i organizovati na osnovu procene rizika – verovatnoće dostizanja graničnog stanja pojedinih “kritičnih” elemenata sistema
3. Kritične elemente sistema treba odabrati na osnovu prethodne analize najznačajnijih hazarda koji mogu da ugroze integritet konstrukcije tokom vremena
4. Prethodnom analizom identifikovati najverovatnije mehanizme loma /scenarijo i karakteristike nastupanja loma konstrukcije/
5. Prethodnom analizom utvrditi merodavno granično stanje i konsekvence
6. Sračunati rizik nastupanja ovog graničnog stanja
7. Kodirati skalu rizika – zanemarljiv, prihvaćen, neprihvaćen
8. Na osnovu skale – doneti odluku o merama