

# ПРЕДВИЂАЊЕ БУДУЋЕГ СТАЊА ЕЛЕМЕНАТА МОСТОВА НА ПУТЕВИМА

Драган Бебић,

*Институт за путеве а.д., Београд*

**Резиме:** Овај рад треба сматрати оцетом, а не коначним техничким предлоом. Наиме, да би се могла успоставити функција промене стања неких елемената моста требало би вршити дуготрајна систематска осматрања и тек пошом формирати неку математичку функцију, као криву која се највише приближава снимљеним подацима. Разматрана функција је већ предложена у оквиру пројекта Базе података о мостовима (Институт за путеве, 1999), затим (делимично) на једном међународном скупу у Румунији, као и у другим приликама, али није представљена ширем кругу евентуално заинтересованих стручњака у Србији. Рад је у функцији потреба Система управљања мостовима.

**Кључне речи:** мост, прогноза будуће стања, Систем управљања мостовима

## FORECAST OF FUTURE CONDITION OF ROAD BRIDGES ELEMENTS

**Abstract:** This paper should be considered an essay, rather than a final technical proposal. Namely, long-term systematic observations would be necessary to develop some function for condition changes in some bridge members; afterwards a mathematical curve could be defined as to approach maximally to data detected. Such mathematical function was already proposed within Technical Proposal for Road Database (The Highway Institute, 1999, as well as (partially) during an international conference in Rumania on some other occasions, but it was never presented to professional audience in Serbia. This paper could serve in Bridge Management System development.

**Key words:** bridge, forecast of future condition, Bridge Management System

### 1. ПРЕДВИЂАЊЕ БУДУЋИХ ДОГАЂАЈА КАО АКТИВНОСТ

Предвиђање будућих догађаја мора се у принципу заснивати, између осталог, на познавању прошлих догађаја, њихових узрока и последица. То подразумева дуготрајно праћење појава и њихово тумачење, при чему је често потребно вршити корекције закључака који су предходно донети у вези са очекиваним развојем ситуације.

Мостовске конструкције, будући да представљају сложен систем у коме учествују материјали, статички системи, квалитет пројектовања, грађења и контроле квалитета и грађења, као и стварно саобраћајно оптерећење (број тешких осовина), нипошто нису област у којој се релативно лако и поуздано могу предвидети будући догађаји.

Па ипак, за извесне послове у области планирања и програмирања радова, односно за активности система управљања, потребно је имати неку представу о томе шта се може очекивати у будућности. При томе треба рачунати са поменутиим одступањима између предвиђених будућих појава и стварних појава. То значи да је потребно пратити модел и стварно стање и вршити поређења, како би се могле извршити евентуалне корекције прогнозног модела.

У Републици Србији већ извесно време прати се стање мостова путем редовних прегледа чији би интервал требало да буде две године; он је, међутим, знатно дужи. За већину мостова зна се старост (тачно или приближно) па се стварају услови да се учини покушај формирања неког модела предвиђања будућег стања мостова.

Истраживањем се дошло до два прогнозна модела:

1. Прогнозни модел промене стања током времена;
2. Прогнозни модел величине парцијалног рејтинга

## 2. ПРОМЕНЕ СТАЊА КОНСТРУКЦИЈЕ ТОКОМ ВРЕМЕНА

Погоршање стања елемената конструкције, уз редовно одржавање моста, неизбежно је због низа чинилаца. Стање параметра (елемента) конструкције ( $C_u$ ) моста може се математички изразити у функцији времена у облику:

$$C_{u,t} = \Phi \times C_{u,0}$$

где је:

$C_{u,t}$  ...  $C_u$  у времену "t" (година) после изградње моста;

$C_{u,0}$  ... почетно стање, при пуштању моста у саобраћај ("t" = 0);

$\Phi$  ... Функција која зависи од времена и других фактора који изазивају погоршање стања

Иако је функција " $\Phi$ " очигледно различита за сваки поједини мост, уз извесне основне претпоставке (наведене у наставку), могуће је предложити једну функцију, која би у довољној мери одговарала већинском делу посматране популације мостова, у овом случају у Републици Србији. Поменуте претпоставке су следеће:

1. Редовно одржавање мостова било је површно;
2. Мостови су већином изграђени после Другог Светског Рата;
3. Старење мостова може се пратити до деведесет година уназад;
4. Нагле промене стања конструкције могу бити изазване насталим оштећењима или извршеним поправкама, што не утиче на математички облик смањења вредности  $C_{u,t}$  током времена;
5. Образац треба да узме у обзир почетни губитак конструктивних перформанси моста, који настаје као последица могућих недостатака у пројектовању, грађењу и контроли квалитета материјала и грађења;
6. Образац узима у обзир утицај околине;
7. Добијени резултати треба да одговарају што већем броју теренских прегледа и закључака.

Између више типова функција (где је линеарна промена стања одбачена "a priori" као нереална), за анализу је изабрана функција следећег облика:

$$\Phi_t = 0,98 - a_1 a_2 (0,01 e^{0,04t} + 0,001t)$$

где је:

$\Phi_t$  ... функција смањења почетних перформанси конструкције моста;

$a_1$  ... коефицијент који зависи од материјала и степена изложености оштећењима појединог елемента конструкције;

$a_2$  ... коефицијент који зависи од материјала и карактеристика пресека посматраног елемента;

$t$  ... старост моста у годинама.

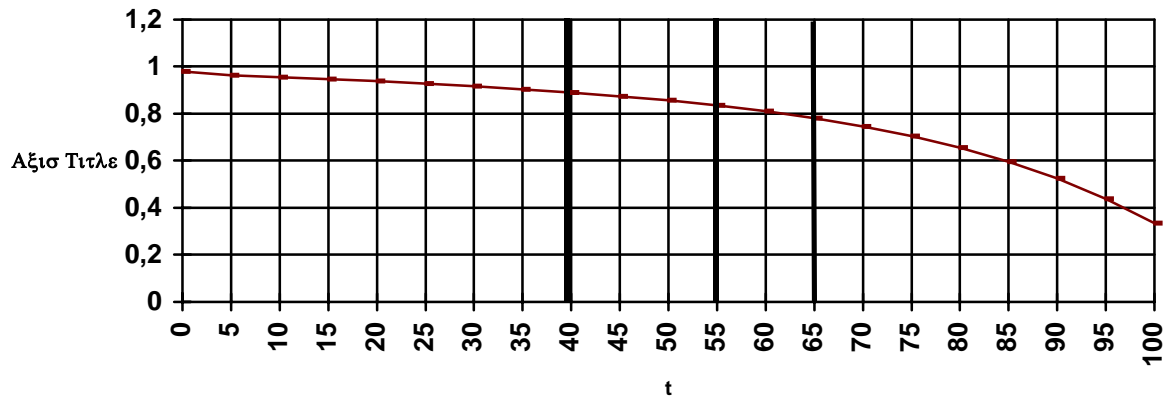
Коефицијенти  $a_1$  и  $a_2$  изабрани су после извесног броја проба, како би се утврдило у коликој мери одговарају реалним околностима и усвојени су према табелама, од којих се овде приказује само један део:

Коефицијенти $a_1$							
Р. број	Елеменат		Материјал				
			Неармирани бетон	Армирани бетон	Преднапр бетон	Челик	Неопрен
1.	Средњи стубови		0,70	0,80	0,90	0,85	-
2.	Главни носачи		0,80	0,80	0,90	0,90	-
3.	Попречни носачи		-	0,70	0,80	0,90	-
4.	Плоча и конзоле		-	0,90	1,00	1,00	-
Коефицијенти $a_2$							
Р. број	Елеменат		Материјал				
			Неармирани бетон	Арм. бетон	Преднапр бетон	Челик	Неопрен
1.	Средњи стубови	Масивни	1,20	1,20	-	-	-
		Армирано-бетонски	1,40	1,40	1,50	1,50	-
2.	Главни носачи	Плоче	-	0,90	1,00	-	-
		Ошупљене плоче	-	1,00	1,10	-	-
		Сандучасти	-	1,10	1,20	1,20	-
		"ТТ" пресека	-	1,20	1,30	1,10	-
		Вишеструки "ТТ"	-	1,00	1,30	1,10	-
		Спрегнути "ТТ"	-	-	1,40	1,20	-
		Челични носачи	-	-	-	1,30	-
		Решетке	-	1,30	1,40	1,40	-
Остали	1,00	1,00	1,20	1,00	-		
3.	Попречни носачи		-	0,90	1,00	1,00	-
4.	Плоча и конзоле $d \geq 20$ см. (мм. за челик)		-	1,40	1,40	1,20	-
	Плоча и конзоле $d < 20$ см. (мм. за челик)		-	1,60	1,60	1,30	-

Напомена: Горња табела није потпуна. За попречне пресеке који нису наведени, користити аналогију.

За различите вредности  $a_1$  и  $a_2$  добиће се различите криве, па је коначни резултат "фамилија" кривих, од којих свака одговара осетљивости појединог елемента конструкције, локацији и особинама материјала и пресека; за потребе ових анализа

узимамо, ради демонстрације изгледа криве,  $a_1 a_2 = 1$ , те добијамо следећи графички приказ функције  $\Phi_t$ :



Уочљиво је да је усвојено да после 100 година перформансе опадају на само око 35%, што се може сматрати конзервативним приступом. Треба такође имати на уму да приказана крива подразумева да се не предузимају никакве мере рехабилитације или ојачања моста.

Сада је могуће дефинисати и временске периоде у којима се може очекивати извесно стање моста; назваћемо их временским зонама:

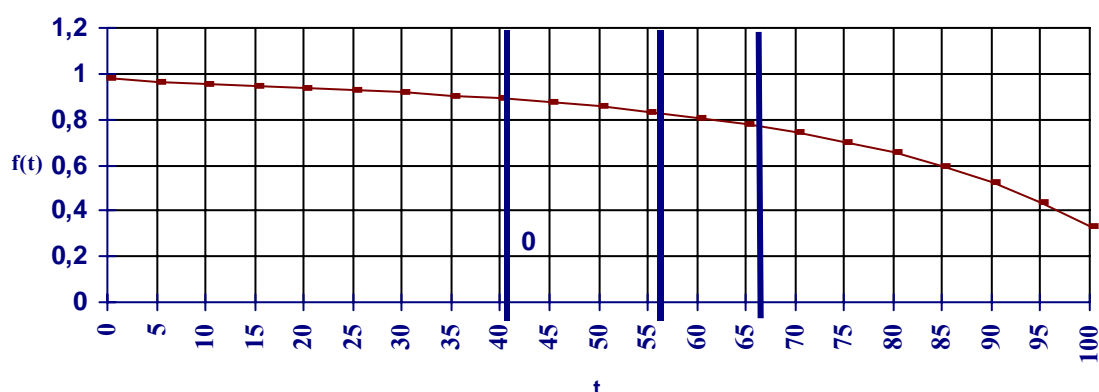
"зелена зона": период у коме су потребни само редовно одржавање и прегледи; очеку је се мали пад вредности стања посматраног параметра  $C_u$ ;

"плава зона": следећи период, када су потребни пажљивији прегледи и када се очекују мањи радови на побољшању; може се уочити нешто већи пад вредности  $C_u$ ;

"црвена зона": наредни период, у коме може бити потребан специјални преглед, а могу се очекивати веће поправке; резерве су искоришћене и приближавамо се значајном паду сигурности објекта у експлоатацији

"црна зона": већином су сигурне поправке за повећање сигурности објекта

У графичком облику добијамо за мост са попречним пресеком пуне армиранобетонске плоче:



ЗОНА:	2.1 зелена	пла ава	2.2.1 РВЕН А	црна
-------	------------	------------	--------------------	------

У облику табеле за разне пресеке може се добити, за главне носаче од армираног бетона:

Тип конструкције	Зона				
	зелена	плава	црвена	црна	
	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>
Плоча	0	40	55	65	t max
Олакшана плоча	0	35	50	60	t max
“ТТ”; a <sub>1</sub> × a <sub>2</sub> ≈ 1	0	30	45	55	t max
Вишеструки “ТТ”	0	35	50	60	t max
Сандучасти пресек	0	35	50	60	t max

Ова функција предложена је и у нацрту Правилника о утврђивању носивости постојећих мостова на путевима. Резултати тестирања су задовољавајући.

### 3. ПРОМЕНА РЕЈТИНГА ТОКОМ ВРЕМЕНА

Записник о прегледу моста који користи путна администрација Републике Србије (сада “ЈП Пuteви Србије”), садржи и поступак вредновања стања који даје тзв. “рејтинг по групама елемената”, чиме се омогућује формирање листе приоритета у одржавању. Поступак се у основи састоји од приписивања фактора значаја сваком елементу моста, уз оцењивање стања према скали, везаној за степен оштећења. Множењем фактора значаја са оценом стања и сабирањем по обрасцу

$$R = \sum_{i=1}^k a_i \times b_i$$

добија се вредност чија величина одређује место посматраног објекта у листи приоритета у одржавању. Уколико је вредност  $R$  (“rating”, рејтинг) већа, утолико је мост угроженији по групи посматраних елемената (виши му је рејтинг), те му је и положај у листи приоритета виши

Захваљујући поменутом поступку вредновања стања створена је и могућност да се упореде налази приликом прегледа у времену  $t$  и прегледа у времену  $t+1$ , те да се на основу тога дефинише нека функција промене стања чија се прихватљивост може проверити. Тако је настао овде анализирани модел предвиђања будућег рејтинга група елемената мостова на путевима.

У овом истраживању може се узети да се карактеристични број  $R$  такође мења у функцији времена према експоненцијалној функцији нешто другачијег облика, односно:

$R_t = R_{min} + e^{\alpha t}$ , где је :

$R_t$  вредност карактеристичног параметра у времену  $t$ ;

$\alpha$  коефицијент, који зависи од граничних услова, односно параметара и граничног времена  $t_{max}$ .

Вредност посматраног параметра која одговара планирању санације узима се као гранична вредност.

Гранично време  $t_{max}$ , када параметар достиже вредност која захтева планирање санације, уз услов да се редовно одржавање обавља током целог радног века моста, према свим истраживањима, како у Институту за путеве, тако и у развијеним земљама, може се за потребе овог Елабората усвојити да износи:

$$t_{max} = 80 \text{ год.}$$

Даље можемо писати:

$$\ln(R_{t_{max}} - R_{min}) = \alpha \times t$$

$\alpha = \ln(R_{t_{max}} - R_{min}) / t$ , што за  $t_{max} = 80$  даје:

$$\alpha = \ln(R_{80} - R_{min}) / 80.$$

Када је утврђена вредност коефицијента  $\alpha$ , могуће је формирати функцију  $R_t = R_{min} + e^{\alpha t}$ , за сваки поједини карактеристични параметар, а потом израчунати времена  $t$  која одговарају граничним вредностима карактеристичних бројева за поједине врсте интервенција.

За наше потребе - утврђивање времена када ће неки мост (за који је оцењено да захтева одређени тип одржавања), бити потребно санирати - довољно је приказати само податке који се односе на сигурност моста за коришћење. Даје се такође скраћена верзија табеле, која иначе обухвата 17 типова конструкција

Граничне вредности парцијалних карактеристичних бројева и гранична времена према њиховима инвервенција по основи сигурности конструкције за когзићење

Р. број	Статички систем конструкције	Шифра статичког система	Ред.овно одржавање	Ред.овно одржавање + контрола	Инт.ивноред овно одржавање	Инв. одржавање	Планирање санације	Хитна санација
1.	проста плоча $R_t=53,2+e^{0,067t}$	ПП	57	92 $t=50$	134 $t=64$	189 $t=72$	273 $t=80$	>273 $t >80$
2.	проста греда $R_t=75,8+e^{0,069t}$	ПГ	83	117 $t=54$	162 $t=65$	221 $t=73$	322 $t=80$	>322 $t >80$
3.	прост рам $R_t=53,2+e^{0,068t}$	РП	62	94 $t=50$	144 $t=66$	195 $t=73$	281 $t=80$	>281 $t >80$
4.	кон. плоча $R_t=75,8+e^{0,071t}$	КП	83	120 $t=54$	193 $t=67$	271 $t=75$	363 $t=80$	>363 $t >80$
5.	конт. рам $R_t=64,5+e^{0,070t}$	РК	80	113 $t=55$	181 $t=68$	252 $t=75$	336 $t=80$	>336 $t >80$
6.	конт. греда $R_t=98,4+e^{0,078t}$	КГ	105	158 $t=52$	263 $t=65$	368 $t=71$	631 $t=80$	>631 $t >80$
7.	лук $R_t=75,8+e^{0,067t}$	ЛУ	87	124 $t=57$	175 $t=68$	230 $t=75$	299 $t=80$	>299 $t >80$
8.	свод $R_t=64,5+e^{0,066t}$	СВ	68	84 $t=45$	133 $t=64$	196 $t=74$	261 $t=80$	>262 $t >80$

### Привидна старост моста

Ако су нам познати облици функција промене вредности парцијалних карактеристичних бројева и ако смо прегледом моста установили стање елемената, односно парцијалне карактеристичне бројеве, у могућности смо да установимо привидну старост моста ( $t^*$ ), по обрасцу:

$$t^*_i = \frac{\ln(R_i - R_{\min})}{\alpha}, \text{ где је:}$$

$t^*_i$  ... привидна старост моста према парцијалном карактеристичном броју  $i$ .

Када нам је познато  $t^*_i$ , можемо одредити и вредност  $\Delta t_i$ , односно време које очекујемо да протекне од времена  $t^*_i$ , до момента настанка потребе за неким типом одржавања.

При томе користимо образац:

$$\Delta t_i = \frac{\ln(R_{\text{inv}} - R_{\min})}{\alpha} - t^*_i$$

Очигледно је да ћемо добити више парцијалних времена  $\Delta t_i$ , од којих свако одговара неком од усвојених типова одржавања, односно вредности карактеристичног броја за тај тип одржавања.

Са становишта опредељења уграђених у решења за елементе Базе података о мостовима, од највећег интереса је она вредност  $\Delta t_i$  која се односи на понашање и прогнозу понашања конструкције моста; она ће одлучивати о години у којој се предвиђа ојачање или већа поправка моста.

Поступак ће се применити за утврђивање године у којој мостови, оцењени да захтевају инвестиционо одржавање, треба најкасније да буду санирани. На основу тога је време (у годинама) које се предвиђа да ће протећи до момента настанка потребе за санацијом:

$$\Delta t_i = 80 - t_i$$

За сваку групу објеката треба проверити оне са најнижим парцијалним карактеристичним бројем, а затим они из средине скале и најзад оне са највећим парцијалним карактеристичним бројем.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Циљ овде приказане методологије је да се учини макар први корак у формирању савременог Система управљања мостовима, тиме што би се произвољности у избору објеката на којима треба интервенисати свеле на најмању могућу меру.

Аутор је проверавао методологију при изради пројеката санације извесног броја мостова и сматра да су резултати охрабрујући.

#### РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] *Техничко решење Базе података о мостовима*, Институт за путеве, Београд, 1999 (припремљено за потребе Дирекције за путеве Србије);
- [2] *BASIC GUIDE FOR BRIDGE MANAGEMENT*, The World Bank, Sept. 1988;
- [3] *BRIDGE MANAGEMENT, ROAD RESEARCH*, OECD, Paris 1992;
- [4] *BRIDGE MANAGEMENT SYSTEMS*, FHWA-DP-71-DIR, Final Report, Oct. 1989;
- [5] Драган Бебић: *СИСТЕМ УПРАВЉАЊА МОСТОВИМА*, Реферат на семинару "Србијапут", 1992