



Универзитет у Београду – Грађевински факултет  
www.grf.bg.ac.rs

---

Студијски програм: **ГРАЂЕВИНАРСТВО ДИПЛОМСКЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ**

Modul: **КОНСТРУКЦИЈЕ**

Година/Семестар: **I година / I семестар**

Назив предмета (шифра): **САНАЦИЈЕ, РЕКОНСТРУКЦИЈЕ И  
ОДРЖАВАЊЕ БЕТОНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА  
(м0к1сб)**

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

Наслов предавања: **Управљање одржавањем и ризик**

Датум : 18.01.2023.

---

# Процес управљања

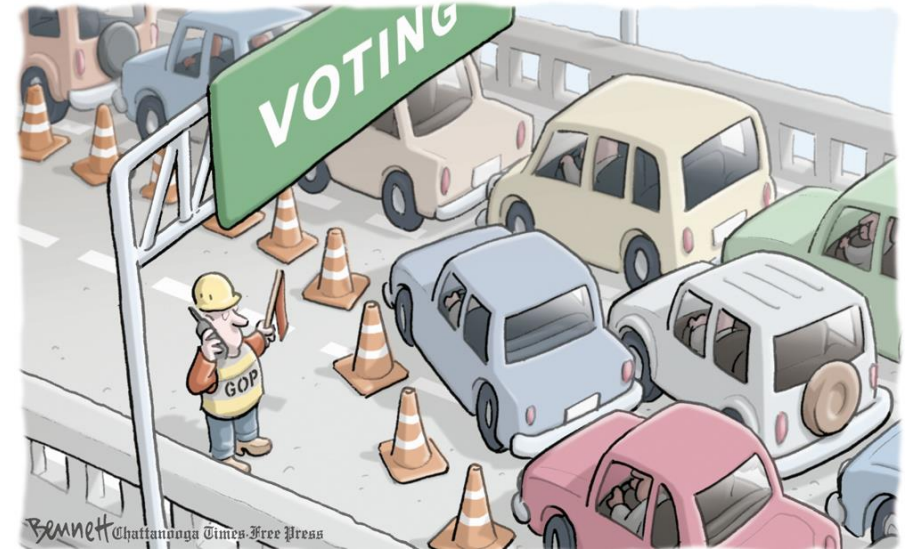
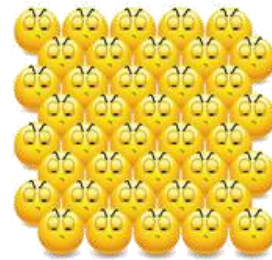
- Скуп мера и активности са циљем да обезбеди адекватна услуга уз минимум власничких трошкова
- Адекватна услуга
  - Саобраћај без застоја
  - Ниска стопа саобраћајних несрећа
  - Несметано коришћење објекта високоградње
  - Сигурност
  - Висока отпорност на природне непогоде
  - Заштита околине



- Чињенице:

- Старење и пропадање води ка високим корисничким трошковима тако да су **корективне мере неопходне**
- Ове мере, поред **власничких трошкова**, такође проузрокују и **корисничке трошкове** за време спровођења
- Неадекватно финансирање (ограничени фондови) → **распоредити расположива средства како би се постига оптимална стратегија одржавања**

# Када реаговати?



# Предвиђање будућности!?



Могуће је да постоји неки догађај у прошлости који нам може указати на наредне догађаје – само треба поставити права питања.

Како би предвидели будуће понашање конструкције кључно је да испитамо како су се сличне конструкције "понашале" под сличним скупом околности.

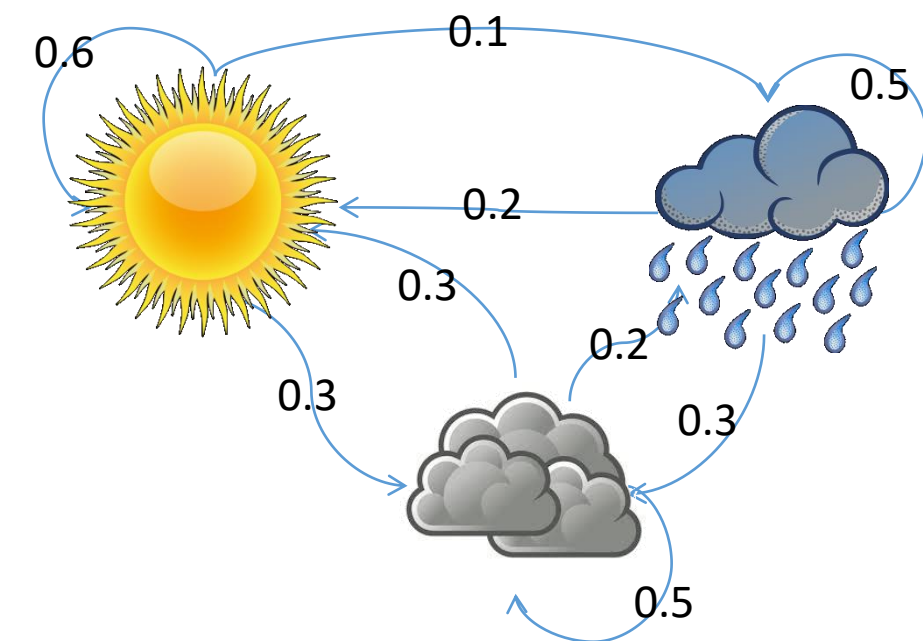
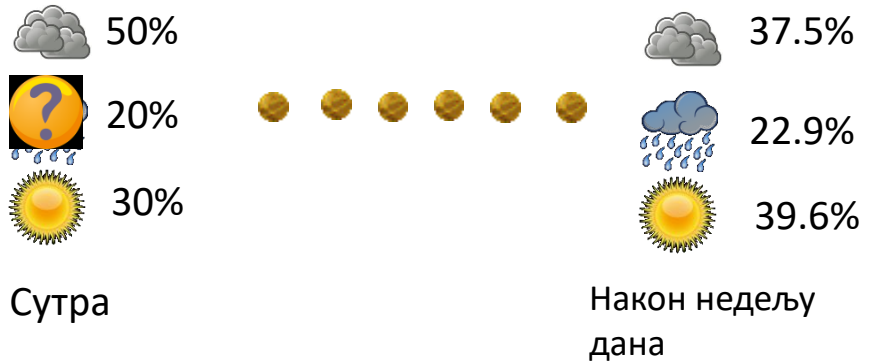


# Модел марковљевог ланца



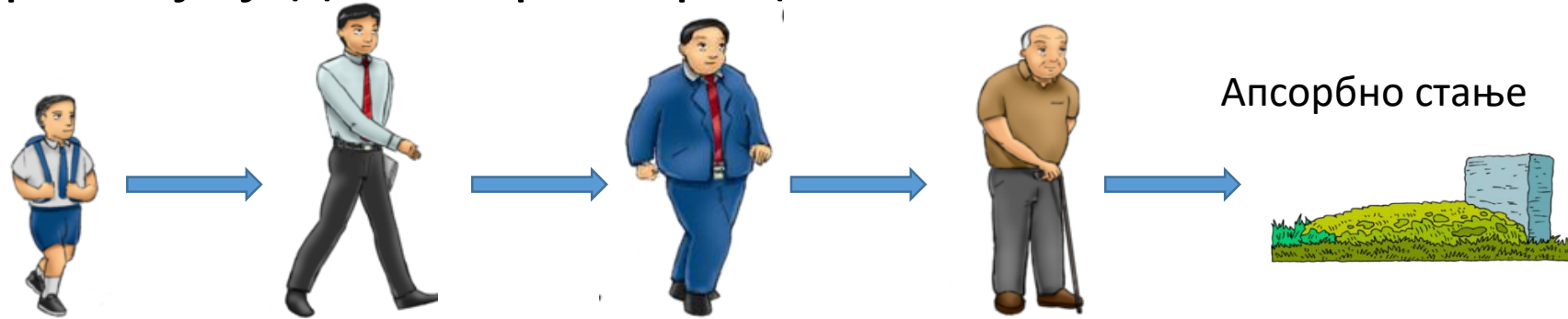
Концепт "стања" и вероватноћа "преласка" у стање

	0.6	0.3	0.1
	0.3	0.5	0.2
	0.2	0.3	0.5



# Марков модел пропадања

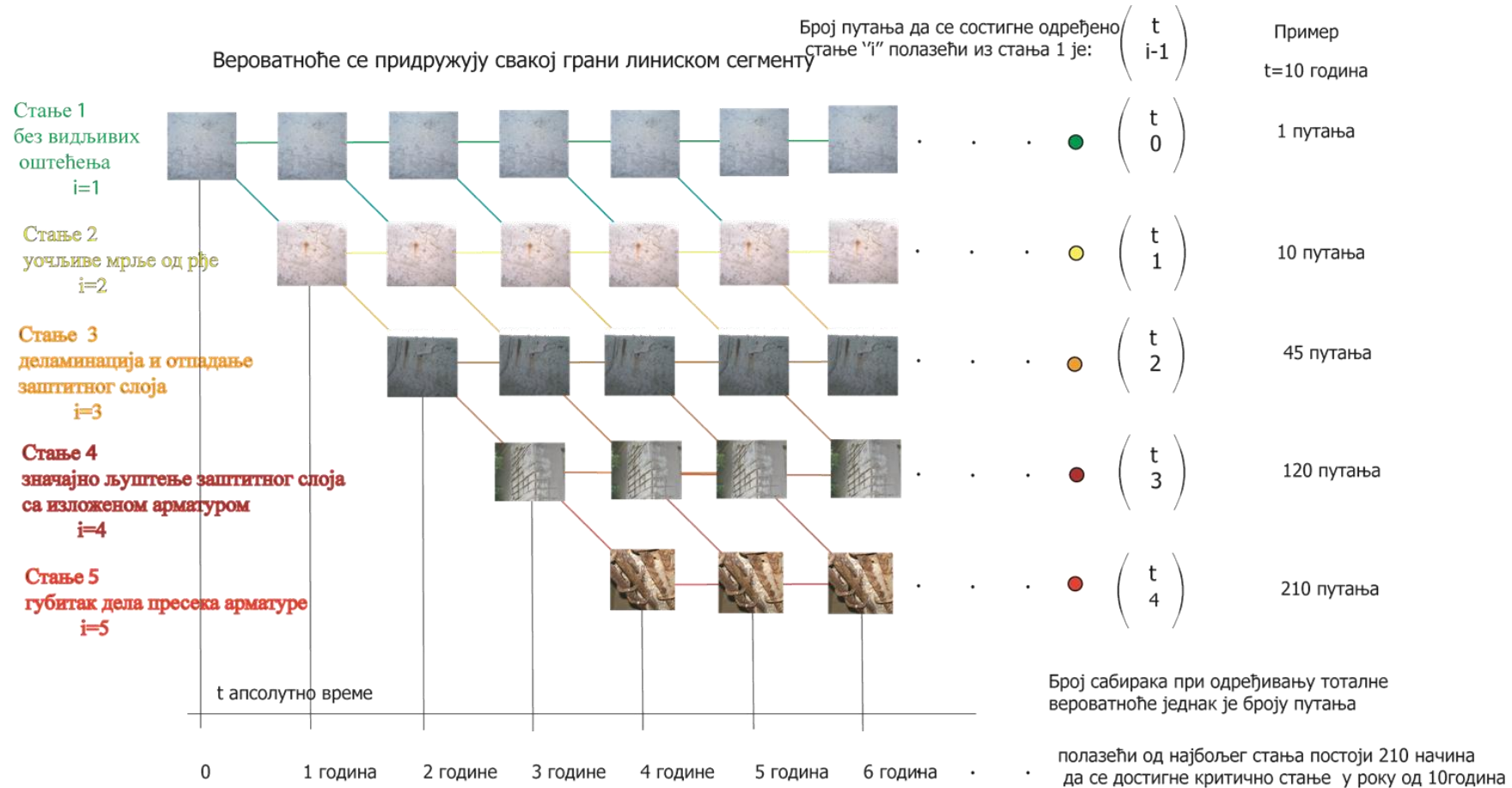
- Старење је једносмерни процес



- Пропадање конструкција је сличан процес



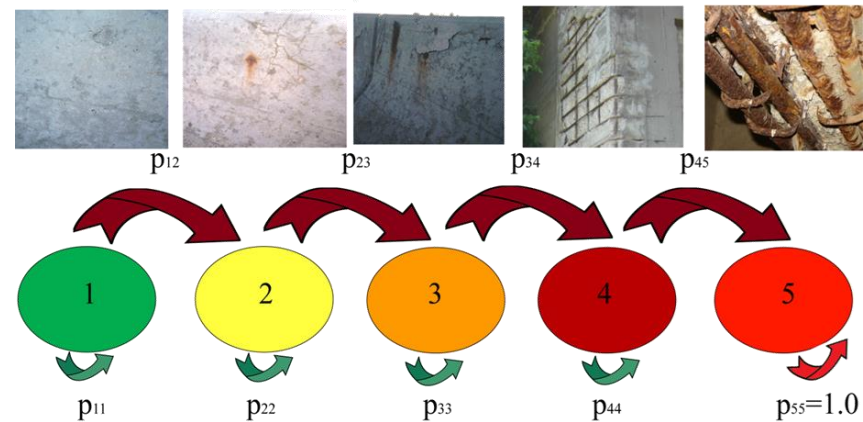
# Дрво догађаја



# Прелазне вероватноће

- Промена стања се одвија у складу са вероватноћом прелаза у Марковљевом ланцу, која се може одредити на основу статистичке обраде постојећих података (ако ови постоје) или на основу експертских мишљења

$$\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & p_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} & p_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{44} & p_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$





# Очекивано време преласка из стања у стање



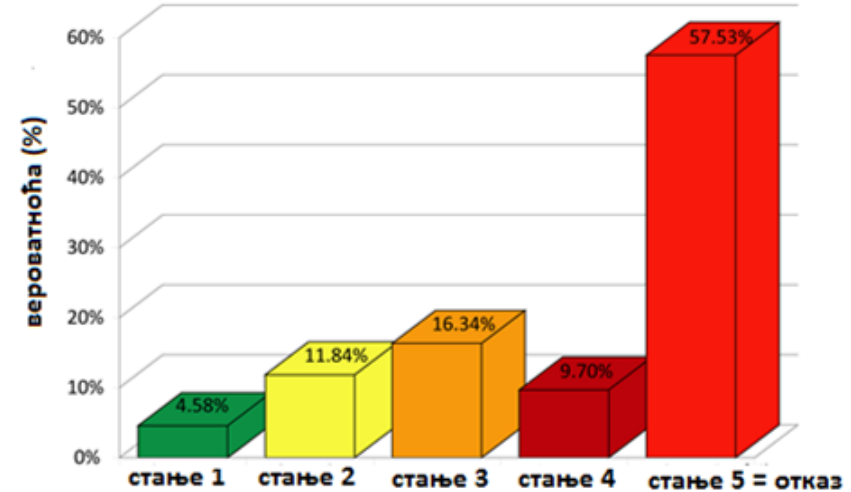
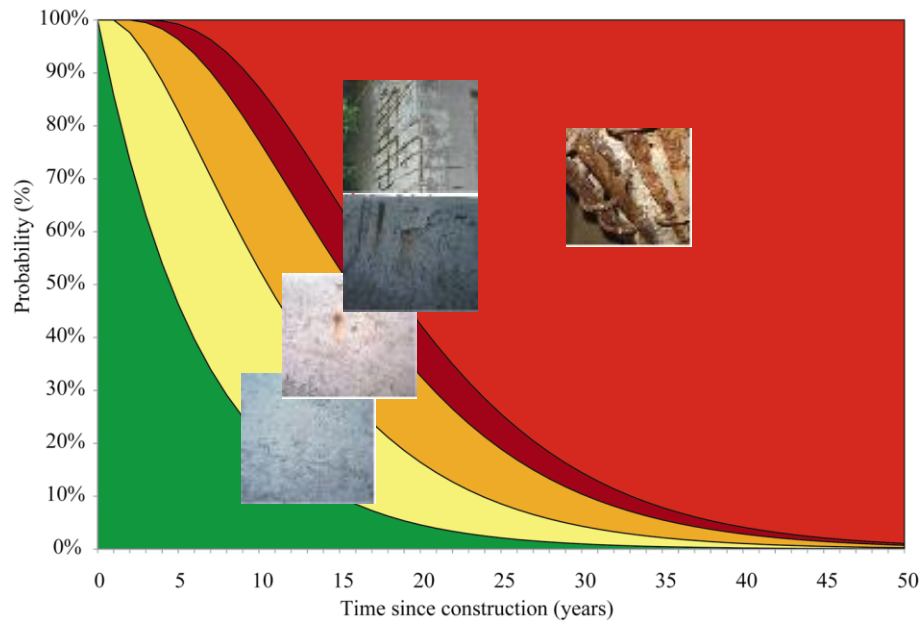
$E_t(S_i)$	$S_i$
7 година	
6 година	
5 година	
2.5 године	

Очекивано време да се дође до критичног стања **20.5 година**.



$$\begin{bmatrix} 6/7 & 1/7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5/6 & 1/6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4/5 & 1/5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.5/2.5 & 1/2.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Дистрибуција стања корозије током времена по предложеном моделу

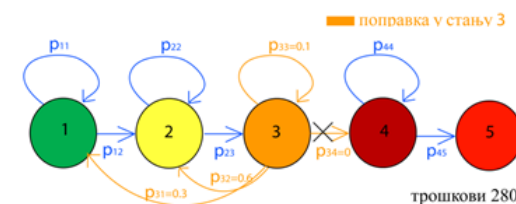
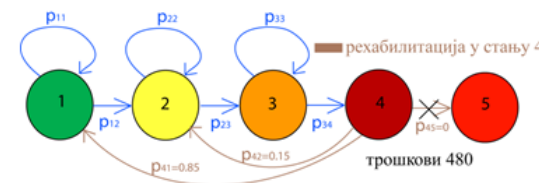
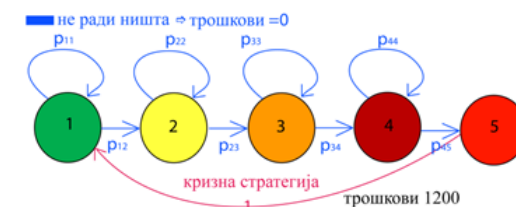


Расподела по стањима након  
20 година

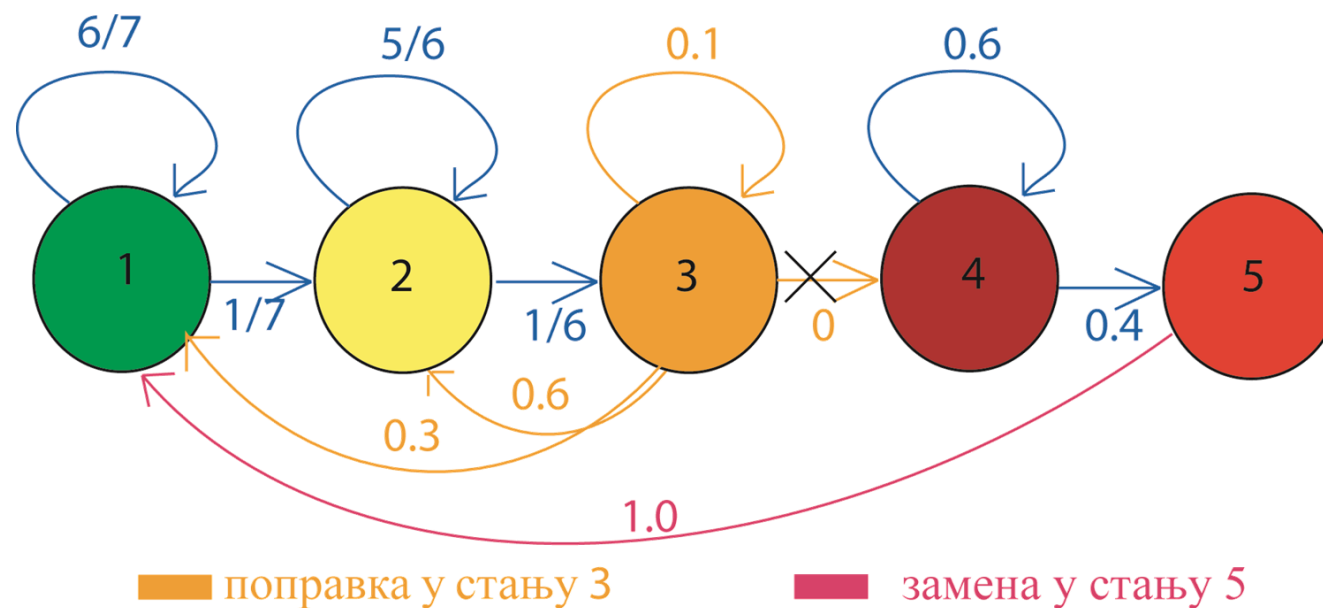
# Планирање инвестиционог одржавања

- Марковљев процес одлучивања:
  - Кад се елемент нађе у неком (неповољном) стању управљач предузима одређену интервенцију, чиме се стање моста поправља са одређеном вероватноћом (ефикасношћу)
  - Предузета интервенција производи трошкове
  - Циљ је одредити у ком стању се предузима која интервенција како би се дугорочни трошкови свели на минимум
- Оптимизација

Стање корозије	Интервенција	Ефикасност			Трошкови
		1	2	3	€/ m <sup>2</sup>
3	Поправка	0.6	0.3	0.1	280
	Рехабилитација	0.9	0.1	0.0	400
4	Рехабилитација	0.85	0.15	0.0	480
	Санација	0.98	0.02	0.0	680
5	Санација	0.85	0.15	0.0	800
	Замена	1.00	0.00	0.00	1200

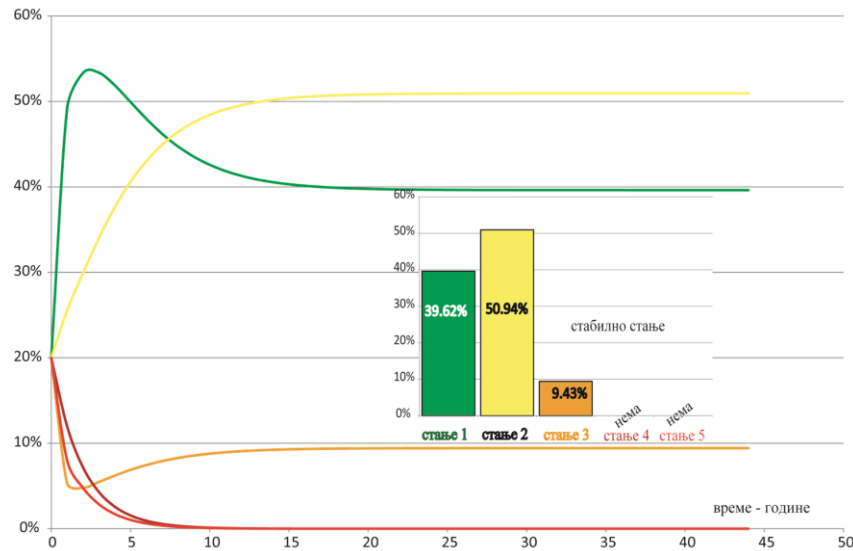


# Оптимална стратегија

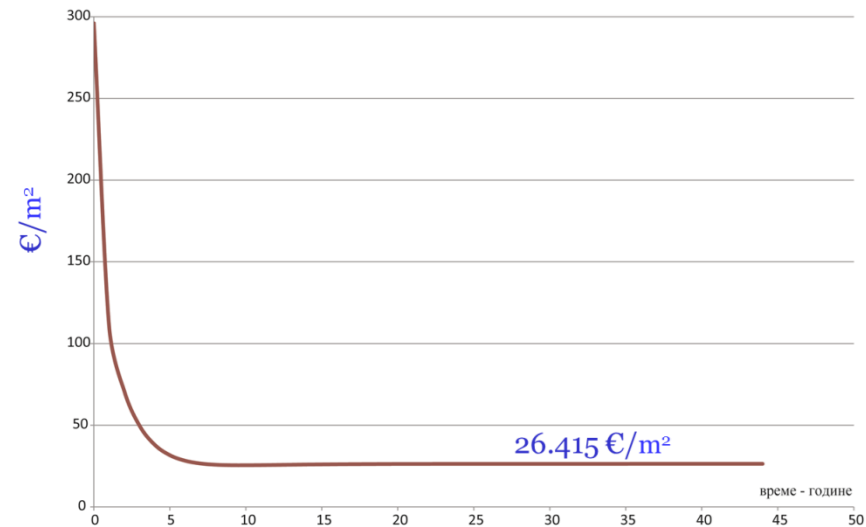


Годишњи трошкови износе 26.415 €/m<sup>2</sup>

# Срабилно стање при оптималној стратегији



При униформној полазној расподели



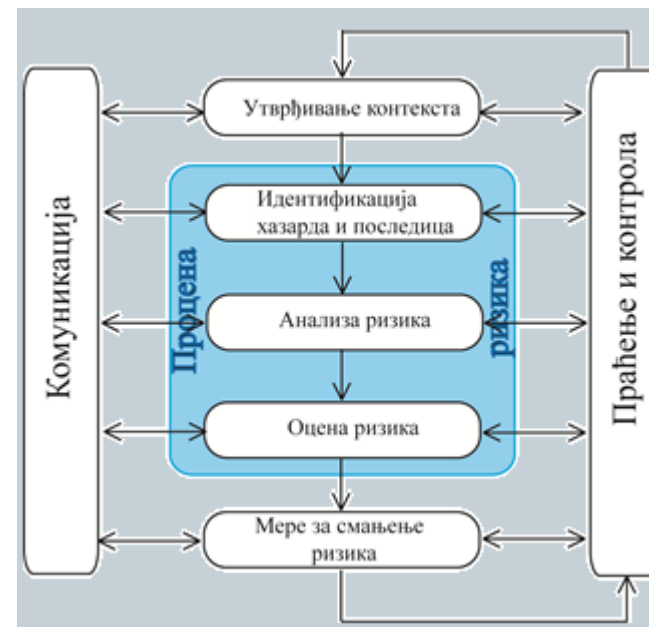
Годишњи трошкови при униформној почетној расподели стања

# РИЗИК

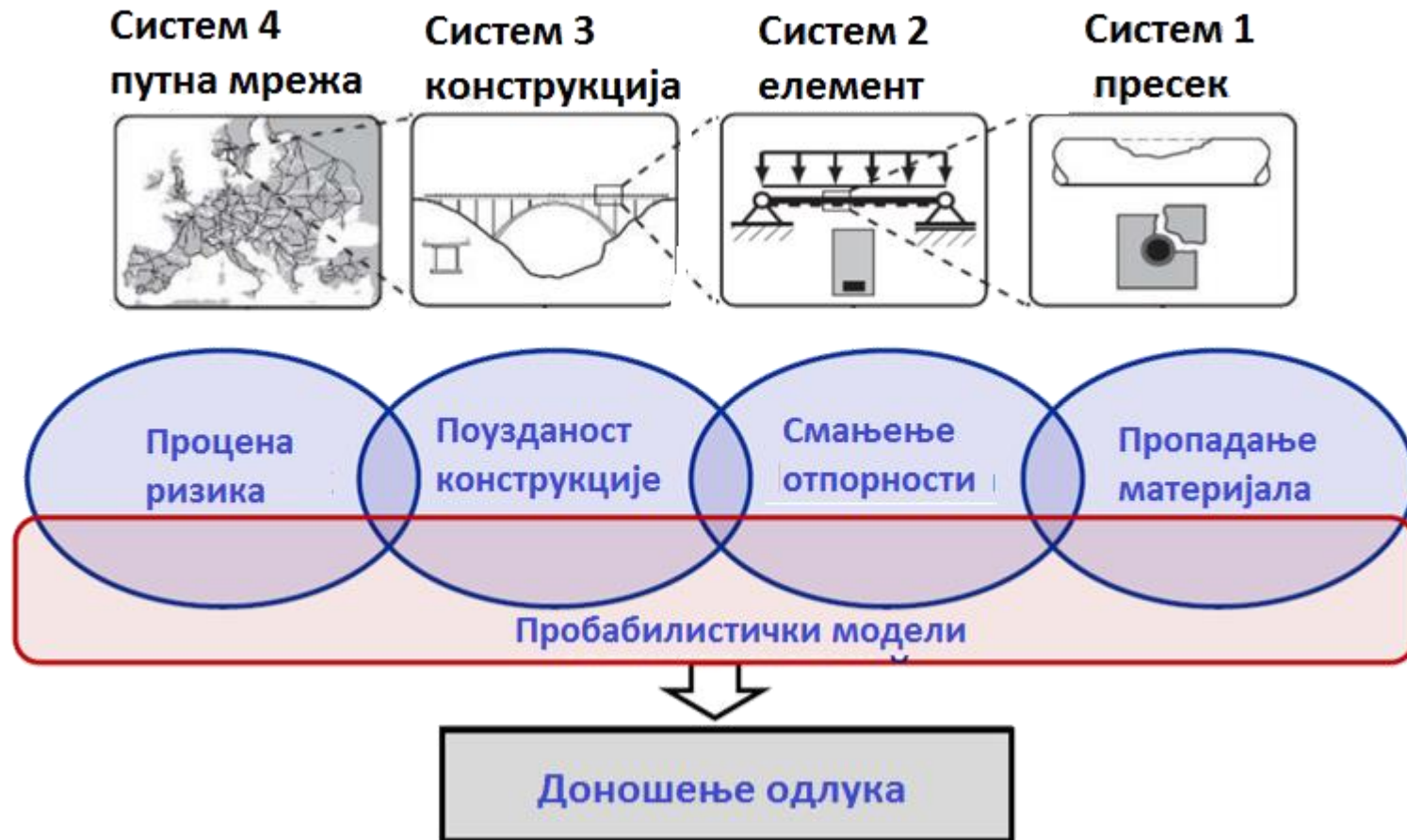
- Дефинише се као производ вероватноће отказа и монетарне вредности последица отказа
- Процена вероватноће отказа
- Процена последица
  - Губитак живота или повреде
  - Губитак конструкције
    - Директне трошкове
    - Индиректне трошкове

# ИСО 31000

- Контекс – кључни корак
  - Утврђује границе система
    - На микро нивоу (пресек констукције)
    - На нивоу елемената конструкције
    - На нивоу читаве конструкције
    - На макро нивоу у контексту окружења
  - Дефинише временски оквир
  - Дефинише актере (власник, корисник, друштво...)
  - Дефинише одговорности
  - Дефинише ниво анализе (квалитативно/квантитативно)

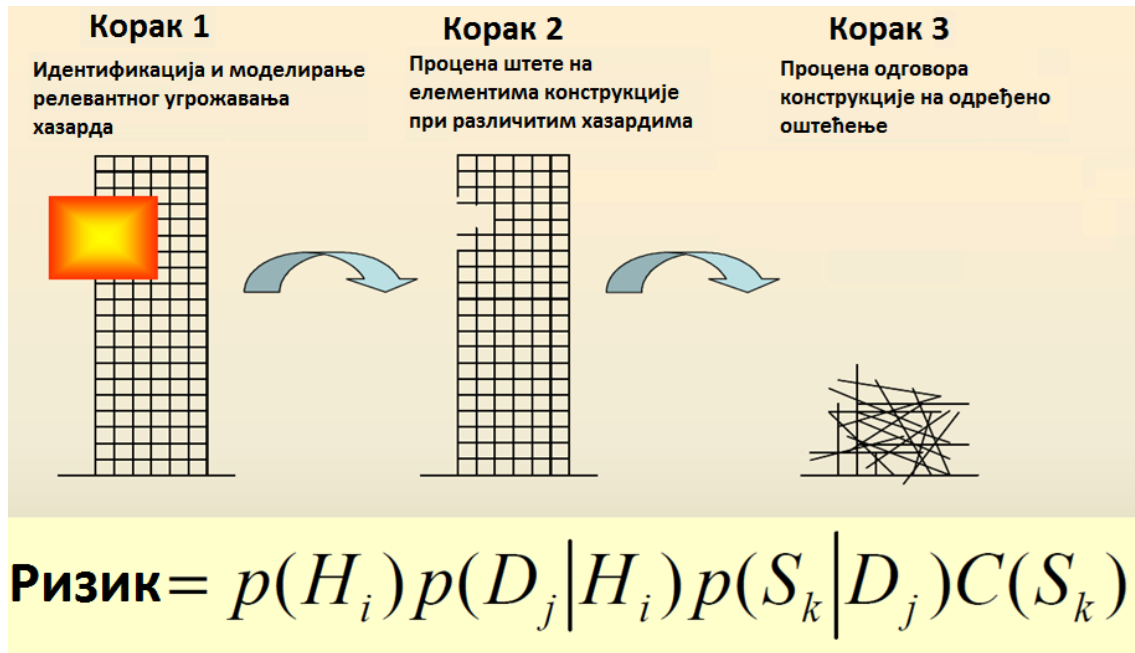


# Дефиниција система





# EN 1991-1-7: Инцидентна дејства Сценарио



$$R = \sum_{i=1}^{N_H} p(H_i) \sum_{j=1}^{N_D} \sum_{k=1}^{N_S} p(D_j | H_i) p(S_k | D_j) C(S_k)$$

$$R_{i,j,k} = p(H_i) p(D_j | H_i) p(S_k | D_j) C(S_k)$$

**Хазард "i":**

Агресивна средина,  
Земљотрес,  
Поплава,  
Ветар,  
Удар,  
Пожар,  
...

**Оштећење "j" под хазардом "i":**

Локална корозија,  
Локалне прелине,  
Локални лом пресека,  
Локална деформација,  
....

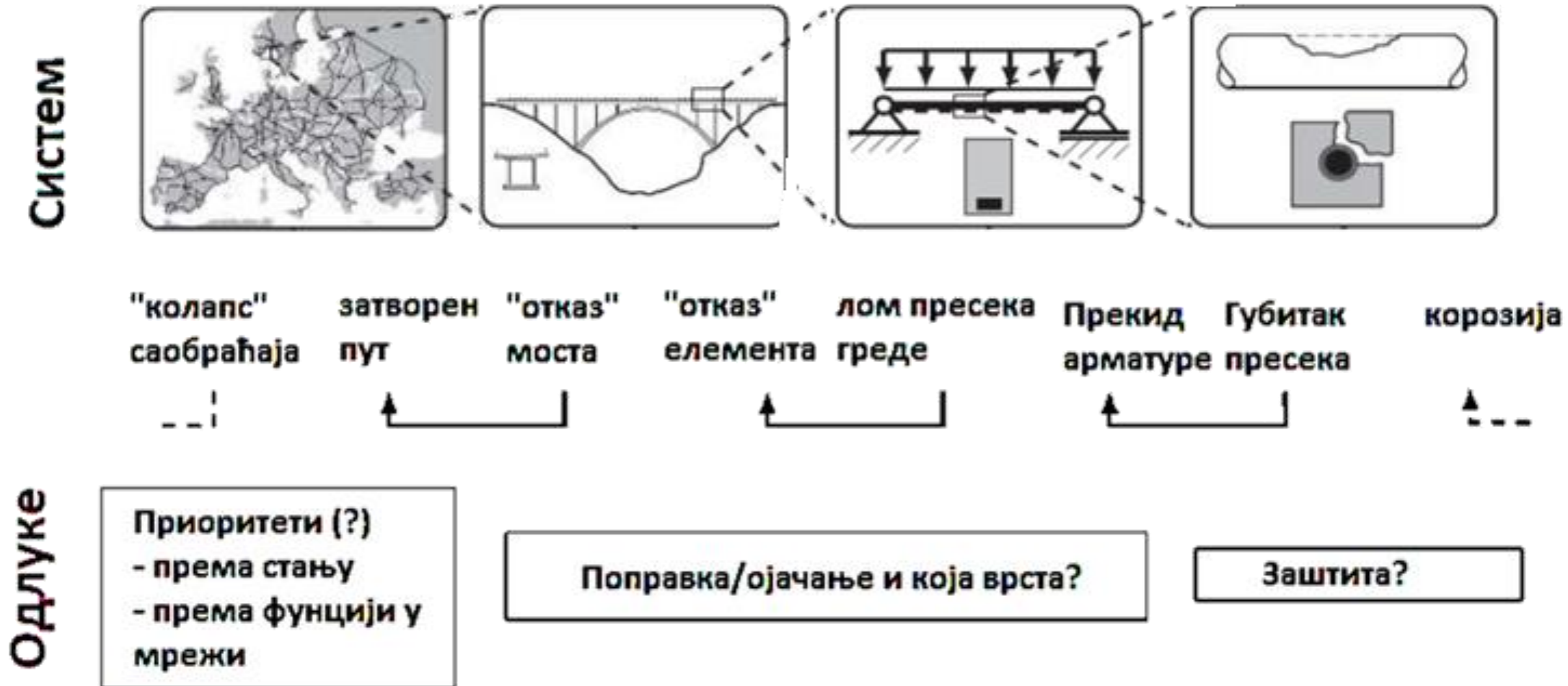
**Отказ "k" под оштећењем "j":**

Функционалност,  
Парцијални лом,  
Колапс,  
...

**Штета при отказу "k":**

Директна,  
Индијектна

# Одлучивање на бази ризика



# Мере за смањење ризика

## Нове конструкције

- Смањење неизвесности (подлоге за пројектовање)
- Заштита конструкције
- Захтеви за робусношћу
- Захтеви у погледу дуктилности
- Захтеви у погледу контроле квалитета

## Постојеће конструкције

- Редовни прегледи и рутинско одржавање
- Ограничење употребе (изложеност)
- Ојачање критичних елемената (рањивост)
- Повећање резерве конструкције (робусност)

# Сразмерност мера одржавања

- Планирање мера одржавања такође базира имплицитно на оцени ризика
  - Најгора класа стања (опасно/ критично) представља неприхватљиви ризик
  - Међутим, изненадни колапси услед стихијских процеса угрожавања:
    - удар,
    - пожар,
    - поплаве,
    - одрони,
    - земљотрес,
    - Цунами
    - ...
- најчешће нису укључени у разматрање при планирању одржавања,
- Мере одржавања се сматрају сврсисходним уколико су њихиви укупни трошкови мањи од са њима оствареном редукцију ризика.

# Бројчани пример - Класе стања, процена пропадања и матрица преласка

- Стање елемента моста је описано дискретним категоријама према приложеној табели.

Опис	Класа стања
Добро	1
Прихватљиво	2
Критично	3

- На основу праћења и статистичке обраде података установљено је да је очекивано време да елемент моста:
  - *Пређе из стања добро у стање прихватљиво 20 година;*
  - *Пређе из стања прихватљиво у стање критично 10 година.*
- Претпостављајући да се преласци из стања у стање одвијају по моделу Марковљевог ланца одредити матрицу преласка.

- Генерална форма матрице преласка на годишњем нивоу:

$$\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 \\ 0 & p_{22} & p_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- За хомоген Марковљев ланац (време боравка у стању описано дискретном геометријском расподелом) важи:

$$\tau_i = \frac{1}{1 - p_{ii}} \Rightarrow p_{ii} = 1 - \frac{1}{\tau_i}$$

$$\begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Прогноза стања

- Чему ова матрица служи?
- Прогноза стања након целог броја временских интервала за који је модел успостављен.
  - Степеновање матрице

$$\begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Одредити вероватноћу да се након 20 година елемент моста чија је матрица пропадања на годишњем нивоу одређена претходном статистичком анализом нађе у критичном стању, под условом да је данашње стање тог елемента добро.

$$P^{20} = \begin{bmatrix} 0.36 & 0.24 & 0.4 \\ 0 & 0.12 & 0.88 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Установљена политика (нпр.)

$$\begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ 5,000 \\ 500,000 \end{bmatrix}$$

Матрица политике

Вектор цена

Политика се утвђује на основу оптимизације према цени предложених мера, приказана матрица каже да се нека интервенција (по цени од 5000 еура) кад се елемент нађе у стању "прихватљиво" као да се примењује санација предузима у стању" критично" (по цени од 500,000 еура)

Установљено тренутно стање је "добро" (нов елемент) – ред вектор тренутног стања је (елементи овог вектора изражавају вероватноћу да је елемент у једном од стања):

$$q_0 = [1 \quad 0 \quad 0]$$

# Стабилно стање

- Доследном применом одређене политике (не мора да буде оптимална) – стабилно стање се постиже након одређеног броја година (2 година у посматраном случају) – ово значи:

$$[P]^2 = [P]^3 = [P]^{2+i}$$

- При томе је вектор стабилног стања (одређен као решење хомогеног система једначина са додатом једначином да је збир свих вероватноћа 1.0):

$$[q]_s = [q]_s [P]$$

$$[q]_s = [0.94 \quad 0.05 \quad 0.01]$$

- Значи да доследном применом приказане политике вероватноћа да се елемент нађе у "критичном" стању 1% (ако се не примењују мере оджавања посматрана вероватноћа је 76% у 40-тој години)
- Значи након друге година сваке наредне године се улажу иста средства (у првој години то је мање ако се креће из најбољег стања).



# Трошкови одржавања

- Расподела стања након  $n$  година:
- Годишњи трошкови при стабилном стању:
- Кумулативни трошкови у  $n$  година:
  - Како је критеријум успостављен на просечним годишњим трошковима ова сума није од претераног интереса.
  - Критеријум кумулативних трошкова се базира на процени дисконтне стопе.

$$q_n = q_0 [P]^n$$

$$C_s = [q]_s [C]$$

$$C_n = \sum_{i=0}^n [q_n] [C]$$

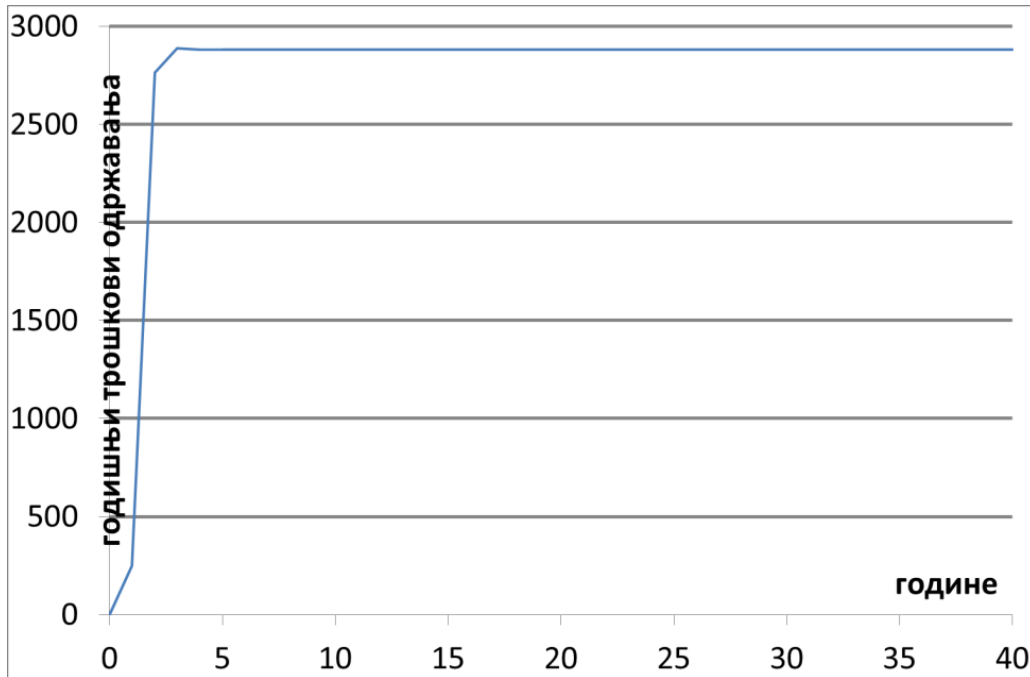
$$C_n^d = \sum_{i=0}^n (1 - \alpha)^i [q_n] [C]$$

# Последице/трошкови

- Које је очекивано стање након 20 година?
- Очекивано стање је "прихватљиво" = 2  $(0,94*1+ 0,05*2+0,01*3=1,07)$
- Колики је ризик за конструкцију стару 20 година када се не примењују мере одржавања ако су последице "критичног" стања, изражене у монетарним јединицама 1 милион еура?
- Ризик је 400,000.00 еура.
- Уз претпоставку да се монетарна вредност последица не мења током времена(!?) колики је ризик након 40 година? (760,000.00 еура)

$$P^{20} = \begin{bmatrix} 0.36 & 0.24 & 0.4 \\ 0 & 0.12 & 0.88 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# За конкретни пример



Стабилни годишњи трошкови износе:

**2,879. еура**

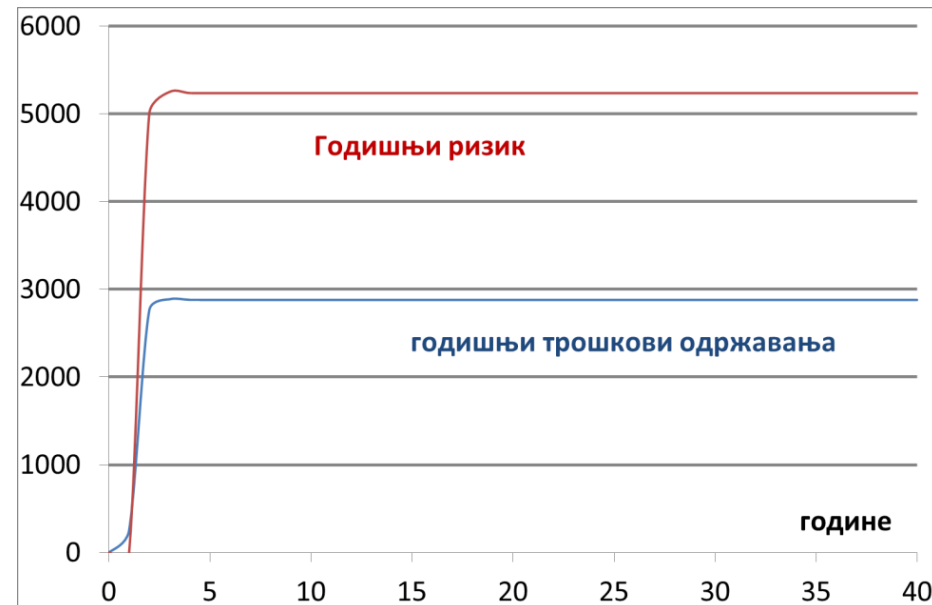
Кумулативни трошкови за 40 година износе:

**112,445. еура**

Међутим постоји ризик појаве "критичног" стања (1%)

Погледати матрицу политике: како знате да се "критично" стање може појавити иако су преузета мера одржавања?

$$\begin{bmatrix} 0.95 & 0.5 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



# Трошкови и ризик

