

VREDNOVANJE PRIKUPLJENIH INFORMACIJA O POSTOJEĆIM MOSTOVIMA



doc. dr. sc. Dominik Skokandić

Sadržaj

1. Uvod
2. Kategorizacija mostova po važnosti
3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza
4. Primjer
5. Zaključci

1. Uvodno

- ❑ Odabir prioriteta – definicija „ključnih mostova”
- ❑ Ne postoji mogućnost sanacije svih mostova istovremeno:
 - Prometna rješenja
 - Financijski izdaci itd.
 - Primjer – sanacija mostova u Zagrebu nakon potresa (periodično – privremene prometne regulacije)
- ❑ Odabrati „ključne mostove”
- ❑ Primjer – mostovi u Budimpešti i prosječan dnevni promet



1. Uvodno

❑ Ulaganje u održavanje i rekonstrukciju mostova

- Veliki izdaci
- Nepostojanje normi i zakonskog okvira
- Analiza cijena – ulaganje u monitoring?

❑ Monitoring – kada je isplativ?

- Ukoliko se pravilno planira i koristi – benefit kod ocjenjivanja mostova
- Primjeri monitoringa koji se ne koriste na pravi način
- Senzori ugrađeni pri gradnji mosta – ne koriste se i nije uspostavljen sustav kontinuiranog monitoringa
- Program monitoringa i istražnih radova za postojeći most nije prilagođen specifičnom mostu – loše planiranje / projektni zadatak
- Cost – benefit analiza monitoringa – utjecaj podataka na rezultate ocjene stanja
- **Bitno – važnost mosta kod cost – benefit analize**

2. Kategorizacija mostova po važnosti

- ❑ Kompleksna analiza – „objektivna” važnost mosta u cestovnoj infrastrukturi
- ❑ Ne postoji propisan način određivanja važnosti mosta
- ❑ Prijedlog (katedra za mostove) – ocjena prema 5 parametara:
 - Kategorija ceste
 - Prosječni dnevni promet (AADT – *Annual average daily traffic*)
 - Udaljenost obilaska (u slučaju zatvaranja mosta za promet)
 - Najveći raspon [m]
 - Ukupna duljina mosta [m]

2. Kategorizacija mostova po važnosti

- ❑ Prijedlog (katedra za mostove) – ocjena prema 5 parametara:
 - Kategorija ceste
 - Prosječni dnevni promet (AADT – *Annual average daily traffic*)
 - Udaljenost obilaska (u slučaju zatvaranja mosta za promet)
 - Najveći raspon [m]
 - Ukupna duljina mosta [m]

ROAD CATEGORY ¹⁾	G _{RC}	ANNUAL AVERAGE DAILY TRAFFIC ²⁾ (N vehicles)	G _{AADT}	DETOUR DISTANCE ³⁾ (km)	G _{DD}	LARGEST SPAN ⁴⁾ (m)	G _{LS}	TOTAL LENGTH ⁵⁾ (m)	G _{TL}
unclassified road	1	< 500	1	adjacent traffic lane	1	<5	1	<20	1
local road	2	500 -15000	2	< 5km	2	5-20	2	20-80	2
inter-state road	3	15000-50000	3	5km-20km	3	20-50	3	80-200	3
state road	4	50000-500000	4	20km-60km	4	50-100	4	200-500	4
highway	5	>500000	5	> 60 km	5	>100	5	>500	5

2. Kategorizacija mostova po važnosti

- ❑ Prijedlog (katedra za mostove) – ocjena prema 5 parametara:
 - Kategorija ceste - G_{RC}
 - Prosječni dnevni promet (AADT – *Annual average daily traffic*) - G_{AADT}
 - Udaljenost obilaska (u slučaju zatvaranja mosta za promet) - G_{DD}
 - Najveći raspon [m] - G_{LS}
 - Ukupna duljina mosta [m] - G_{TL}

ROAD CATEGORY ¹⁾	G_{RC}	ANNUAL AVERAGE DAILY TRAFFIC ²⁾ (N vehicles)	G_{AADT}	DETOUR DISTANCE ³⁾ (km)	G_{DD}	LARGEST SPAN ⁴⁾ (m)	G_{LS}	TOTAL LENGTH ⁵⁾ (m)	G_{TL}
unclassified road	1	< 500	1	adjacent traffic lane	1	<5	1	<20	1
local road	2	500 -15000	2	< 5km	2	5-20	2	20-80	2
inter-state road	3	15000-50000	3	5km-20km	3	20-50	3	80-200	3
state road	4	50000-500000	4	20km-60km	4	50-100	4	200-500	4
highway	5	>500000	5	> 60 km	5	>100	5	>500	5

2. Kategorizacija mostova po važnosti

- Prijedlog (katedra za mostove) – ocjena prema 5 parametara:

ROAD CATEGORY ¹⁾	G_{RC}	ANNUAL AVERAGE DAILY TRAFFIC ²⁾ (N vehicles)	G_{AADT}	DETOUR DISTANCE ³⁾ (km)	G_{DD}	LARGEST SPAN ⁴⁾ (m)	G_{LS}	TOTAL LENGTH ⁵⁾ (m)	G_{TL}
unclassified road	1	< 500	1	adjacent traffic lane	1	<5	1	<20	1
local road	2	500 -15000	2	< 5km	2	5-20	2	20-80	2
inter-state road	3	15000-50000	3	5km-20km	3	20-50	3	80-200	3
state road	4	50000-500000	4	20km-60km	4	50-100	4	200-500	4
highway	5	>500000	5	> 60 km	5	>100	5	>500	5

- Ukupna važnost mosta u cestovnoj infrastrukturi - $KPI_{BI,NET}$:

$$KPI_{BI,NET} = G_{RC} \times W_{RC} + G_{AADT} \times W_{AADT} + G_{DD} \times W_{DD} + G_{LS} \times W_{LS} + G_{TL} \times W_{TL}$$

- Težinski faktori W :

- W_{RC} ; W_{AADT} i W_{DD} - 25 % (0,25)
- W_{LS} i W_{TL} - 12,5% (0,125)

2. Kategorizacija mostova po važnosti

- Prijedlog (katedra za mostove) – ocjena prema 5 parametara:

ROAD CATEGORY ¹⁾	G_{RC}	ANNUAL AVERAGE DAILY TRAFFIC ²⁾ (N vehicles)	G_{AADT}	DETOUR DISTANCE ³⁾ (km)	G_{DD}	LARGEST SPAN ⁴⁾ (m)	G_{LS}	TOTAL LENGTH ⁵⁾ (m)	G_{TL}
unclassified road	1	< 500	1	adjacent traffic lane	1	<5	1	<20	1
local road	2	500 -15000	2	< 5km	2	5-20	2	20-80	2
inter-state road	3	15000-50000	3	5km-20km	3	20-50	3	80-200	3
state road	4	50000-500000	4	20km-60km	4	50-100	4	200-500	4
highway	5	>500000	5	> 60 km	5	>100	5	>500	5

- Primjer:
 - Most na državnoj cesti
 - Prosječan dnevni promet 11 000 vozila
 - Udaljenost obilaznog pravca 11 km
 - Najveći raspon 18 m
 - Ukupna duljina 90 m

2. Kategorizacija mostova po važnosti

- ❑ Prijedlog (katedra za mostove) – ocjena prema 5 parametara:
- ❑ Primjer:
 - Most na državnoj cesti
 - Prosječan dnevni promet 11 000 vozila
 - Udaljenost obilaznog pravca 11 km
 - Najveći raspon 18 m
 - Ukupna duljina 90 m

$$KPI_{BI,NET} = G_{RC} \times W_{RC} + G_{AADT} \times W_{AADT} + G_{DD} \times W_{DD} + G_{LS} \times W_{LS} + G_{TL} \times W_{TL}$$

$$KPI_{BI,NET} = 4 \times 0,25 + 2 \times 0,25 + 3 \times 0,25 + 2 \times 0,125 + 2 \times 0,125$$

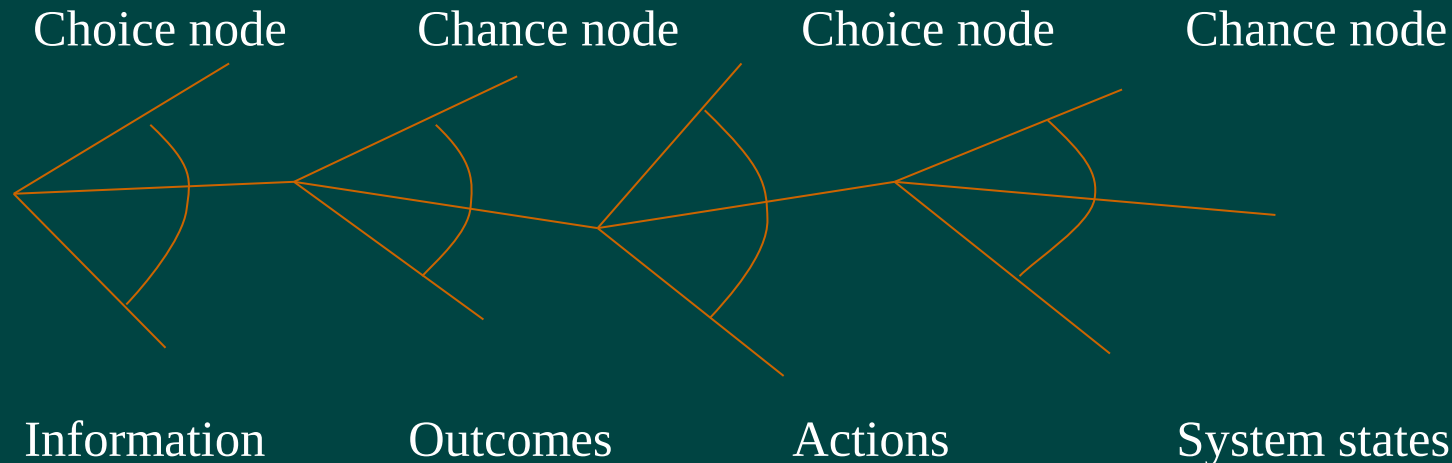
$$KPI_{BI,NET} = 2,75$$

- ❑ Faktor važnosti mosta – 2,75 od maksimalno 5
- ❑ Omogućuje rangiranje mosta po važnosti
- ❑ Definicija prioriteta zahvata na mostu - **VAŽNO**

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

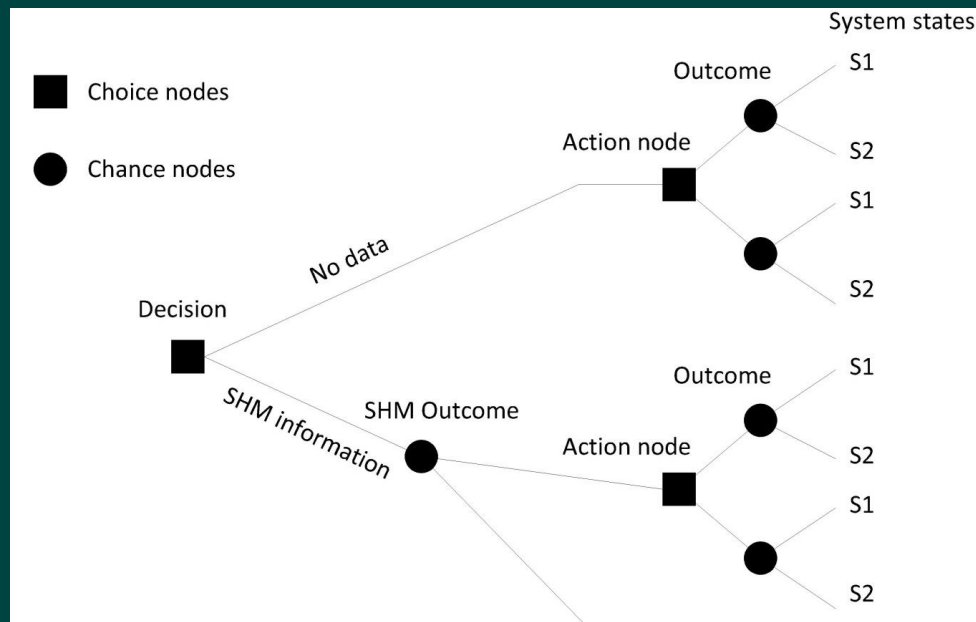
- ❑ Vrlo kompleksna analiza – zahtjeva procjenu svih troškova prije ocjene stanja mosta
- ❑ Koristi se probabilistička metoda – *Value of Information* (Vol) analiza
- ❑ Grafička metoda – *decision tree*



3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

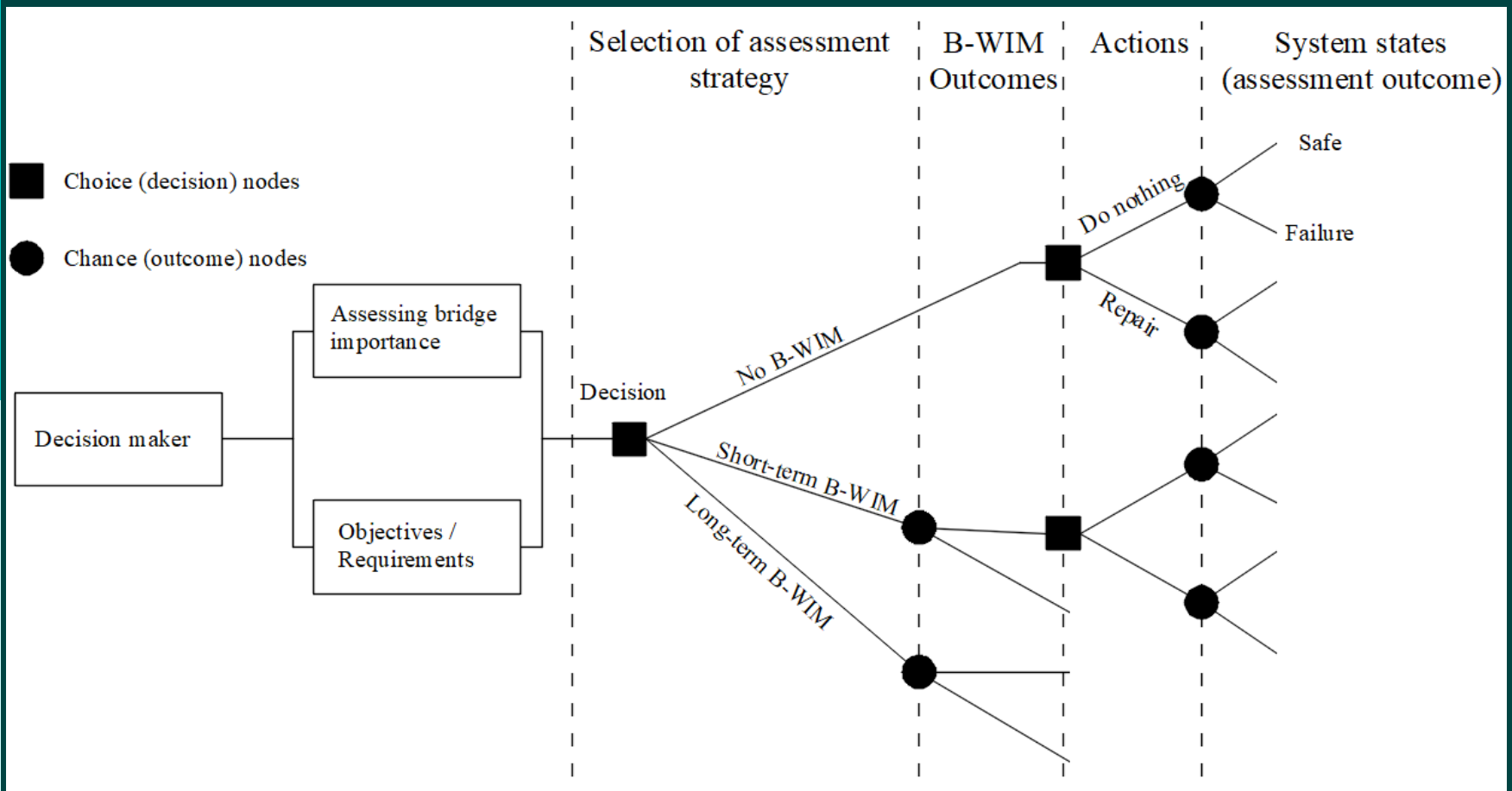
- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ Vrednovanje različitih scenarija (sa i bez monitoringa)
 - No SHM – bez monitoringa
 - SHM strategy 1 – prva varijanta monitoringa
 - SHM strategy 2 – druga varijanta monitoringa



3.Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ *Primjer – Case Study Bridge*



3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

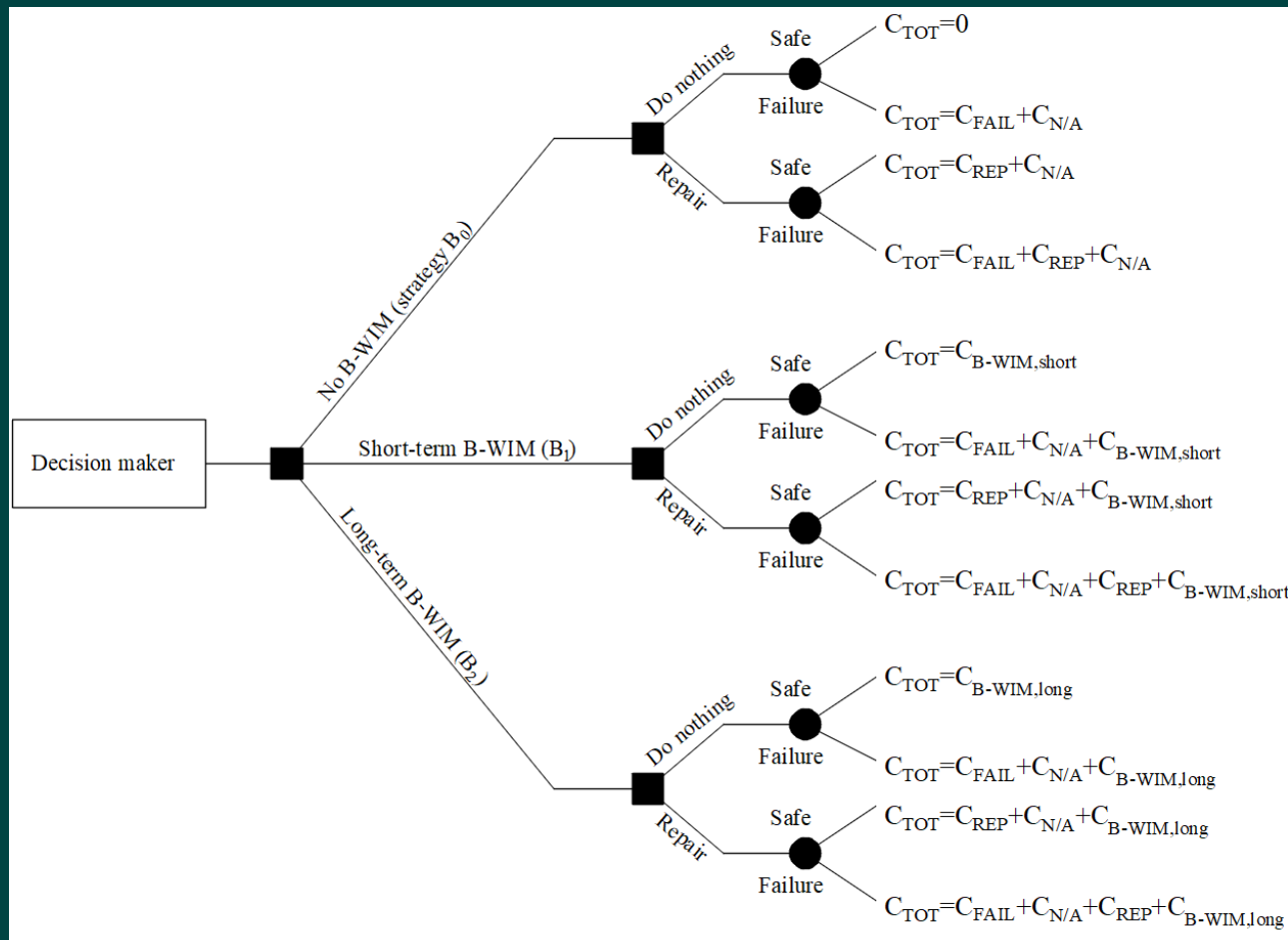
Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ Problematika metode:
 - Za svaki *outcome* – treba definirati ukupni trošak
 - Za svaki scenarij treba odrediti vjerojatnost otkazivanja mosta – probabilistički pristup
 - U pravilu – utjecaj monitoringa na analizu treba odrediti unaprijed (pre-posterior) analiza
 - U primjeru koji slijedi – monitoring proveden – napravljena analiza nakon procjene stanja (posterior analiza)

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ Definicija troškova



3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ Definicija troškova
 - Trošak otkazivanja mosta - C_{FAIL}
 - Trošak popravka mosta - C_{REP}
 - Indirektni trošak kod zatvaranja mosta $C_{\text{N/A}}$
 - Trošak kratkotrajnog B-WIM monitoringa $C_{\text{B-WIM,short}}$
 - Trošak dugotrajnog B-WIM monitoringa $C_{\text{B-WIM,long}}$
 - Ukupan trošak svakog ishoda C_{TOT}
- ❑ Definicija troškova – vrlo kompleksna
- ❑ Procjena na temelju prikupljenih podataka
- ❑ Za detaljnu procjenu troškova vidi:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ Definicija troškova
 - Trošak otkazivanja mosta - C_{FAIL}
 - Trošak popravka mosta - C_{REP}
 - Indirektni trošak kod zatvaranja mosta $C_{\text{N/A}}$
 - Trošak kratkotrajnog B-WIM monitoringa $C_{\text{B-WIM,short}}$
 - Trošak dugotrajnog B-WIM monitoringa $C_{\text{B-WIM,long}}$
 - Ukupan trošak svakog ishoda C_{TOT}
- ❑ Definicija troškova – vrlo kompleksna
- ❑ Procjena na temelju prikupljenih podataka
- ❑ Za detaljnu procjenu troškova vidi:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ Definicija troškova
 - Osnovni faktor – početna (ukupna) vrijednost mosta C_{BV}
 - Na temelju procjene cijene izgradnje mosta $C_0 = f_c \cdot 1200 \text{ [€/m}^2\text{]}$
 - Gdje je f_c faktor koji ovisi o kompleksnosti izgradnje
 - Dodatno u vrijednost mosta ulazi njegova važnost u infrastrukturi prema danom primjeru na temelju 5 parametara
- ❑ Svi ostali troškovi – funkcija totalne vrijednosti mosta
- ❑ Procjena na temelju prikupljenih podataka
- ❑ Za detaljnu procjenu troškova vidi:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3.Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*

- ❑ Definicija troškova

- Trošak popravka mosta f_{REP} [%] – postotak vrijednosti mosta C_{BV}

Stanje mosta	1 – Zanemarivo oštećenje	2 – Blago oštećenje	3 – Srednje oštećenje	4 – Veliko oštećenje	5 – Hitno uklanjanje
Indeks pouzdanosti	$\beta > 3,82$	$3,82 < \beta \leq 3,3$	$3,3 < \beta \leq 3,0$	$3,0 < \beta \leq 2,3$	$\beta < 2,3$
f_{REP} [%]	1	8,40	29,15	70,50	140

- ❑ Svi ostali troškovi – funkcija totalne vrijednosti mosta

- ❑ Procjena na temelju prikupljenih podataka

- ❑ Za detaljnu procjenu troškova vidi:

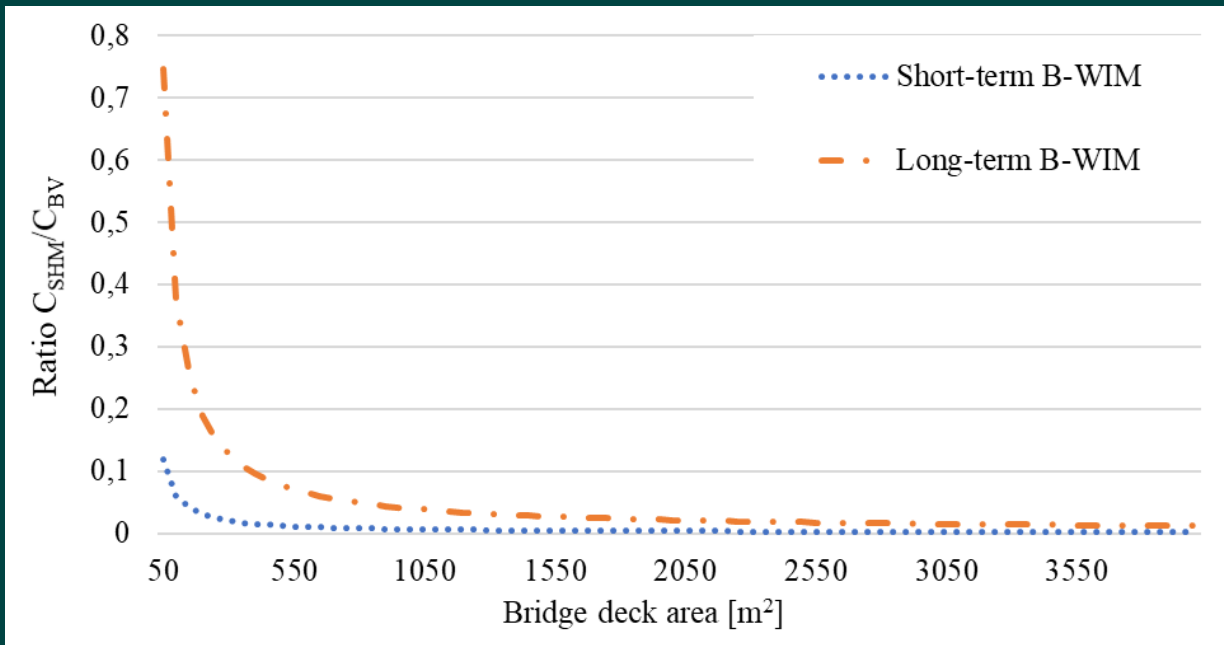
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

- ❑ Grafička metoda – *decision tree*
- ❑ Definicija troškova

■ Trošak monitoringa – postotak vrijednosti mosta C_{BV}



- ❑ Za detaljnu procjenu troškova vidi:

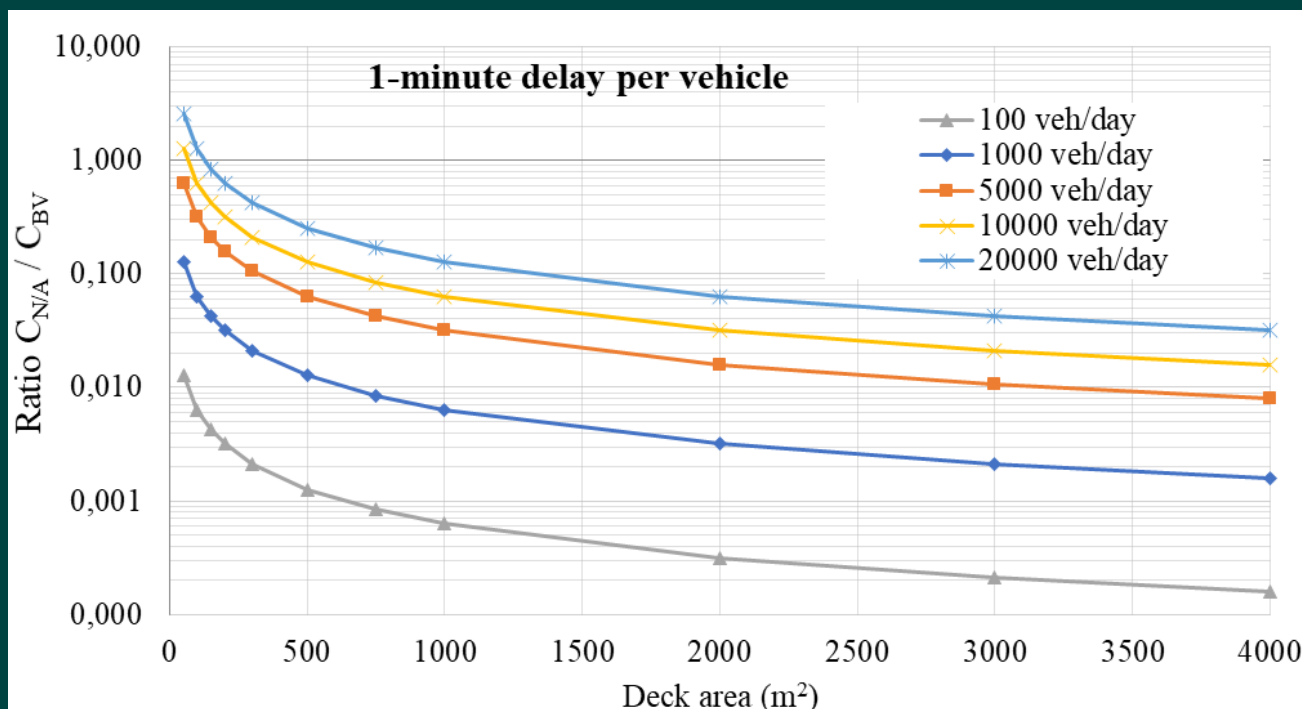
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

Definicija troškova

- Trošak zatvaranja mosta – postotak vrijednosti mosta C_{BV} , prosječnog dnevnog prometa i procjene produljenja putovanja – (delay)



- Za detaljnu procjenu troškova vidi:

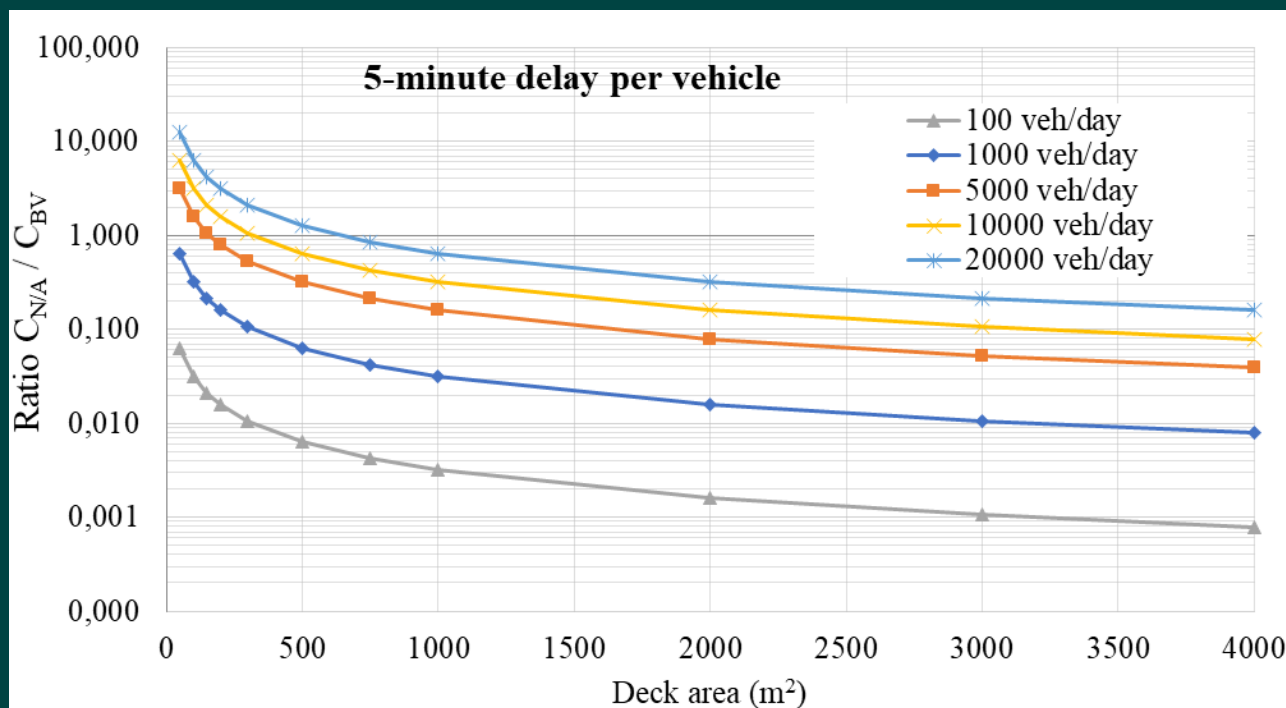
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

Definicija troškova

- Trošak zatvaranja mosta – postotak vrijednosti mosta C_{BV} , prosječnog dnevnog prometa i procjene produljenja putovanja – (delay)



- Za detaljnu procjenu troškova vidi:

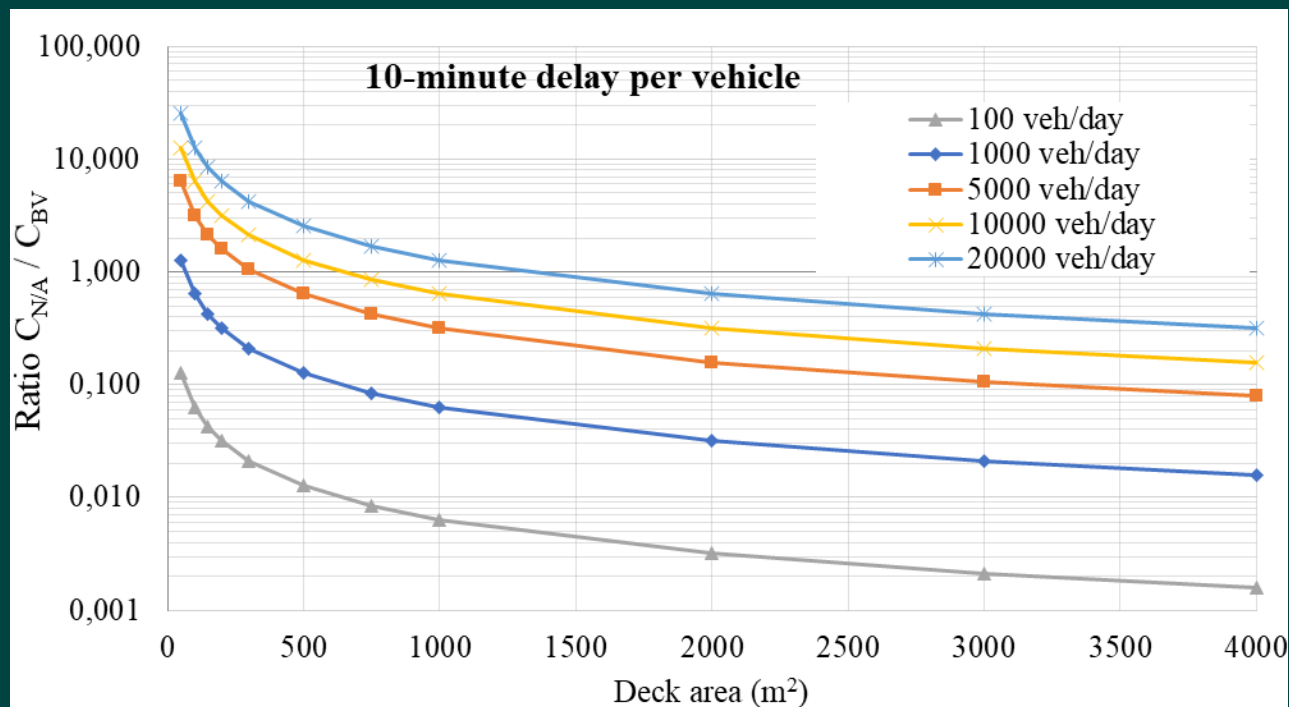
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

Definicija troškova

- Trošak zatvaranja mosta – postotak vrijednosti mosta C_{BV} , prosječnog dnevnog prometa i procjene produljenja putovanja – (delay)



- Za detaljnu procjenu troškova vidi:

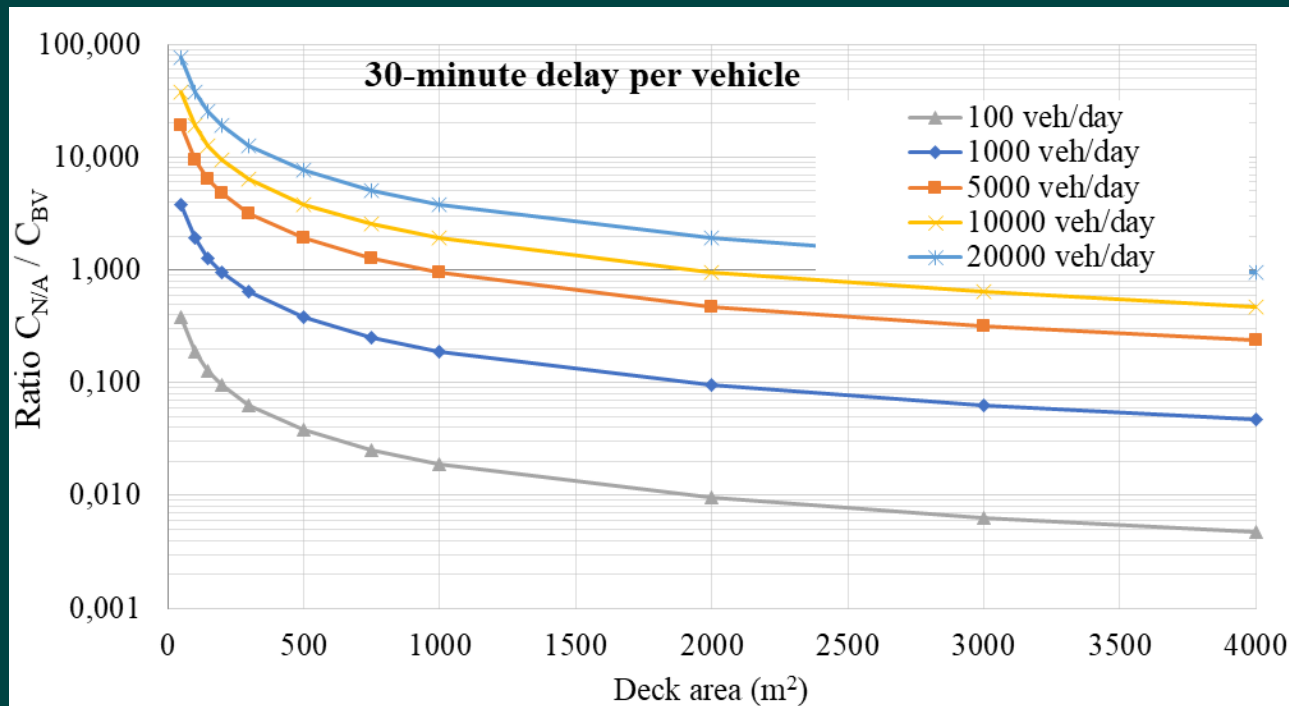
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

Definicija troškova

- Trošak zatvaranja mosta – postotak vrijednosti mosta C_{BV} , prosječnog dnevnog prometa i procjene produljenja putovanja – (delay)



- Za detaljnu procjenu troškova vidi:

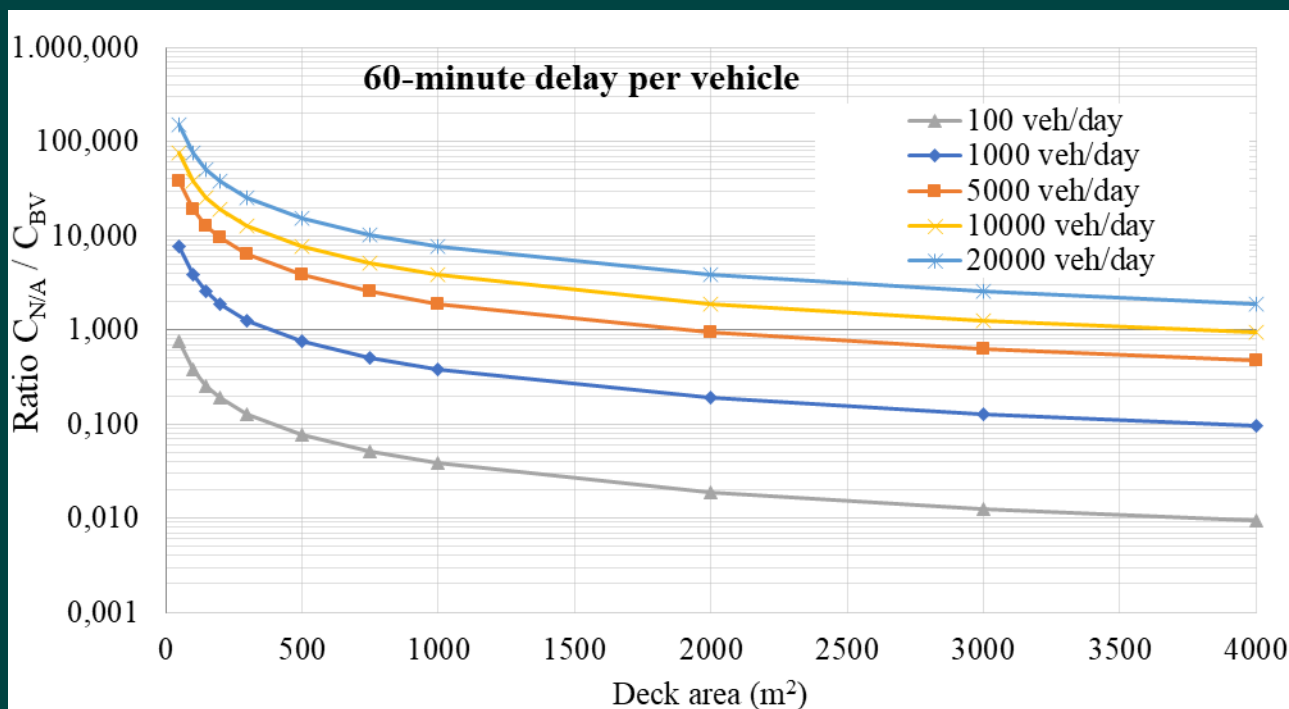
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

3. Vrednovanje prikupljenih informacija – Vol analiza

Cost – benefit analiza ulaganja u monitoring

Definicija troškova

- Trošak zatvaranja mosta – postotak vrijednosti mosta C_{BV} , prosječnog dnevnog prometa i procjene produljenja putovanja – (delay)



- Za detaljnu procjenu troškova vidi:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2020.1857795>

4.Primjer

Case Study bridge

■ Definicija troškova

- Procjena troškova gradnje $C_0=1300$ [EUR /m²]
- Važnost mosta:
- Autocesta $G_{RC} = 5$
- Prosječan dnevni promet 40 000 $G_{AADT} = 3$
- Udaljenost obilaska 12 km $G_{DD} = 3$
- Najveći raspon 24,8 m $G_{LS} = 3$
- Ukupna udaljenost 34,50 m $G_{DD} = 2$

$$f_B = 1 + f_{BI,NET}$$

$$f_{BI,NET} = \frac{1}{5} \cdot [0,25 \cdot (5 + 3 + 3) + 0,125 \cdot (3 + 2)] = 0,675$$

$$f_B = 1 + f_{BI,NET} = 1,675$$

$$C_{BV} = f_B \cdot C_0 = 1,675 \cdot 1300 = 2.177,50 \text{ [EUR /m}^2\text{]}$$

4.Primjer

Case Study bridge

- Definicija troškova
 - Troškovi popravka
 - Ovisno o vjerojatnosti otkazivanja

Assessment level	Reliability level	Bridge state	Factor f_{REP}	Repair costs C_{REP}
1 st level	$\beta_0=3,219$	3	29,15	$0,2915 \cdot C_{BV}$
2 nd level	$\beta_{B-WIM, short}=5,367$	1	1,00	$0,01 \cdot C_{BV}$
3 rd level	$\beta_{B-WIM, long}=6,551$	1	1,00	$0,01 \cdot C_{BV}$

- Troškovi monitoringa

Assessment level	1 st level	2 nd level	3 rd level
Monitoring costs C_{SHM} [EUR]	0,00	12.820,48	77.564,10
Monitoring costs C_{SHM} as a percentage of bridge value	0	$0,0141 \cdot C_{BV}$	$0,0854 \cdot C_{BV}$

4.Primjer

Case Study bridge

■ Definicija troškova

■ Troškovi zatvaranja mosta

Assessment level	Bridge state	Prolonged travel time per vehicle [min]	Reconstruction period [months]	N/A costs $C_{N/A}$ [EUR]	N/A costs
1 st level	3	1,0	3,5	1.785.500,00	$1,965 \cdot C_{BV}$
2 nd level	1	0,125	1,0	63.750,00	$0,070 \cdot C_{BV}$
3 rd level	1	0,125	1,0	63.750,00	$0,070 \cdot C_{BV}$

■ Svi ulazni podaci za decision tree (Vol analiza):

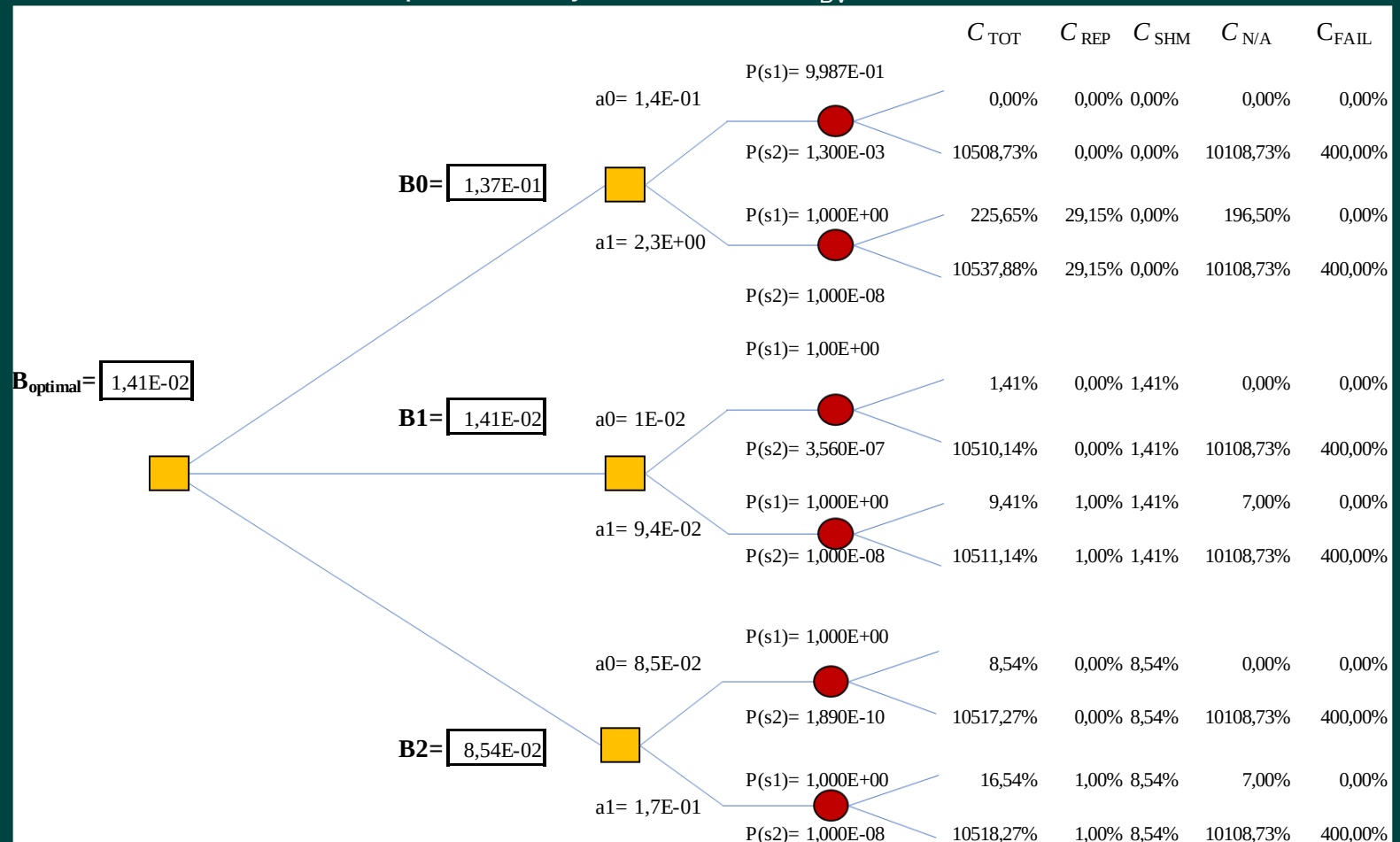
Scenario	C_{REP}	C_{SHM}	$C_{N/A}$	P_f - initial	P_f - after repair
B_0	$0,2915 \cdot C_{BV}$	0	$1,965 \cdot C_{BV}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$	10^{-8}
B_1	$0,01 \cdot C_{BV}$	$0,0141 \cdot C_{BV}$	$0,070 \cdot C_{BV}$	$3,56 \cdot 10^{-7}$	10^{-8}
B_2	$0,01 \cdot C_{BV}$	$0,0854 \cdot C_{BV}$	$0,070 \cdot C_{BV}$	$1,89 \cdot 10^{-10}$	10^{-10}

4.Primjer

Case Study bridge

Rezultati

Prikaz rezultata kao postotak vrijednosti mosta C_{BV}

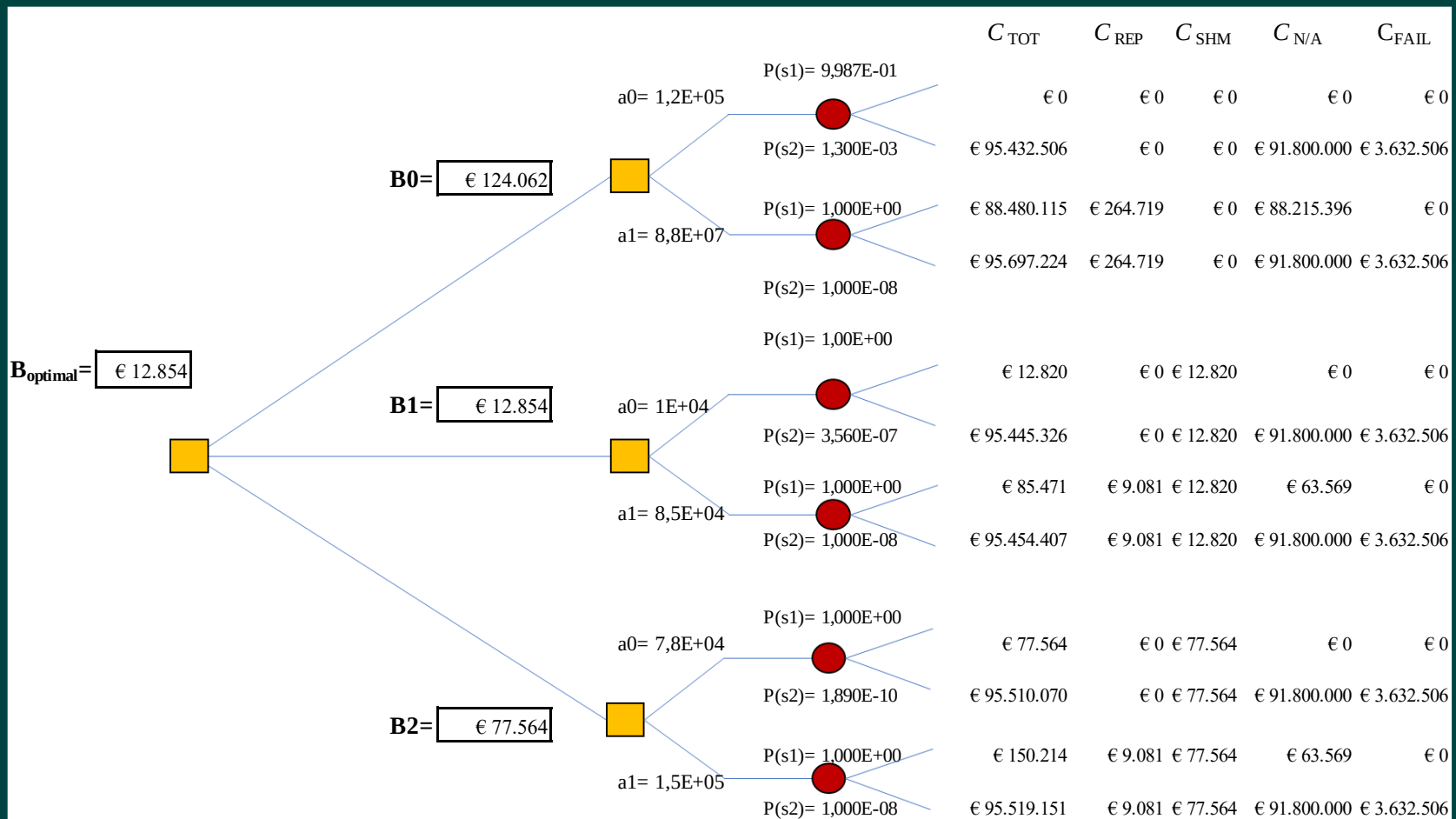


4.Primjer

Case Study bridge

Rezultati

Prikaz rezultata kao apsolutna vrijednost u EUR



4.Primjer

Case Study bridge

Rezultati

Tablični prikaz rezultata

Scenario	Action	C_{TOT} as a percentage of C_{BV}	C_{TOT} as absolute value [EUR]
B_0	Do nothing	13,66%	124.062,26
	Repair	225,65%	88.480.114,98
B_1	Do nothing	1,41%	12.854,45
	Repair	9,41%	85.471,54
B_2	Do nothing	8,54%	77.564,12
	Repair	16,54%	150.215,16

- Zaključak – najisplativiji scenarij je ulaganje u kratkotrajni monitoring
- Kao rezultat kratkotrajnog monitoringa (B_1) nije potreban popravak mosta te je trošak sveden na minimum

4. Zaključci

□ Zaključci

- Zaključak – kompleksnije ocjene stanja postojećeg mosta koje koriste monitoring daju povoljnije rezultate
- **Monitoring je potrebno DOBRO PLANIRATI** – kako ne bi došlo do bespotrebnog trošenja sredstava
- **Most iz primjera – dugotrajni monitoring bespotreban, najbolje rezultate daje kratkotrajni monitoring**
- Određivanje vrijednosti monitoringa iz primjera:

$$V_{B-WIM,short} = \frac{B_{B-WIM,short} - B_0}{B_0} = \frac{-12.854,53 - (-124.062,26)}{|-124.062,26|} = 0,89 = \mathbf{89\%}$$

$$V_{B-WIM,long} = \frac{B_{B-WIM,long} - B_0}{B_0} = \frac{-77.564,12 - (-124.062,26)}{|-124.062,26|} = 0,37 = \mathbf{37\%}$$

- Problematika predložene metode – procjena troškova je vrlo kompleksna i teško je obuhvatiti sve mostove
- Koristiti je kao referencu – svaki most analizirati zasebno!

7. Zaključci

Ocjena mostova na prometno djelovanje

- ❑ Prometno opterećenje
 - Dominantno ali i varijabilno opterećenje na mostove
 - Trenutne norme konzervativne – nisu pogodne za ocjenu stanja starijih mostova
- ❑ Mjerenje prometa na mostovima
 - Metoda kojom se dobivaju podaci o prometu ali i o stanju mosta
 - Daje odlične rezultate ali je nužna visoka razina znanja
- ❑ Pristup proračunu
 - Probabilistički pristup i nelinearna analiza daju najbolje rezultate
 - Nedostatak je potrebno znanje te razina subjektivnosti kod probabilističkog pristupa
- ❑ Zakonski propisi i norme za postojeće mostove
 - U RH **ne postoje zakonski propisi i norme za postojeće mostove!**
 - Potrebno što prije krenuti u izradu zakonodavnog okvira