



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.

Izbor cijevnog materijala putem tehničko-ekonomske analize

D. Stipanić , L. Zaharija , D. Holjević. i V. Travaš

Davor Stipanić, mag. ing. aedif., Hidromodeling d.o.o., Rijeka

Luka Zaharija, mag. ing. aedif., Hidromodeling d.o.o., Rijeka

Dr. sc. Danko Holjević, dipl. ing. građ., Hrvatske vode, Rijeka

Dr. sc. Vanja Travaš, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet, Rijeka

Sadržaj

- Uvod
- Kriterij otkazivanja
 - Korozija cijevnog materijala
 - Defleksija tjemena cijevi
 - Izvijanje stijenke cijevi
 - Prekoračenje granice popuštanja
 - Prekoračenje kritičnog naprezanja savijanja cijevi
- Vjerojatnost otkazivanja
- Algoritam
- Numerički primjer
- Zaključak



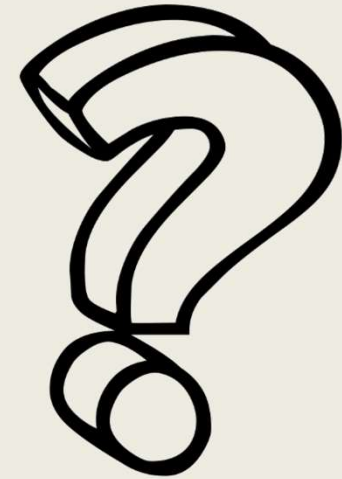
Uvod



Iskustvo:

< 300 mm PEHD

> 300 mm DUKTIL



Svaki slučaj je **jedinstven** i okarakteriziran s velikim brojem varijabli koje posjeduju stanovitu nesigurnost i uvjetuju **stohastičku analizu**.



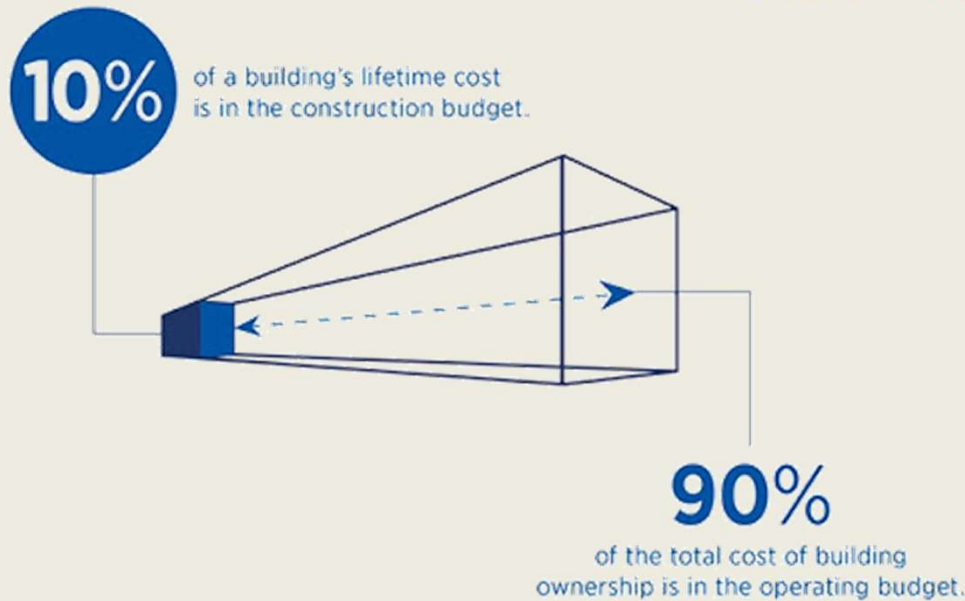
Uvod

tehnički kriterij: zadovoljavanje hidrauličkih uvjeta

ekonomski kriterij:

$$C_{LCC}(t) = \underbrace{C_i}_{\text{inicijalni trošak}} + \sum_{j=1}^t \underbrace{C_o(j)}_{\text{trošak održavanja}} + \sum_{j=1}^t \underbrace{C_f(j)}_{\text{trošak popravka}} p_{f,j}$$

↑
vjerojatnost otkazivanja



Kriterij otkazivanja

$$F(x_i) = \bullet_c - \bullet_m$$

granična funkcija (područje sloma) kritična vrijednost mobilizirana vrijednost

indikator funkcija

$$I(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{ako } x \in F \\ 0 & \text{ako } x \notin F \end{cases}$$

vjerojatnost otkazivanja

$$p_f = \int_{\square^k} I(x_i) \pi(x_i) dx$$



Kriterij otkazivanja

Korozija cijevnog materijala

$$w_c(t) = \beta t^\alpha$$

Ref: Ahammed i Melchers (1997)

Model se može koristiti i za redukciju krutosti nekorozivnih materijala koji podliježu drugim nepovoljnim kemijskim procesima.

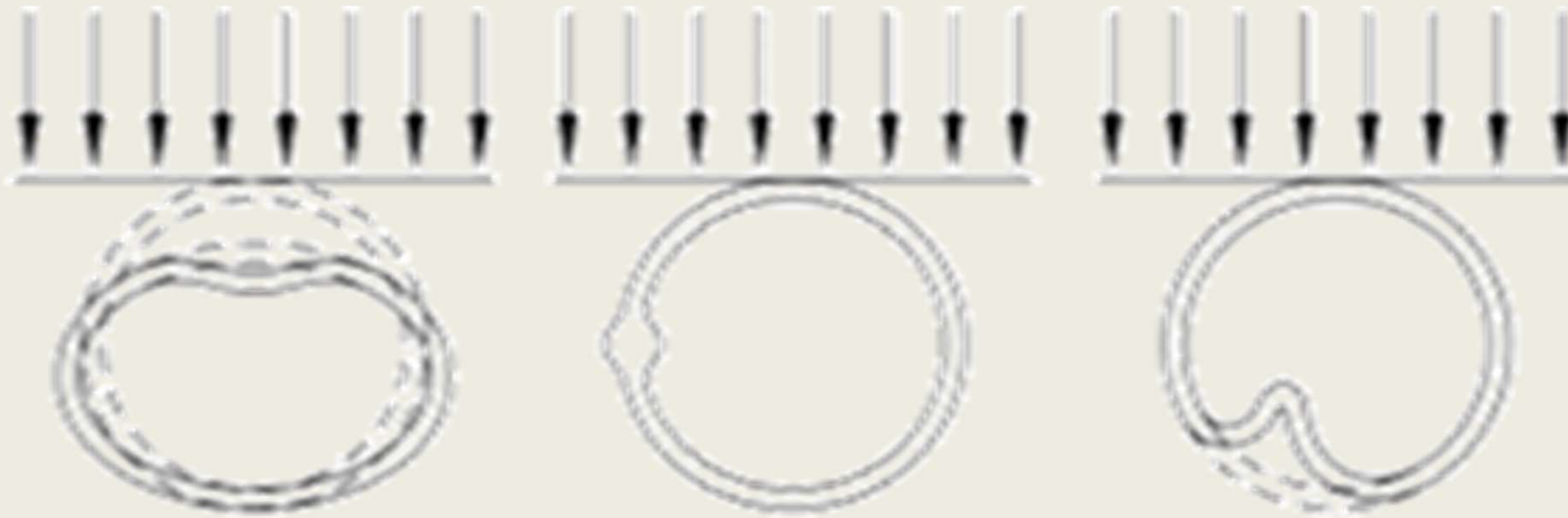


moment inercije

$$I_m(t) = \frac{(w_0 - w_c(t))^3}{12}$$



Kriterij otkazivanja



Defleksija
tjemena cijevi

Prekoračenje
granice popuštanja

Izvijanje
stijenke cijevi

Kriterij otkazivanja

Defleksija tjemena cijevi

Prekoračenje granice popuštanja

Izvijanje stijenke cijevi

Prekoračenje kritičnog naprezanja savijanja

k. vrijednost: od 2 do 7% D

Ref: De Leon i Macías (2005)

m. vrijednost:

$$\frac{\Delta x}{D} = \frac{k_b \left((p_s + p_w) D_L + p_r \right)}{8 \frac{E_p I_m(t)}{D^3} + 0.061 E'_s}$$

$$p_s = R_w \rho_s g h_s (1 + k_0) \tan(f_p)$$



Kriterij otkazivanja

Defleksija tjemena cijevi

Prekoračenje granice popuštanja

Izvijanje stijenke cijevi

Prekoračenje kritičnog naprezanja savijanja

k. vrijednost: $t_c = f_y \left(w_0 - w_c(t) \right) \phi_t$

Ref: Babu i Srivastava (2010)

m. vrijednost: $t_t = 1.3 \left(1.5 p_s \phi_{vaf} + 1.67 p_r + p_w \right) \frac{D_p}{2}$

—
faktor
krutosti
obruča tla



Kriterij otkazivanja

Defleksija tjemena cijevi
Prekoračenje granice popuštanja

Izvijanje stijenke cijevi

Prekoračenje kritičnog naprezanja savijanja

k. vrijednost:
$$p_c = \sqrt{32 R_w B' E'_s \frac{E_p I(t)}{D^3}}$$

Ref: Carrier (2005)

m. vrijednost: ukupni tlak na stijenu cijevi

koeficijent elastične podloge

$$B' = \frac{1}{1 + 4 \exp(-0.213 h_s)}$$



Kriterij otkazivanja

Defleksija tjemena cijevi
Prekoračenje granice popuštanja
Izvijanje stijenke cijevi
Prekoračenje kritičnog napreznja savijanja

k. vrijednost: preuzeto iz kataloga

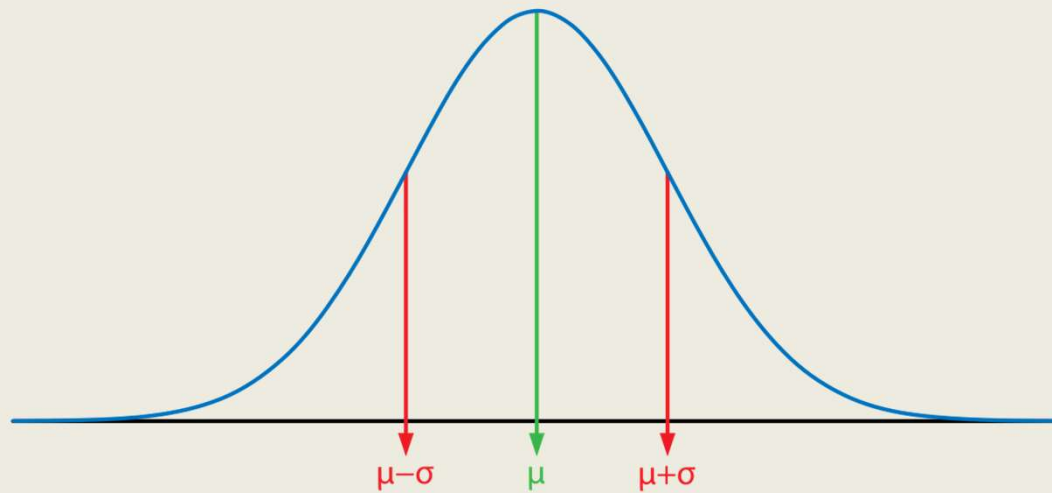
m. vrijednost:

$$\sigma_b = 2s_f \frac{\Delta y(t) E_p \frac{(w_0 - w_c(t))}{2}}{D^2}$$

Ref: Watkins i Anderson (2000)



Vjerojatnost otkazivanja



$$\mathcal{N}(\mu_j, \sigma_j)$$

Sve ulazne veličine su definirane pripadajućim funkcijama gustoća vjerojatnosti

Mote Carlo metoda

+

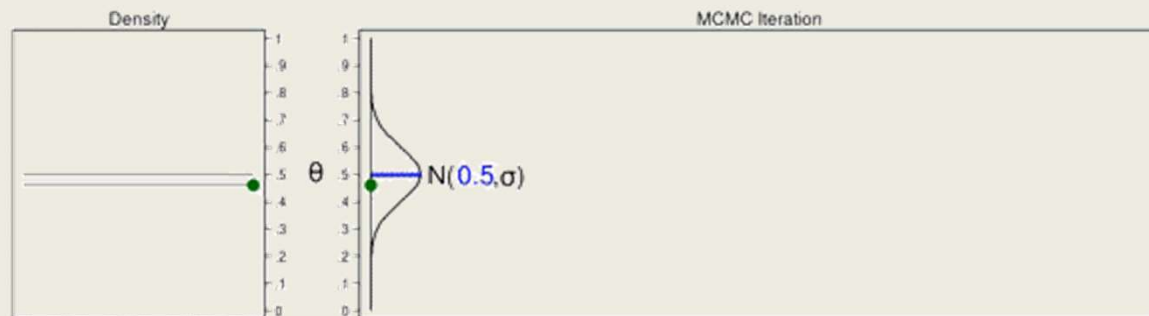
Subset metoda

+

Markovljevi lanci



Vjerojatnost otkazivanja



Draw $\theta_t \sim \text{Normal}(0.5, \sigma) = 0.460$

$$p_f = \frac{n_f}{n_s} \quad \begin{array}{l} \text{broj otkazivanja} \\ \text{broj uzorka} \end{array}$$



Algoritam

inicijalizacija

For $t = 1$ do *broj godina*

Ref: Zaharija, Stipanić, Holjević i Travaš (2020)

- > ispitivanje kriterija otkazivanja
- > proračun vjerojatnosti otkazivanja
- > Subset metoda
- > komplementarna vjerojatnost otkazivanja
- > ispis rezultata za tekuću godinu

End For

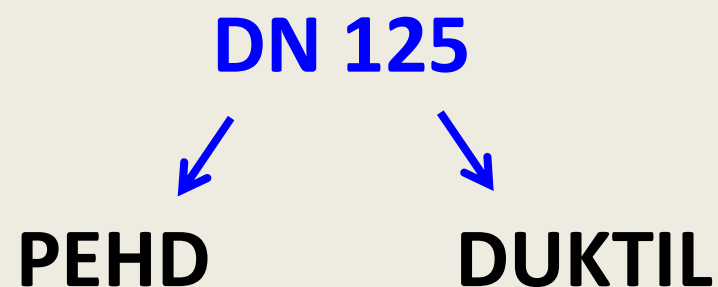
komplementarna vjerojatnost otkazivanja

$$\max(p_{f,j}) \leq p_{f,j} \leq 1 - \prod_{j=1}^r (1 - p_{f,j})$$



Numerički primjer

Definiranje cijevi



tip parametra	oznaka	dimenzija
unutarnji promjer	D_i	mm
vanjski promjer	D_o	mm
debljina stijenke	t_p	mm
modul elastičnosti	E_p	GPa
granica popuštanja	f_y	MPa
kritično naprezanje savijanja	σ_c	MPa
kut trenja na dodiru s tlom	f_p	°
postotak kritične defleksije	γ_c	% promjera D
multiplikacijski koeficijent	β	1
eksponencijalni koeficijent	α	1

srednja vrijednost μ	standardna devijacija σ	srednja vrijednost μ	standardna devijacija σ
123.4	-	125	-
140	-	144	-
8.3	0.001	9.5	0.001
0.8	0.01	160	5
26	1	414	2
20	1	200	3
20	1	22	1
8	1	2	1
0.1	0.01	2.1	0.005
0.7	0.001	0.229	0.0015



Numerički primjer

Definiranje tla

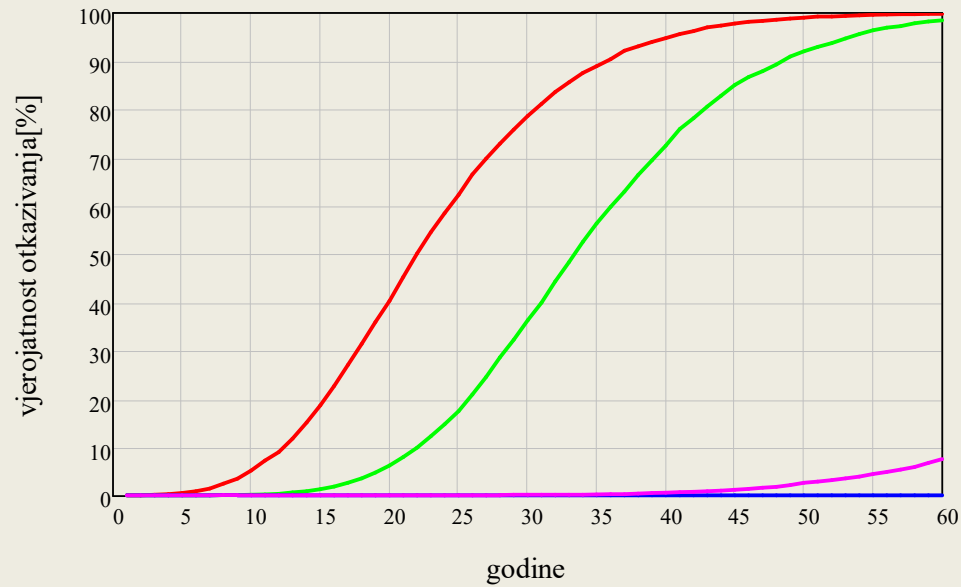
tip parametra	oznaka	dimenzija	srednja vrijednost μ	standardna devijacija σ
visina zasipa	h_s	m	1.5	0.2
razina podzemne vode	h_w	m	0.5	0.1
gustoća tla	ρ_s	kg/m ³	1800	5
modul elastičnosti tla	E_s	MPa	1	0.05
Poissonov broj tla	ν_s	1	0.3	0.003
kut unutarnjeg trenja tla	f_s	°	30	1.5
koeficijent modula reakcije tla	k_s	1	1	0.01
koeficijent defleksije	k_b	1	0.11	0.001
prometno opterećenje	p_r	KPa	100	5



Numerički primjer

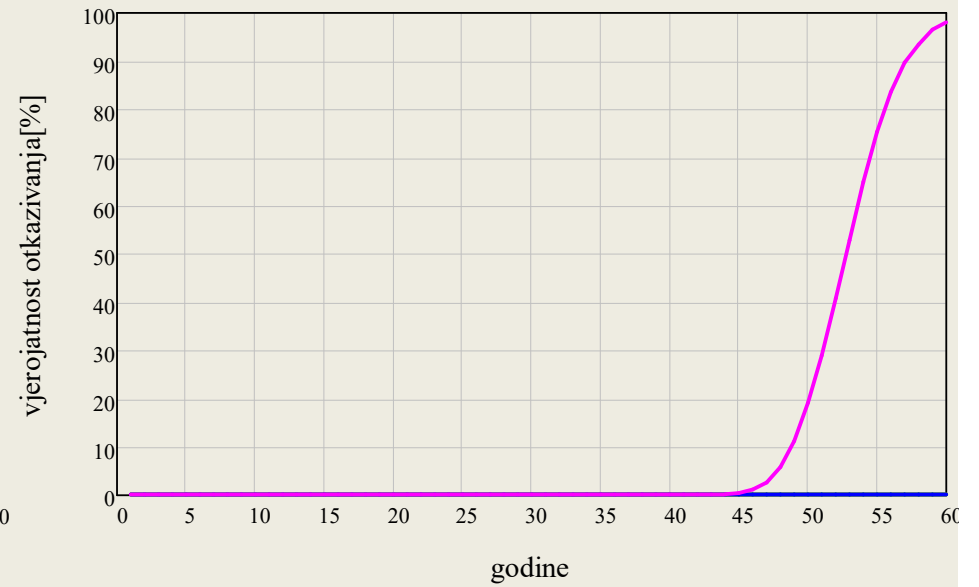
Vjerojatnosti otkazivanja

PEHD



- kriterij defleksije
- kriterij izvijanja stjene cijevi
- kriterij granice popuštanja
- kriteriji kritičnog naprezanje savijanja

DUKTIL

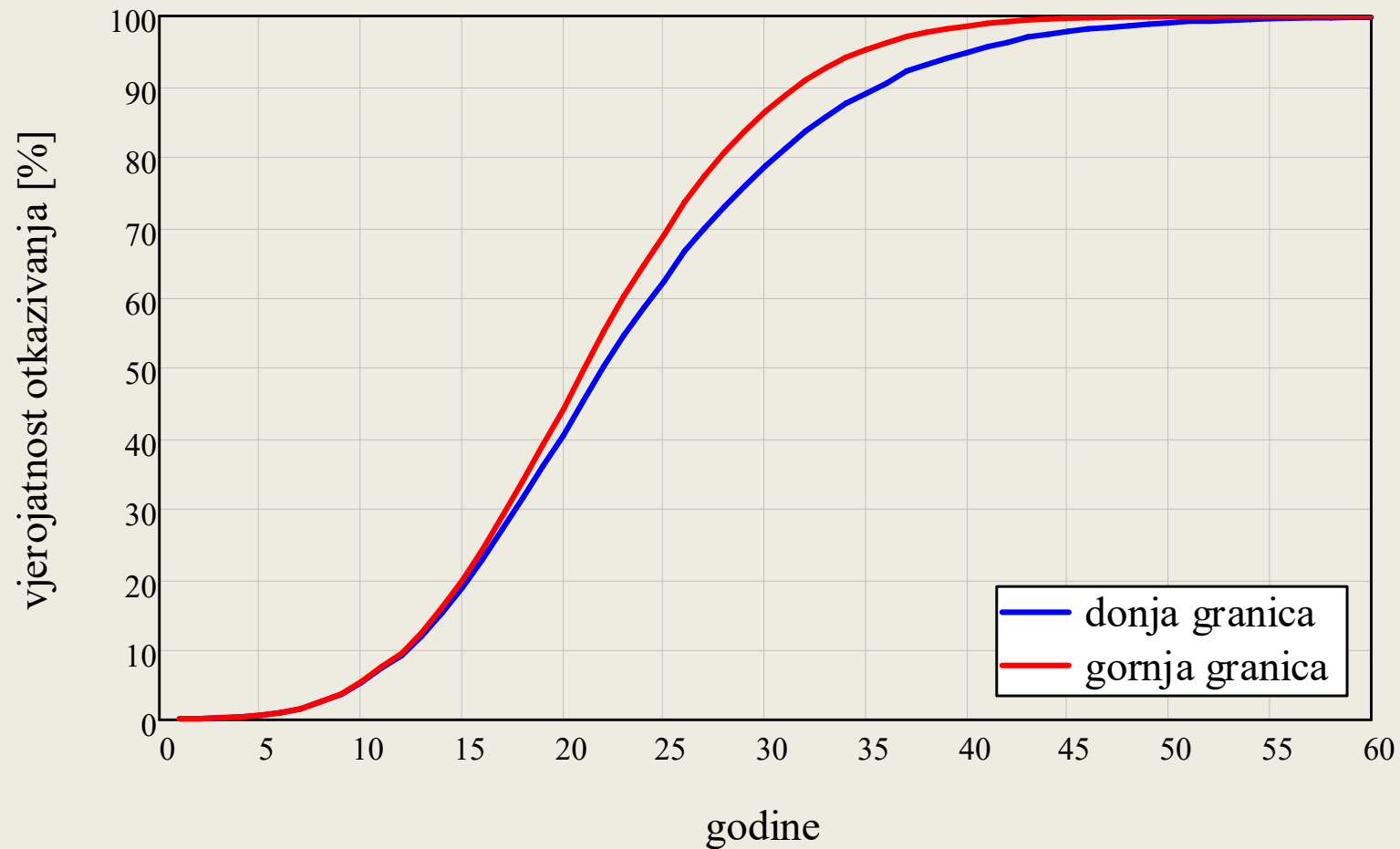


- kriterij defleksije
- kriterij izvijanja stjene cijevi
- kriterij granice popuštanja
- kriteriji kritičnog naprezanje savijanja



Numerički primjer

Komplementarna vjerojatnost otkazivanja za PEHD cijev



Numerički primjer

Definiranje troškova

$$C_{LCC}(t) = \underbrace{C_i}_{\text{inicijalni trošak}} + \sum_{j=1}^t \underbrace{C_o(j)}_{\text{trošak održavanja}} + \sum_{j=1}^t \underbrace{C_f(j)}_{\text{trošak popravka}} p_{f,j}$$

↑
vjerojatnost otkazivanja

↓ ↓ ↓

normalizacija % C_i % C_i

2.3 PEHD=DUKTIL



Numerički primjer

Relativni troškovi vijeku građevine (i duže...)



Zaključak

- Algoritam uzima u obzir specifičnost lokacije ukopa cijevi
- Broj kriterija otkazivanja je proizvoljan
- Broj komparacija cijevnih materijala je proizvoljan
- Provodi opsežnu stohastičku analizu (pouzdanost rezultata)
- Definira ukupni troška u vijeku građevine
- **Naredna istraživanja:** Analiza mehaničkih karakteristika već postavljenih cijevi za koje je prošao projektantski vijek građevine (kalibracija modela)

Hvala Vam na pažnji

