

# Kapacitivni senzor nivoa

Munćan Simon EM3/20

Sabolč Erdei EM4/20

## Uvod

U ovom projektu ćemo se baviti sa kapacitivnom senzorom nivoa. Sam senzor se zasniva na principu merenje kapacitivnosti. Ovi senzori imaju veoma širok spektar upotrebe. Kapacitivni senzor je danas najpouzdaniji tip senzora kako u pogledu cene tako i u pogledu efikasnosti primene.

## Komponente

Senzor se sastoji od:

- 2 bakarne cevi
- 2 bakarne žice

Dimenzije cevi:

- 15.20mm prečnik unutrašnjeg dela
- 24.4mm prečnik spoljašnjeg
- 14.67mm dužina senzora



Slika 1: Dve bakarne cevi

## Proračun

Za izračunavanje kapacitivnosti koristimo sledeću jednačinu:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S/d$$

gde je,

C - kapacitivnost

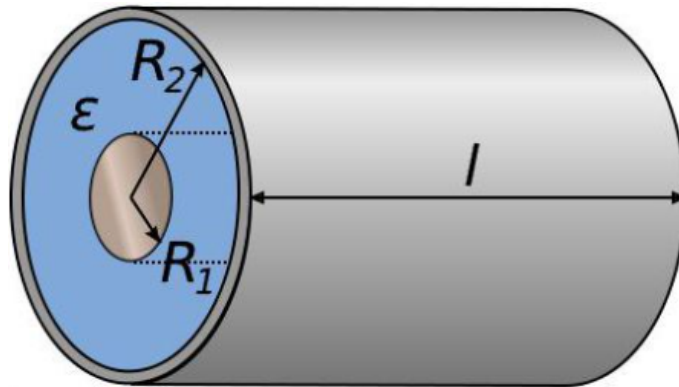
$\epsilon_0$  - dielektrična konstanta vakuumu

$\epsilon_r$  - relativna dielektrična konstanta

S - površina poprečnog preseka

d - udaljenost između metalnih ploča

Ukoliko se na  $S$ ,  $d$  ili  $\epsilon$  utiče nekom neelektričnom veličinom, tada kapacitet  $C$  zavisi od te veličine, pa se na taj način dobija kapacitivni senzor. U našem slučaju menjaće se  $\epsilon$  dok će ostale veličine biti konstante.



**Slika 2: Kondenzator**

$$R_1 = 7.6\text{mm}$$

$$R_2 = 12.2\text{mm}$$

$$l = 14.67\text{mm}$$

$$\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

Formula:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)}$$

Kapacitivnost u vazduhu ( $\epsilon_r = 1$ ):

$$C_1 = 3.301076082 \text{ pF} - \text{minimalna kapacitivnost}$$

Kapacitivnost u vodi na 20 °C ( $\epsilon_r = 80.2$ ):

$$C_2 = 332.0843607 \text{ pF} - \text{maksimalna kapacitivnost}$$

Tabela različnih dielektričnih konstanti pri određenoj temperaturi:

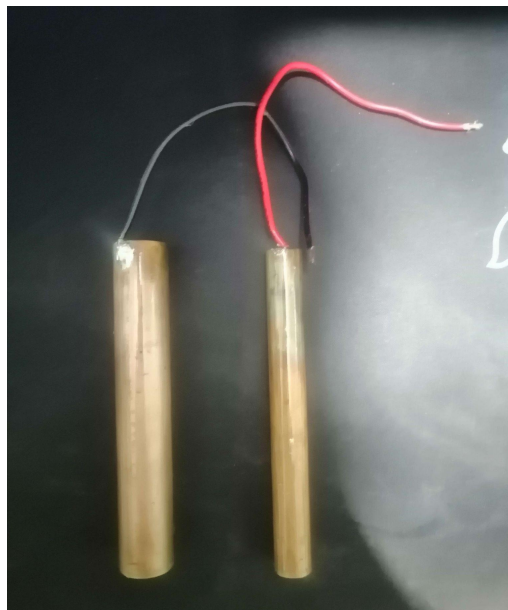
materijal ↕	$\epsilon_r$ ↕
vakuum	1 (po definiciji)
vazduh	$1,000,589,86 \pm 0,000,000,50$ <sup>[1]</sup>
teflon	21
beton	45
staklo	47 (3.7–10)
guma	7
dijamant	5.5–10
so	3–15
grafit	10–15
silikon	1.168
metanol	30
glicerol	41.2, 47, 42.5 (0, 20, 25 °C)
voda	87.9, 80.2, 55.5 (0, 20, 100 °C) <sup>[2]</sup> za vidljivu svetlost: 1.77

**Slika 3:** Dielektrična konstanta za različite materijale

## Postupak izrade

Prvi korak je da zalemimo bakarne žice za cevi. Potrebno ih je dobro izolovati. Mi smo za to koristili lak za metal, s čim smo prešli 4 puta.

Na dobro izolovanoj cevi otpornost u slanoj vodi treba da bude veća od 10MΩ. Nakon izolacije proveravamo otpornost.



**Slika 4:** Zalemljene žice za cevi

Možemo nastaviti sa daljom izradom senzora. Ove dve cevi treba spojiti da bi dobili oblik cilindričnog kondenzatora, kao što je prikazano na sledećoj slici.



**Slika 5:** Senzor nivoa

## Testiranje i merenje

Testiranje senzora smo vršili tako što smo povezali merni instrument sa senzorom. Senzor smo stavili u posudu tako da se ne pomera, a sa strane te posude smo stavili lenjir gde smo pratili nivo vode.



**Slika 6:** *Testiranje senzora*

Prvo smo sipali vode do 10cm sa koracima od 1cm, nakon toga smo oduzeli 10cm, centimetar po centimetar. Ovaj ciklus smo ponovili dva puta. Podatke smo dokumentovali i pomoću softvera za simulaciju iscrtali histerezis.

Nivo vode [cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapacitet [nF]	0.033	1.425	1.953	2.4	2.91	3.36	3.94	4.64	5.48	5.97	6.7

**Tabela 1: Prvi ciklus merenja - nivo raste**

Nivo vode [cm]	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Kapacitet [nF]	6.7	5.06	4.54	3.81	3.23	2.75	2.2	1.68	1.156	0.685	0.291

**Tabela 2: Prvi ciklus merenja - nivo opada**

Nivo vode [cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapacitet [C]	0.152	0.542	1.322	1.535	2.17	2.82	3.62	4.27	4.52	5.3	5.74

**Tabela 3: Drugi ciklus merenja - nivo raste**

Nivo vode [cm]	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Kapacitet [C]	5.74	4.75	3.93	3.34	2.52	2.12	1.676	1.257	0.792	0.512	0.174

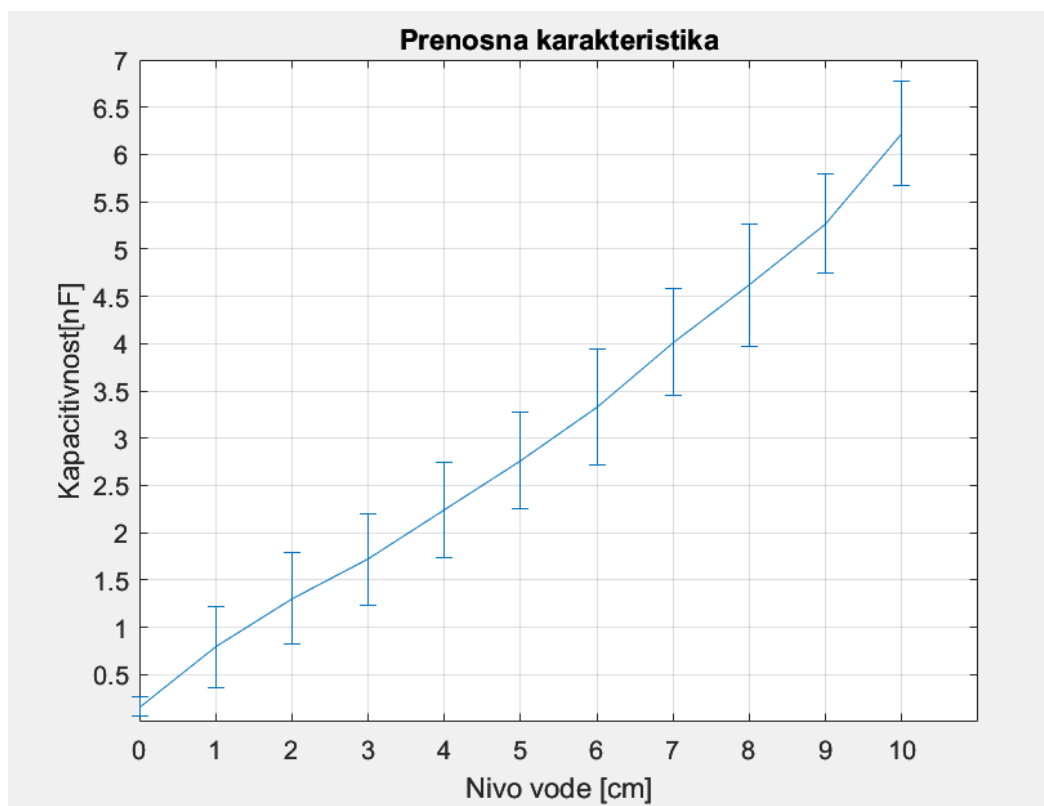
**Tabela 4: Drugi ciklus merenja - nivo opada**

Nivo vode [cm]		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapacitet [nF]	1.1	0.033	1.425	1.953	2.4	2.91	3.36	3.94	4.64	5.48	5.97	6.7
	1.2	0.291	0.685	1.156	1.68	2.2	2.75	3.23	3.81	4.54	5.06	6.7
	2.1	0.152	0.542	1.322	1.535	2.17	2.82	3.62	4.27	4.52	5.3	5.74
	2.2	0.174	0.512	0.792	1.257	1.676	2.12	2.52	3.34	3.93	4.75	5.74

**Tabela 5: Vrednosti svih merenja**

Nivo vode [cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
srednja vrednost	0.1625	0.791	1.30575	1.718	2.239	2.7625	3.3275	4.015	4.6175	5.27	6.22
standardna devijacija	0.1057118726	0.429353778	0.4849607372	0.4873663919	0.5077702893	0.5076990578	0.611630335	0.5637079622	0.6408522971	0.5181376908	0.5542562584

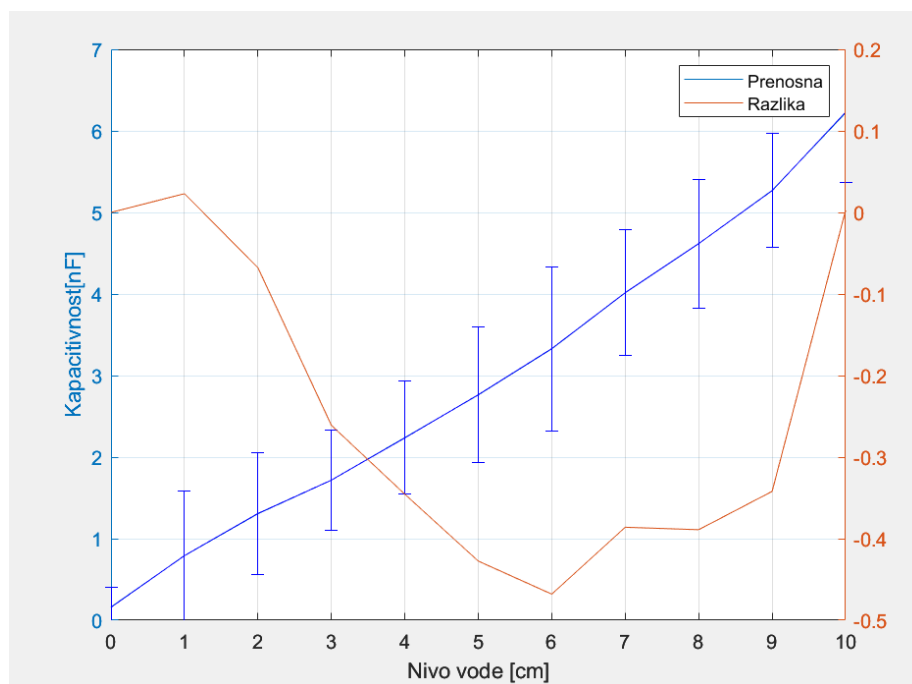
linerna prava	0.0471	0.6273	1.2075	1.7877	2.3679	2.9481	3.5283	4.1085	4.6886	5.2688	5.849
---------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------



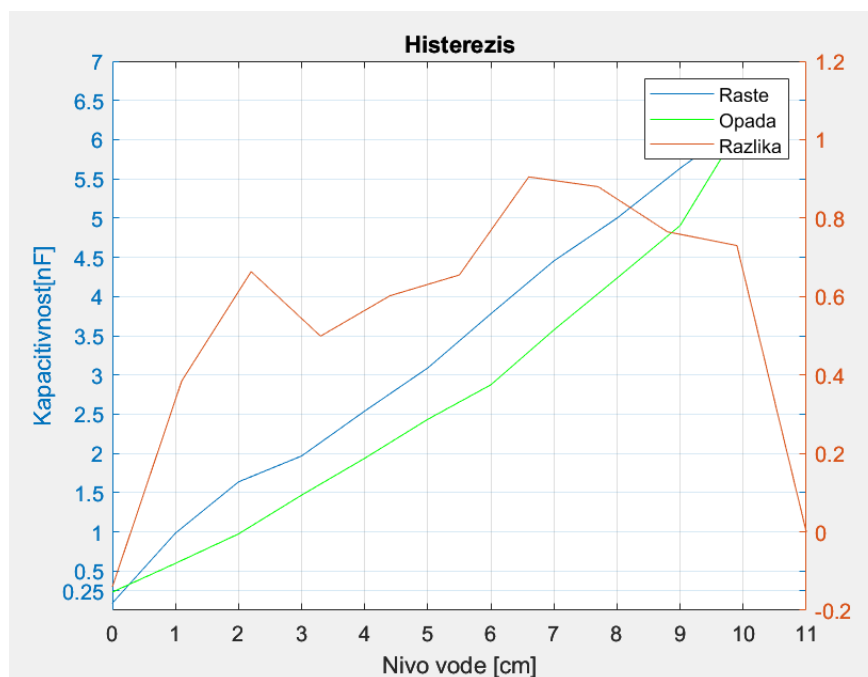
**Slika 7:** *Prenosna karakteristika i standardna devijacija*

Na prethodnom grafiku se može uočiti srednja vrednost svih merenja i merna nesigurnost svakog merenja.

Prenosna karakteristika senzora i razlika sa linearnom pravom se vidi na slici 8, dok histerezis na slici 9.



**Slika 8: Linernost senzora**



**Slika 9: Histerezis senzora**



## Zaključak

Nakon izvršenih merenja i računa dolazimo do sledećeg zaključka.

Vrednosti koje smo izračunali odnose se na idealni senzor, gde ne postoji kapacitivnost izolatora. Kod izmerenih vrednosti pojavljuje se i kapacitivnost izolatora, ne samo vode i vazduha.

Još jedan faktor nepodudaranja izračunatih i izmerenih vrednosti jeste same greške merenja. Kod idealnog kondenzatora otpornost teži u beskonačnost. Dok naš senzor ima veliku otpornost, ali i dalje konačnu.

Razlog nelinearnosti i drugačije dobijenih rezultata može biti i loše izvršeno merenje, odnosno da je prilikom merenja došlo do blagog pomeranja senzora što je dovelo do drugačijeg rezultata od željenog. Geometrijski položaj senzora utiče na dobijene rezultate, zato je bitno da se senzor ne pomera tokom merenja kapacitivnosti.

Značajan faktor je i osetljivost na relativne dielektrične konstante na delovanje tečnosti, u našem slučaju voda. Uticaj spoljnih faktora kao što su temperatura vode, magnetna polja itd. su uticala na tačnost merenja.

Promenom temperatura vode, menja se i relativna dielektrična konstanta, a to utiče na

kapacitivnost, što se vidi iz sledeće formula : 
$$C = 2\pi\epsilon_0 \epsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)}$$