



Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet



# UZORKOVANJE I DIGITALIZACIJA SIGNALA

Merenja u hidrotehnici

2. Vežba

doc. dr Damjan Ivetić

dr Miloš Milašinović

prof. dr Dušan Prodanović

# ANALOGNI I ANALOGNO/DIGITALNI SENZORI

▪ Analogni:



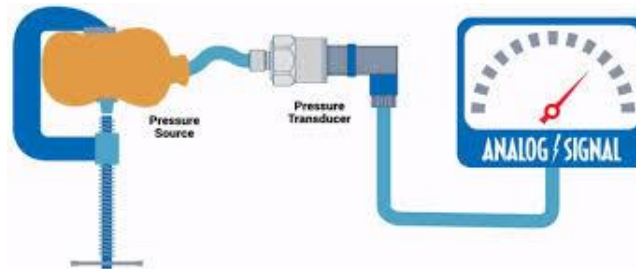
Papir i  
olovka?



Ručno uneti  
u dokument



▪ Analogno/digitalni:



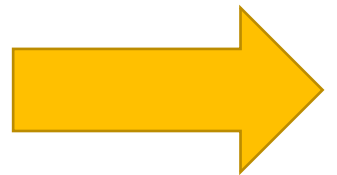
A/D konvertor



Digitalni  
zapis

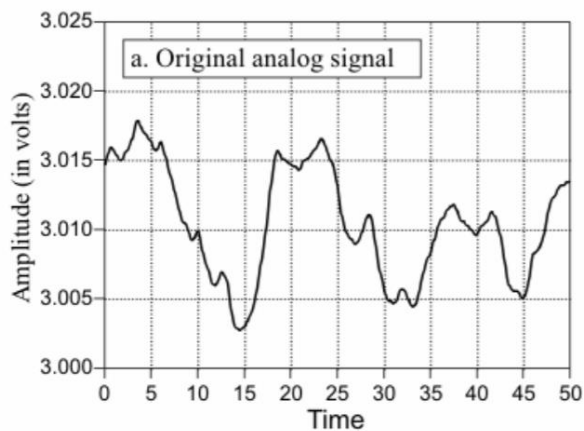
# DIGITALIZACIJA SIGNALA

- Međutim, naši senzori u osnovi detektuju **analogan signal**.
- Da bi ovaj signal zapisali u našem računaru, moramo ga **digitalizovati!**
- Digitalizacija signala se obavlja uz pomoć **A/D konvertara**, standardnog dela većine savremenih mernih instrumenata.

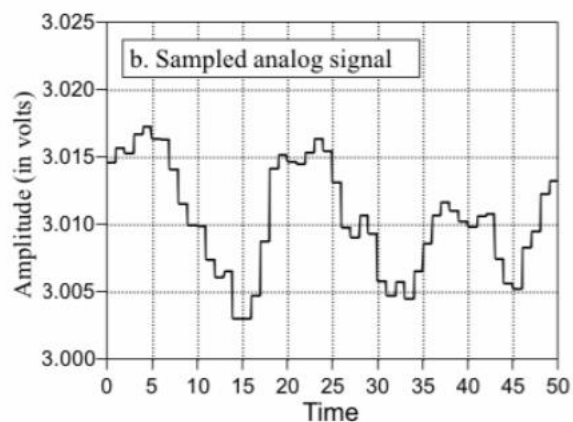


# DIGITALIZACIJA SIGNALA

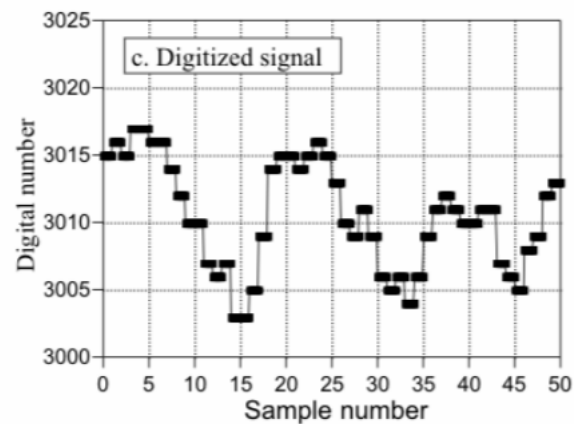
Originalni analogni signal



Uzorkovani analogni signal



Digitalizovan signal



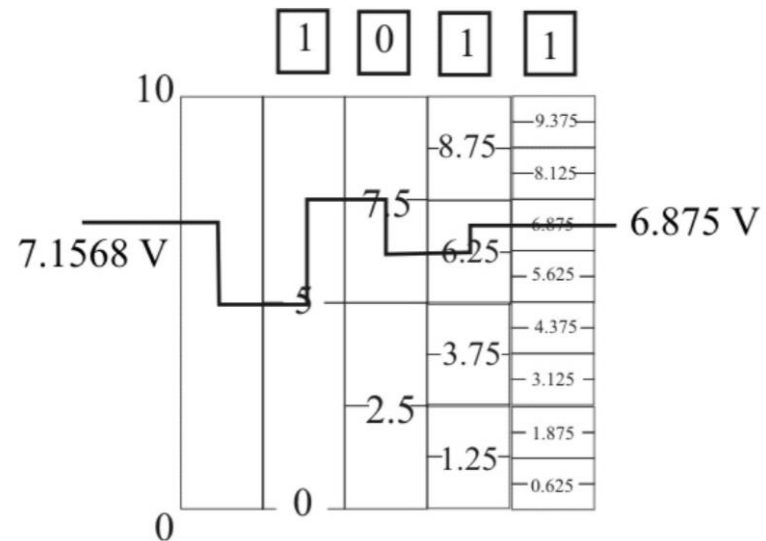
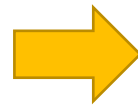
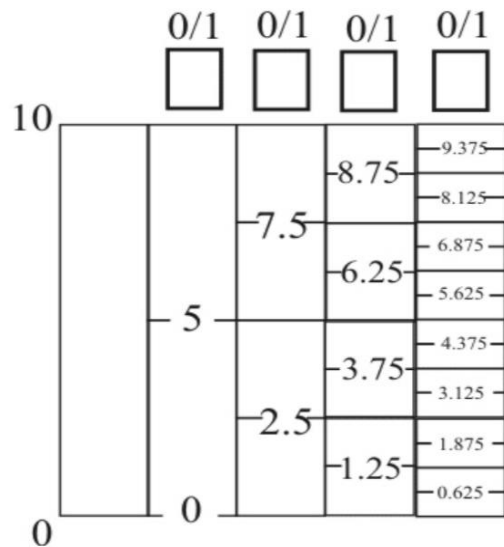
# DIGITALIZACIJA SIGNALA

- U okviru procesa digitalizacije signala, jedna od ključnih elemenata predstavlja proces **kvantizovanja signala**.
- Kvantizovanjem signala se analogna merna vrednost prevodi u digitalni format, predstavljanjem signala **u binarnom formatu**.
- Praktično, signal se aproksimira u procesu kvantizovanja, odnosno uvodi se određena **greška kvantizacije!**
- Da bi se greška kvantizacije minimizirala, neophodno je adekvatno podesiti **opseg rada** A/D konvertera, kao i koristiti konvertere sa što **većim brojem bitova za zapis signala**.



# DIGITALIZACIJA SIGNALA

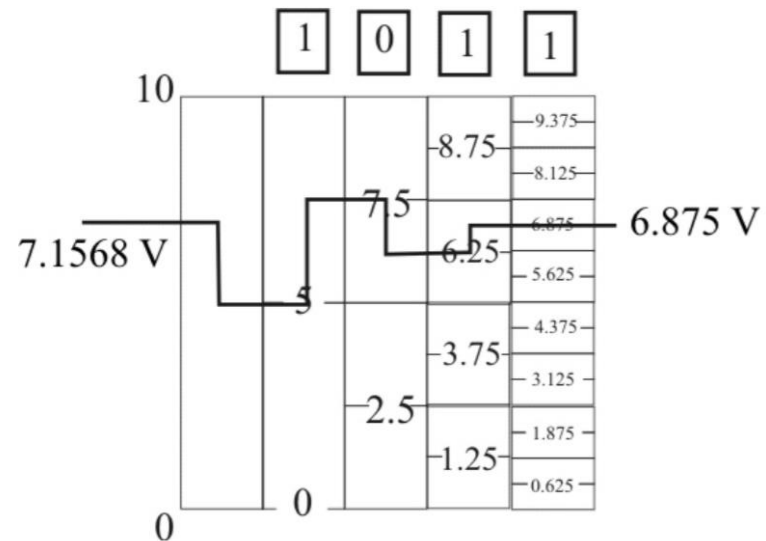
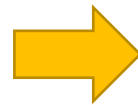
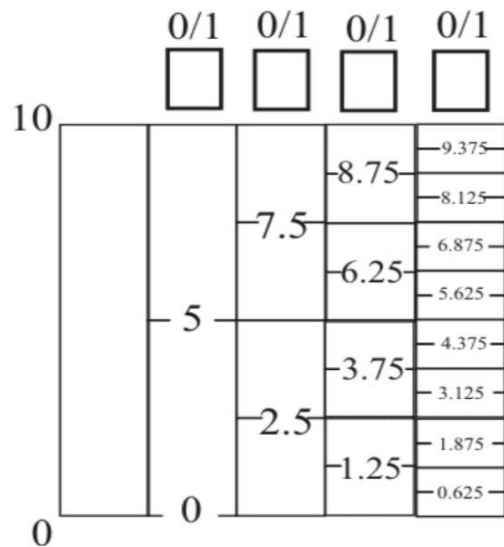
Primer konverzije strujnog signala sa 4-bitnim A/D konverterom



4-bitni A/D konverter ima  $2^4$  različitih brojeva na raspolaganju.

# DIGITALIZACIJA SIGNALA

Primer konverzije strujnog signala sa 4-bitnim A/D konverterom



Šta će se desiti ako je analogna veličina jednaka 12.5 V?

# ODABIR FREKVENCIJE UZORKOVANJA

- Generalno, mi se ne sekiramo puno oko kvaliteta A/D konvertora – **većina profesionalne merne opreme ima sasvim solidne karakteristike u ovom domenu.**
- Inače je kompromis:

Velika A/D bitaža

+ Manja greška  
kvantizacije

- Veća investicija u  
opremu.

Mala A/D bitaža

- Veća greška  
kvantizacije

+ Manja investicija u  
opremu.



# DIGITALIZACIJA SIGNALA

Korisni snimci sa youtube-a koji detaljnije opisuju ovu temu:

<https://www.youtube.com/watch?v=yipLSTKLORA>

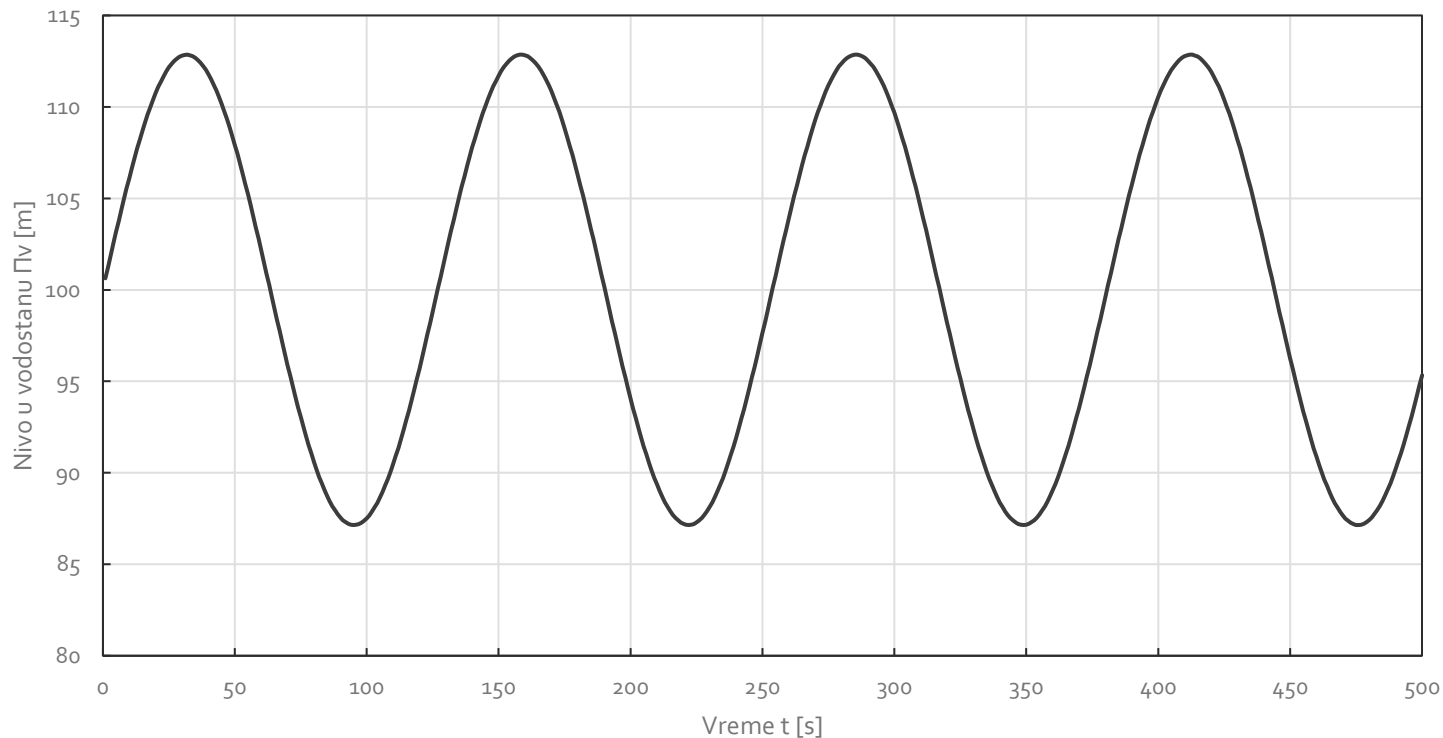
<https://www.youtube.com/watch?v=ooMokm6an-U>

# ODABIR FREKVENCIJ UZORKOVANJA

- **Periodične veličine u hidrotehnici**

Oscilacije u vodostanu (zanemareno trenje)

Šta nas „sekira“?

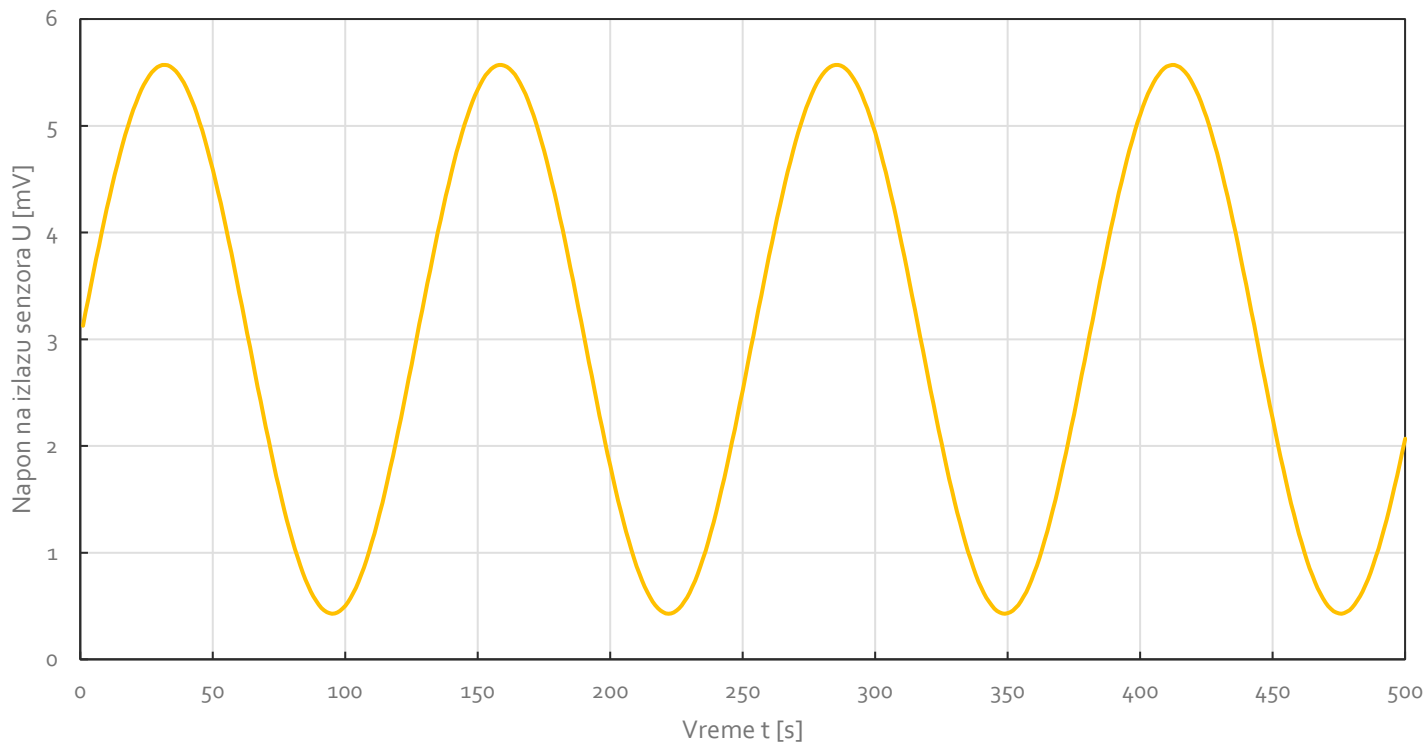


# ODABIR FREKVENCije UZORKOVANJA

- **Periodične veličine u hidrotehnici**

(kako to vidi pjezorezistivni  
senzor pritiska)

Oscilacije u vodostanu (zanemareno trenje)

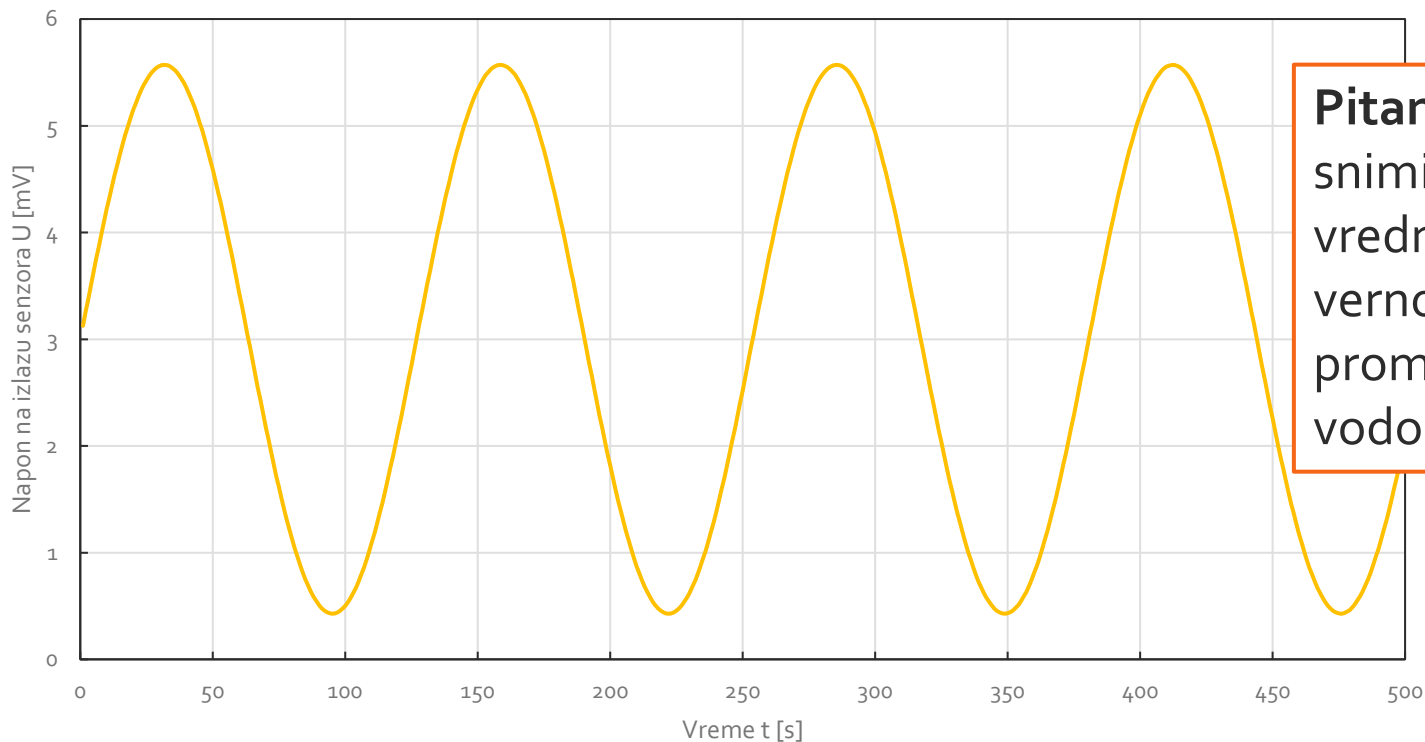


# ODABIR FREKVENCIJE UZORKOVANJA

- **Periodične veličine u hidrotehnici**

(kako to vidi pijezezistivni  
senzor pritiska)

Oscilacije u vodostanu (zanemareno trenje)



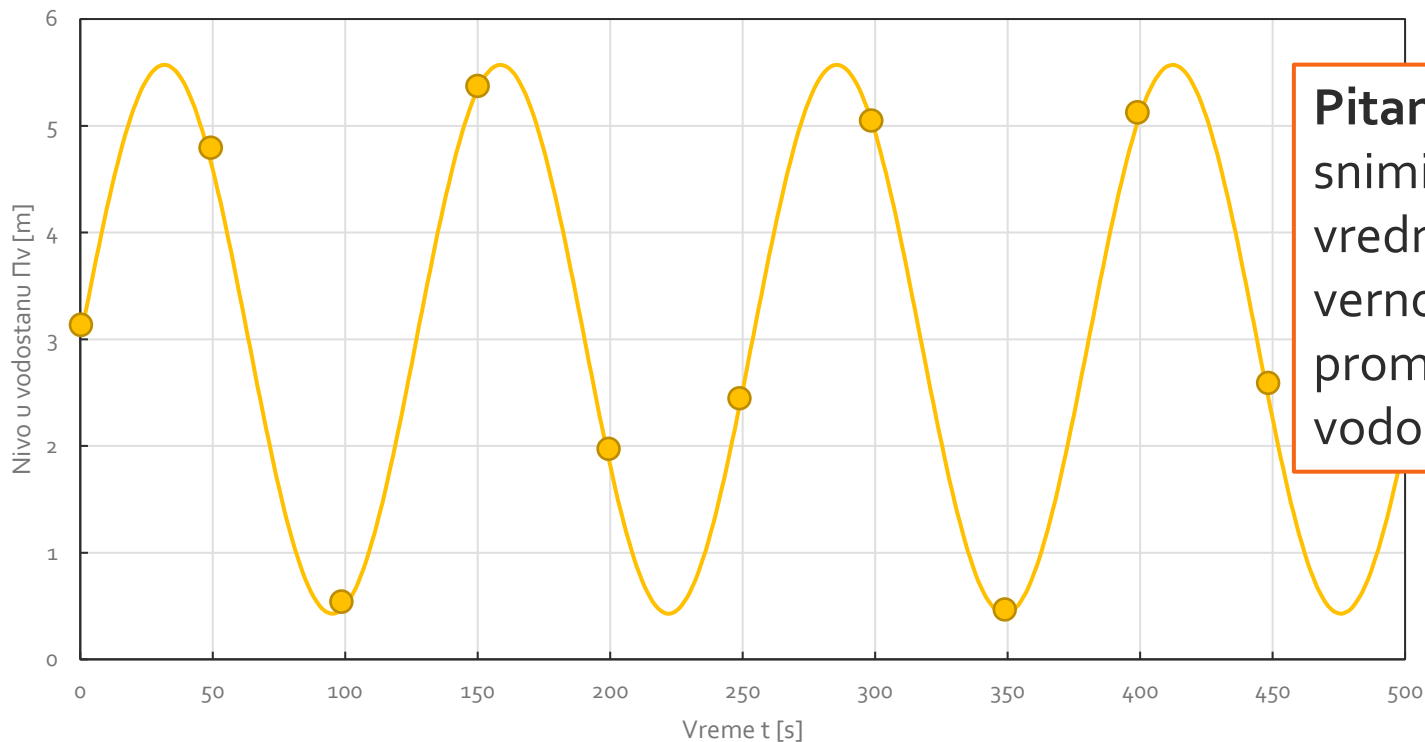
**Pitanje:** Sa kojim  $\Delta t$  snimiti merne vrednosti kako bi se verno reprodukovala promena nivoa u vodostanu?

# ODABIR FREKVENCIJE UZORKOVANJA

- Periodične veličine u hidrotehnici

(kako to vidi pijezezistivni  
senzor pritiska)

Oscilacije u vodostanu (zanemareno trenje)



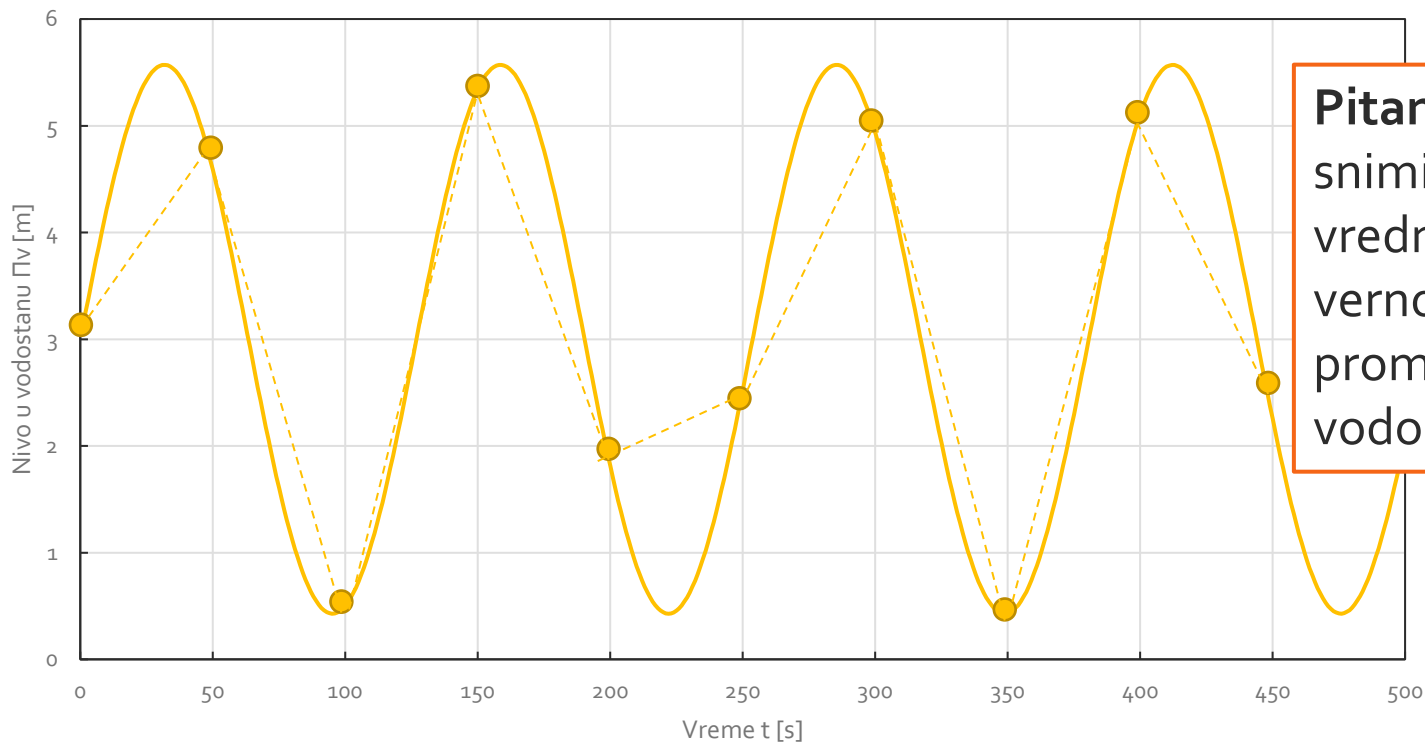
**Pitanje:** Sa kojim  $\Delta t$  snimiti merne vrednosti kako bi se verno reprodukovala promena nivoa u vodostanu?

# ODABIR FREKVENCIJE UZORKOVANJA

- Periodične veličine u hidrotehnici

(kako to vidi pjezorezistivni senzor pritiska)

Oscilacije u vodostanu (zanemareno trenje)

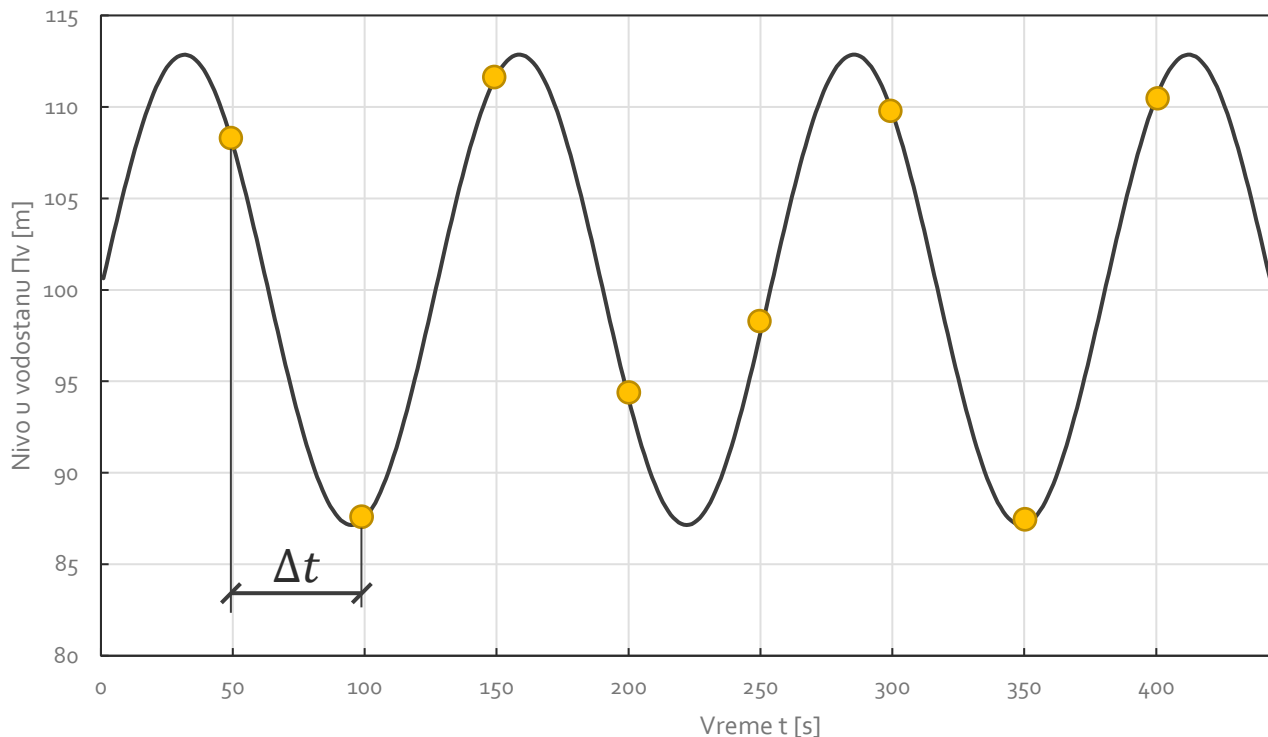


**Pitanje:** Sa kojim  $\Delta t$  snimiti merne vrednosti kako bi se verno reprodukovala promena nivoa u vodostanu?

# ODABIR FREKVENCIJ UZORKOVANJA

## Periodične veličine u hidrotehnici

Oscilacije u vodostanu (zanemareno trenje)



**Pitanje:** Sa kojim  $\Delta t$  snimiti merne vrednosti kako bi se verno reprodukovala promena nivoa u vodostanu?

**Vremenski korak između dva uzastopna merenja –  $\Delta t$**

**Frekvencija uzorkovanja -  $f_{uz}$**

$$f_{uz} = \frac{1}{\Delta t}$$

# ODABIR FREKVENCije UZORKOVANJA

- Odabir adekvatne  $f_{uz}$  treba da bude takav da omogući adekvatnu reprodukciju originalne promene – **min i max vrednosti, perioda oscilovanja itd.**
- **Neophodno je uspostaviti kompromis:**

Veliko  $f_{uz}$ :

+ Odlična  
reprodukcija  
originalne promene

- Veća investicija u  
sistem za napajanje  
senzora i skladištenje  
podataka.

Malo  $f_{uz}$

- Loša reprodukcija  
originalne promene

+ Manja investicija u  
sistem za napajanje  
senzora i skladištenje  
podataka.



# NIKVISTOV KRITERIJUM

- Nikvistov kriterijum za rekonstrukciju periodičnih veličina:

$$f_{uz} \geq 2f_{max}$$

$f_{max}$  - maksimalna  
frekvencija  
periodične veličine

- U praksi se često koristi još strožiji kriterijum:

$$f_{uz} \geq 5f_{max}$$

Odličan snimak na youtube-u, topla preporuka:

<https://www.youtube.com/watch?v=yWqrxo8UeUs>

# UPOTREBA SOFTVERA OCTAVE

Octave je sličan Matlab-u, samo je za razliku od njega besplatan!

- Skinuti Octave installer sa sledećeg linka:  
<https://www.gnu.org/software/octave/download.html> (odabrati 64-bitni ili 32-bitni Windows)
- Osnove upotrebe Octave-a:
- <https://www.youtube.com/watch?v=XoxLTKRWPgo>
- [https://www.youtube.com/watch?v=bmE6SWE6c\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=bmE6SWE6c_A)
- <https://www.youtube.com/watch?v=NFwizdog9So>
- <https://www.youtube.com/watch?v=B2gEftnPbWo>