

МЕРЕЊА У ХИДРОТЕХНИЦИ

Моделирање рада водостана



Аутори:
Душан Стаменковић
Милош Брчкало
Небојша Стојанчић



Из чега се састојао наш задатак?

- Калибрација уређаја потребних за мерење (сонде, Томпсонов прелив)



- Мерење параметара потребних за модел рада водостана
- Модел рада водостана прављен у матлабу

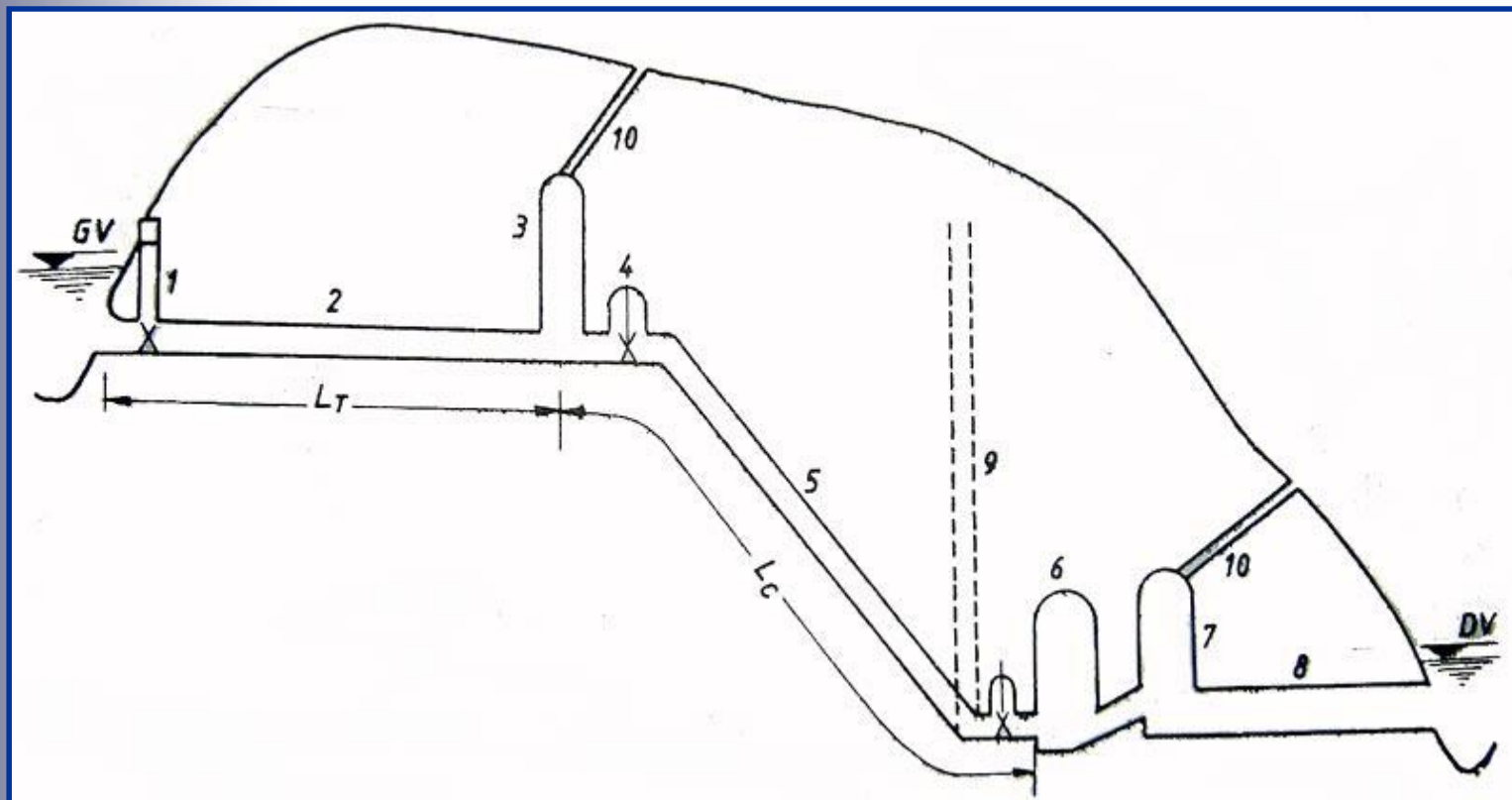


Улога водостана у систему

- Да сачувају доводну и одводну деривацију од хидрауличког удара
- Да смање удар у цевоводу
- Да олакшају регулисање турбине (пумпе) у нестационарним условима
- Да учине економичнијим довод и одвод (уколико је под притиском)

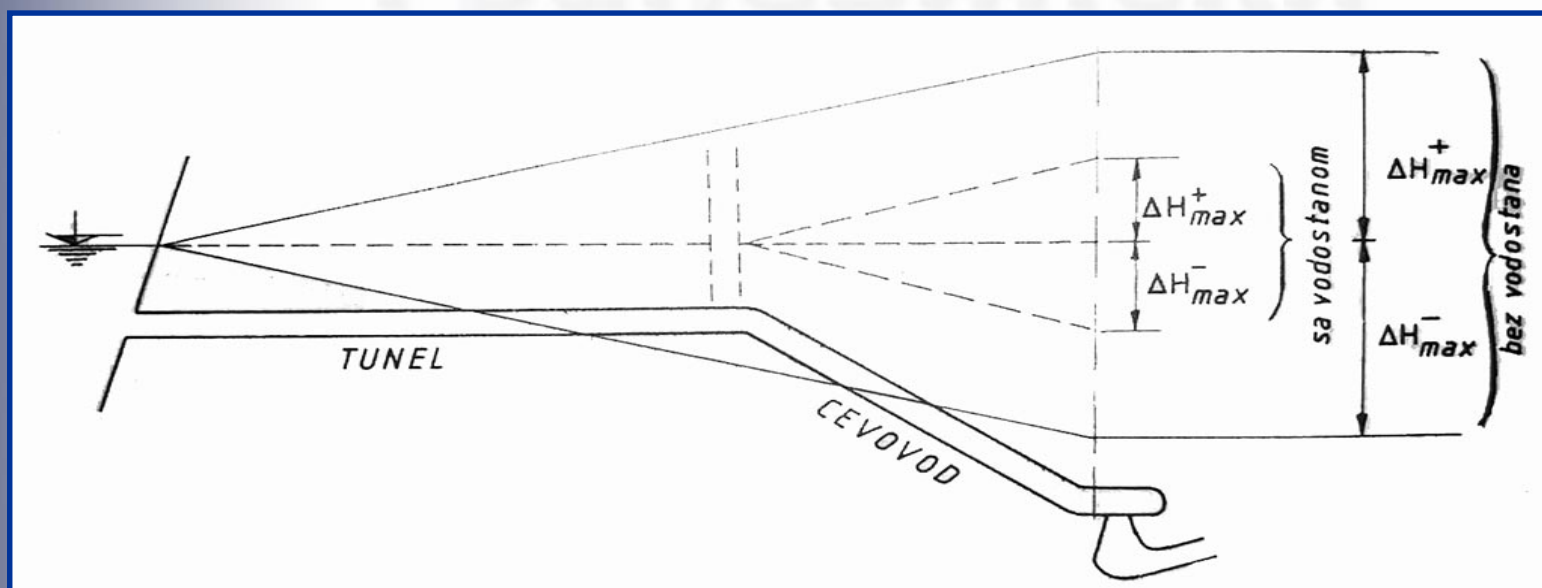


Место водостана у систему



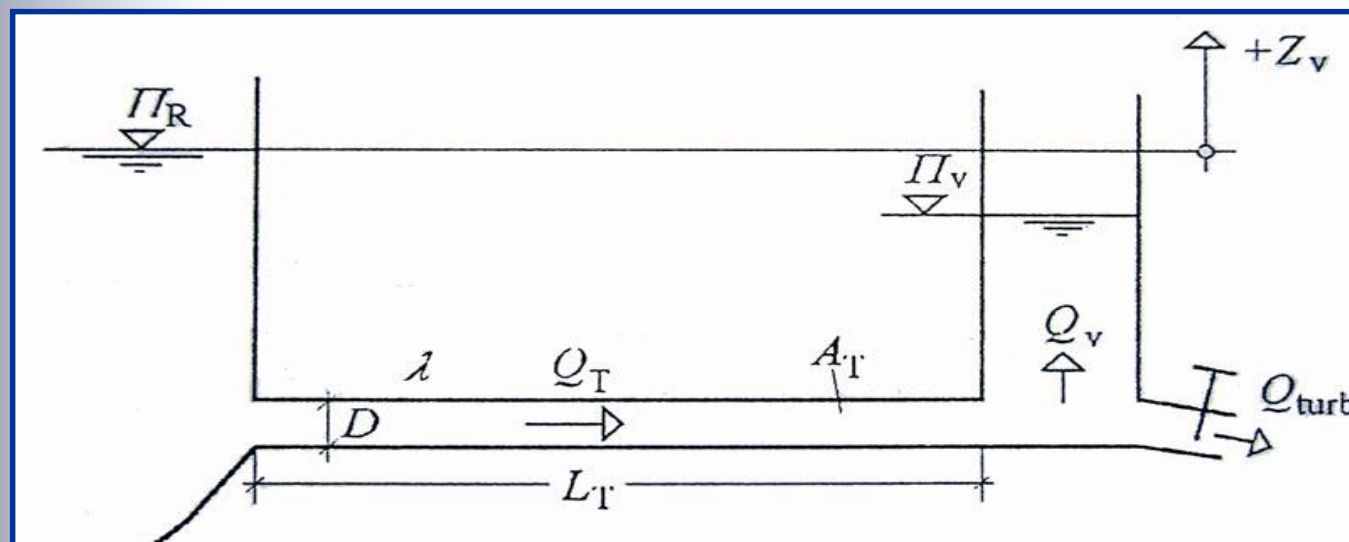


Шема хидрауличког удара у систему без водостана и са њим





Основна шема акумулација-тунел-водостан



- ♦Динамичка једначина за воду у тунелу

$$\frac{dQ_T}{dt} = \frac{gA_T}{L} (\Pi_R - \Pi_V) - \frac{2\lambda}{\pi D^3} Q_T |Q_T|$$

- ♦Једначина континуитета за чвор у коме је водостан:

$$Q_T = Q_V + Q_{turb}$$

При томе је: $\frac{d\Pi_V}{dt} = \frac{1}{A_V} (Q_T - Q_{turb})$

М
О
Д
Е
Л

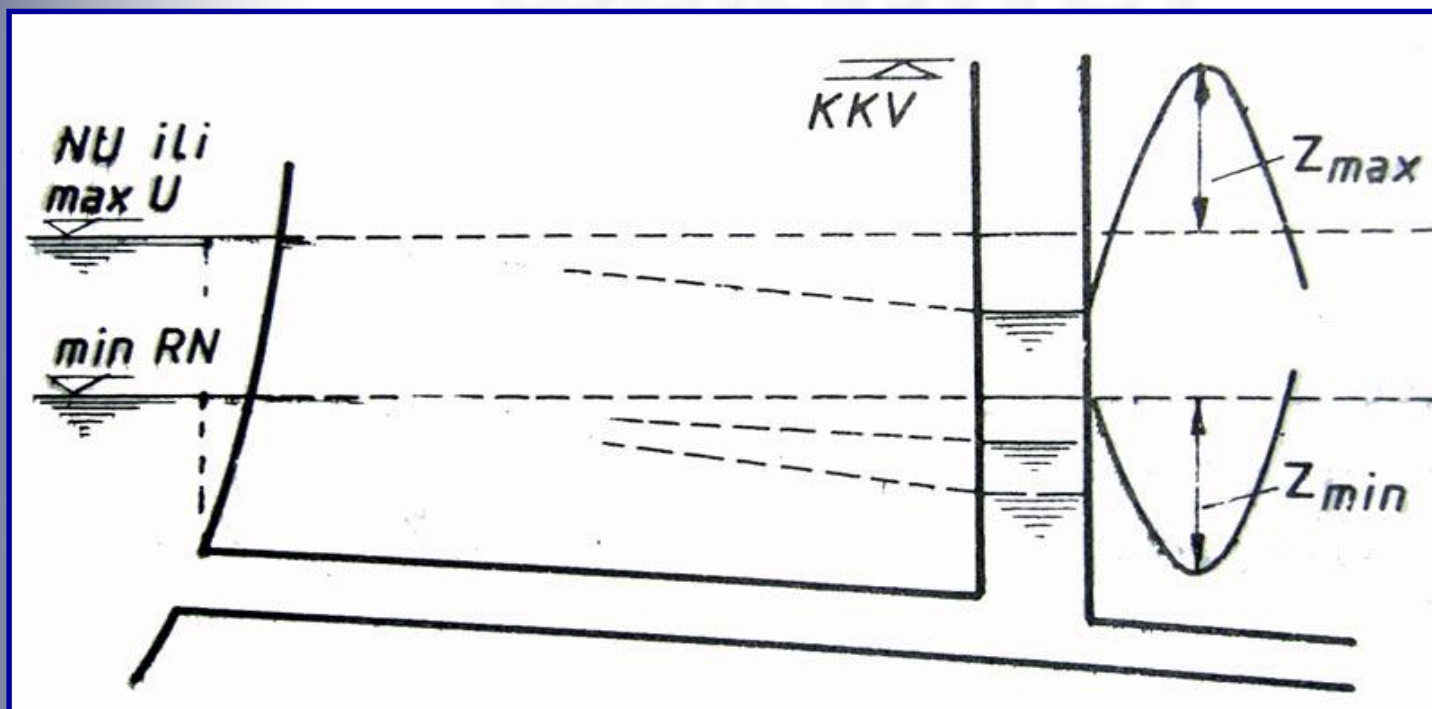
М
А
Т
Е
М
А
Т
И
Ч
К
И



Периоде и амплитуде осцилација

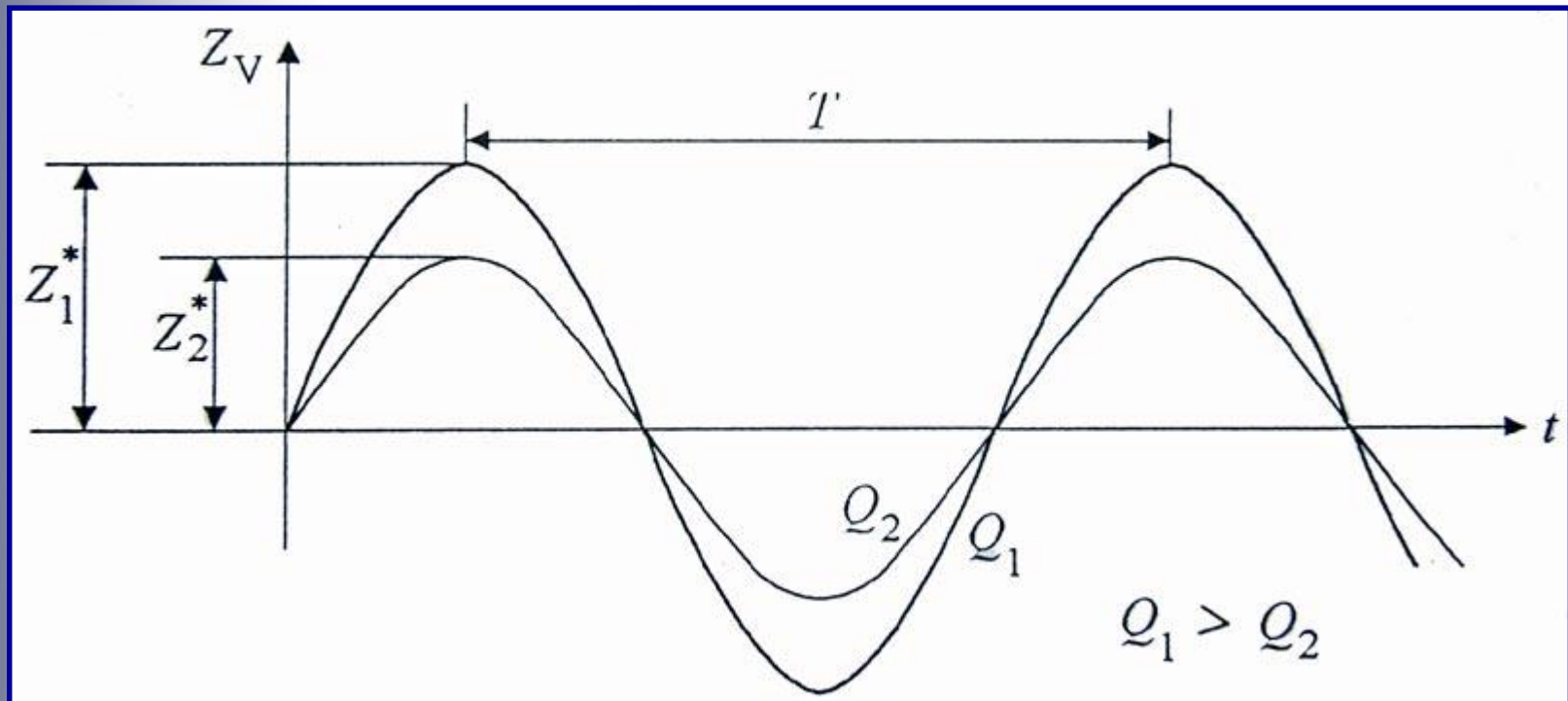
Два случаја од посебног значаја:

- Највећа позитивна амплитуда (пуна акумулација)
- Највећа негативна амплитуда (кота мин РН у акумулацији)





Осцилације нивоа у водостану при различитим протицајима



Периода осцилације :
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{LA_v}{gA_T}}$$



Нумерички модел

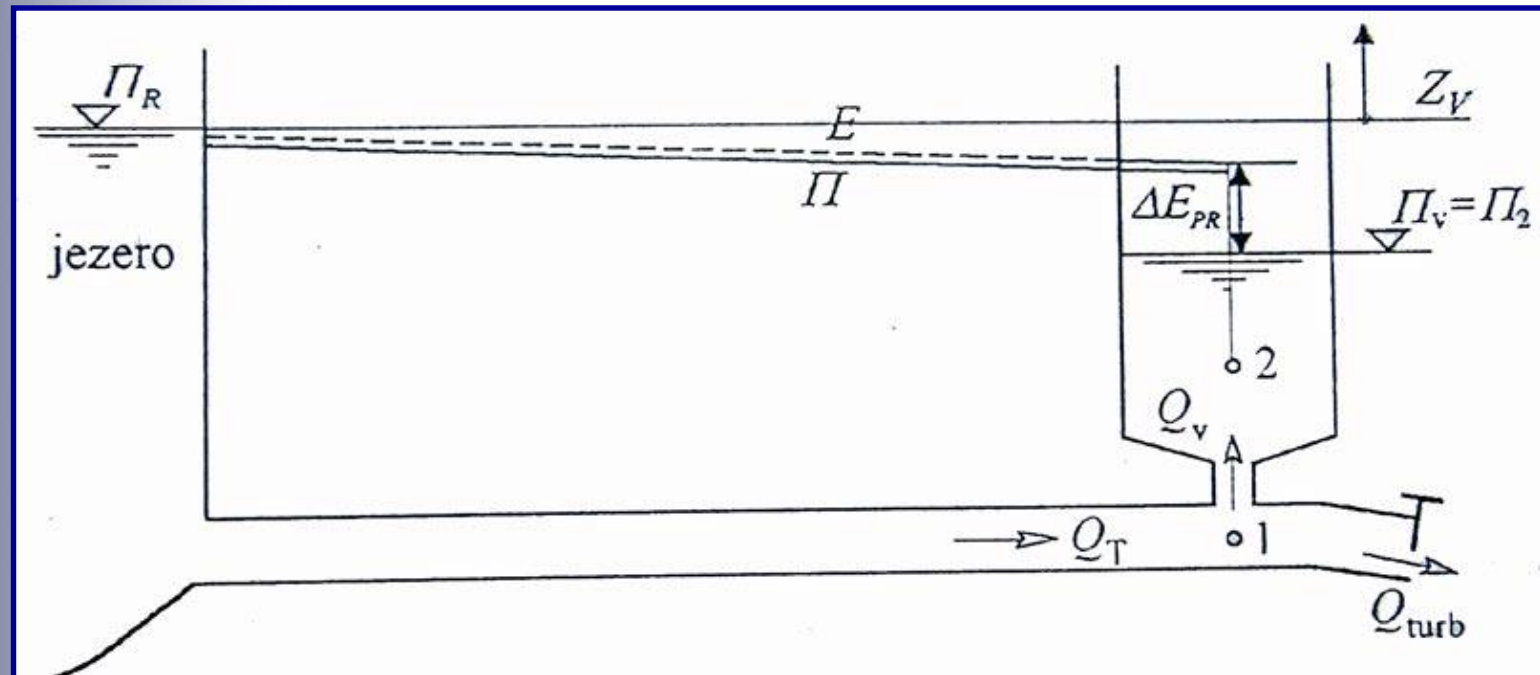
Стандардни начин дискретизовања
једначина математичког модела

$$\frac{Z_V^{n+1} - Z_V^n}{\Delta t} = \frac{1}{A_V} (Q_T^n - Q_{tur}^n)$$

$$\frac{Q_T^{n+1} - Q_T^n}{\Delta t} = \frac{gA_T}{L} \left(-\frac{Z_V^{n+1} + Z_V^n}{2} \right) - \frac{2\lambda}{\pi D^3} Q_T^n |Q_T^n|$$



Водостан са пригушивачем

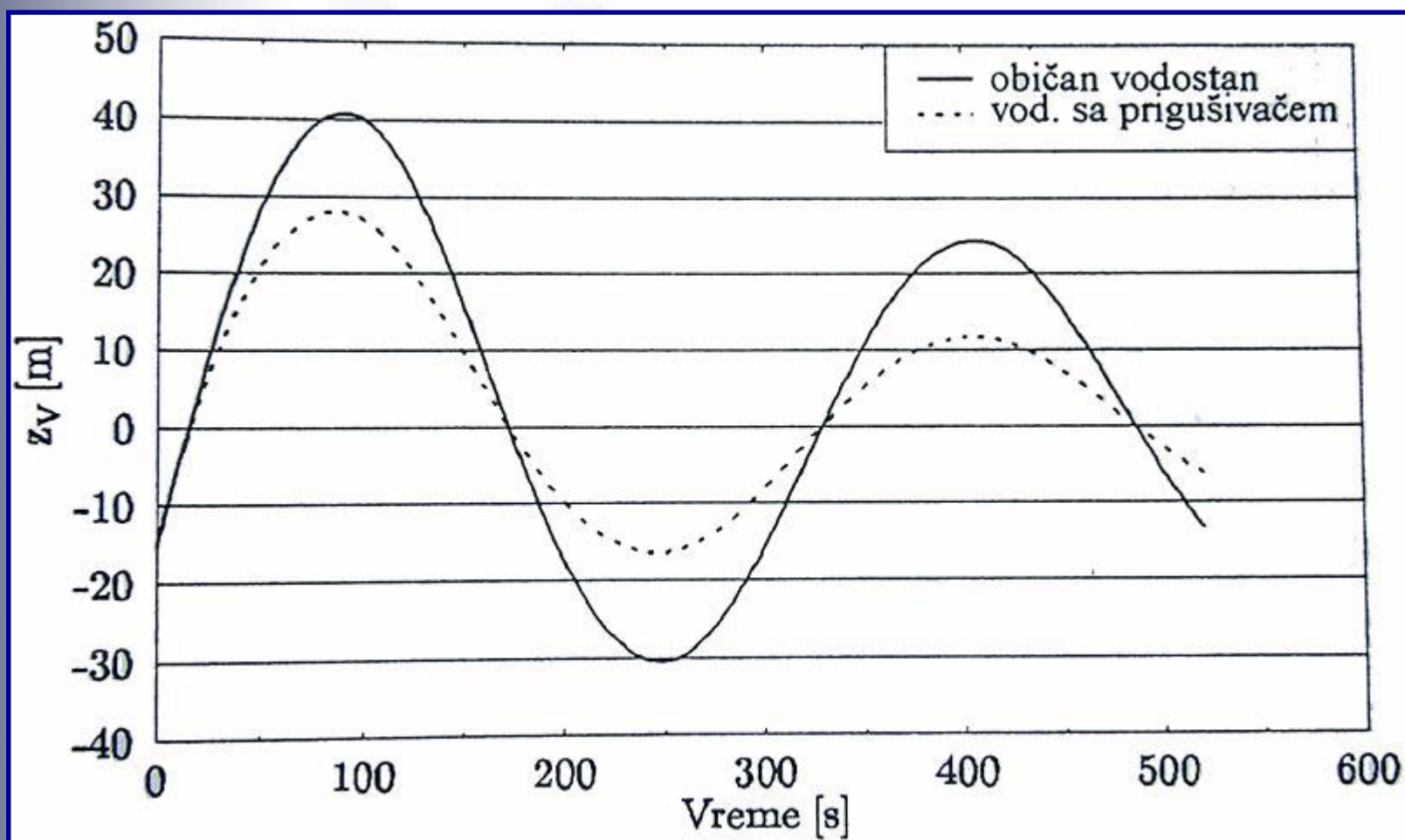


Ovde važi, kada je $Q_v \neq 0$:

$$\Pi_V = \Pi_2 \neq \Pi_1, \quad \Pi_1 = \Pi_2 + \Delta E_{pr} = \Pi_2 + \xi_{pr} \frac{Q_v |Q_v|}{2gA_{pr}^2}$$



Утицај пригушивача на смањење осцилација нивоа у водостану





Нумерички модел водостана са пригушивачем

$$\frac{Z_V^{n+1} - Z_V^{n-1}}{2 \Delta t} = \frac{1}{A_V} (Q_T^n - Q_{tur}^n);$$

$$\frac{Q_T^{n+1} - Q_T^n}{\Delta t} = \frac{g A_T}{L} \left(-\frac{Z_V^{n+1} + Z_V^n}{2} - \xi_{pr} \frac{Q_V^n |Q_V^n|}{2 g A_{pr}^2} \right) - \frac{2 \lambda}{\pi D^3} Q_T^n |Q_T^n|;$$

$$Q_V^{n+1} = Q_T^{n+1} - Q_{tur};$$



Калибрација уређаја и одређивање параметара

Грађевински





Директно и посредно мерење, мерни претварачи

- Apsolutno merenje je i ako se *izvedena veličina* dobije kao odnos osnovnih veličina. Na primer: $p = [F/A] = [m \times g/A]$ ako se meri masa m koja pravi pritisak p na površinu A .
- Apsolutno merenje ima *najmanju mernu neizvesnost* ali nije uvek zgodno da se sprovede. Zato se koriste *merni pretvarači* koji *posredno* mere fizičku veličinu *preko neke druge* fizičke veličine. Zavisnost između ove dve veličine data je nekom funkcijom $f(p)$. Funkcija $f(p)$ mora da se odredi za svaki pojedini komad pretvaraca postupkom koji se zove kalibracija.
- Osnovna podela mernih pretvarača je prema energiji u koju se transformiše merna veličina :
 - Mehanički (vodomjer, manometar, rotametar ...)
 - Električni - induktivni manometri, kapacitivni nivometar, UZV merač protoka, laserski anemometri, ...

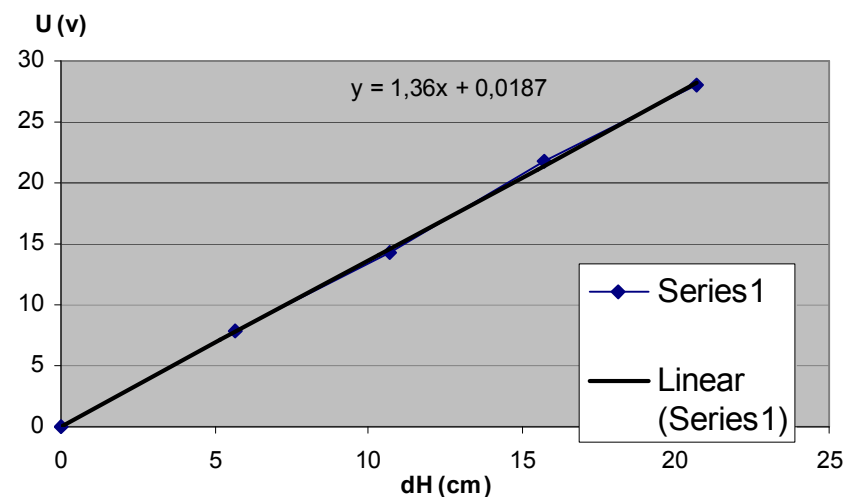


Калибрација диференцијалне сонде

- Пре било каквог мерења било је потребно калибрисати диференцијалну сонду помоћу које ће бити мерена разлика притисака



Калибрациона функција диференцијалне сонде





Проблеми приликом одређивања карактеристике цевовода

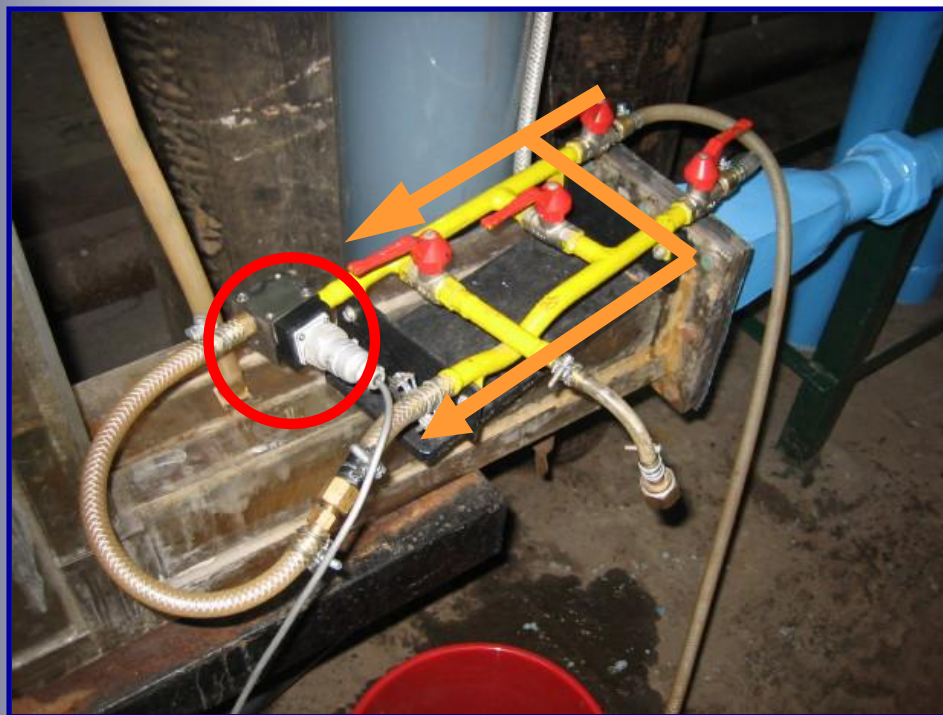
- Увлачење ваздуха
- Неисправна апаратура





Како смо решили проблеме?

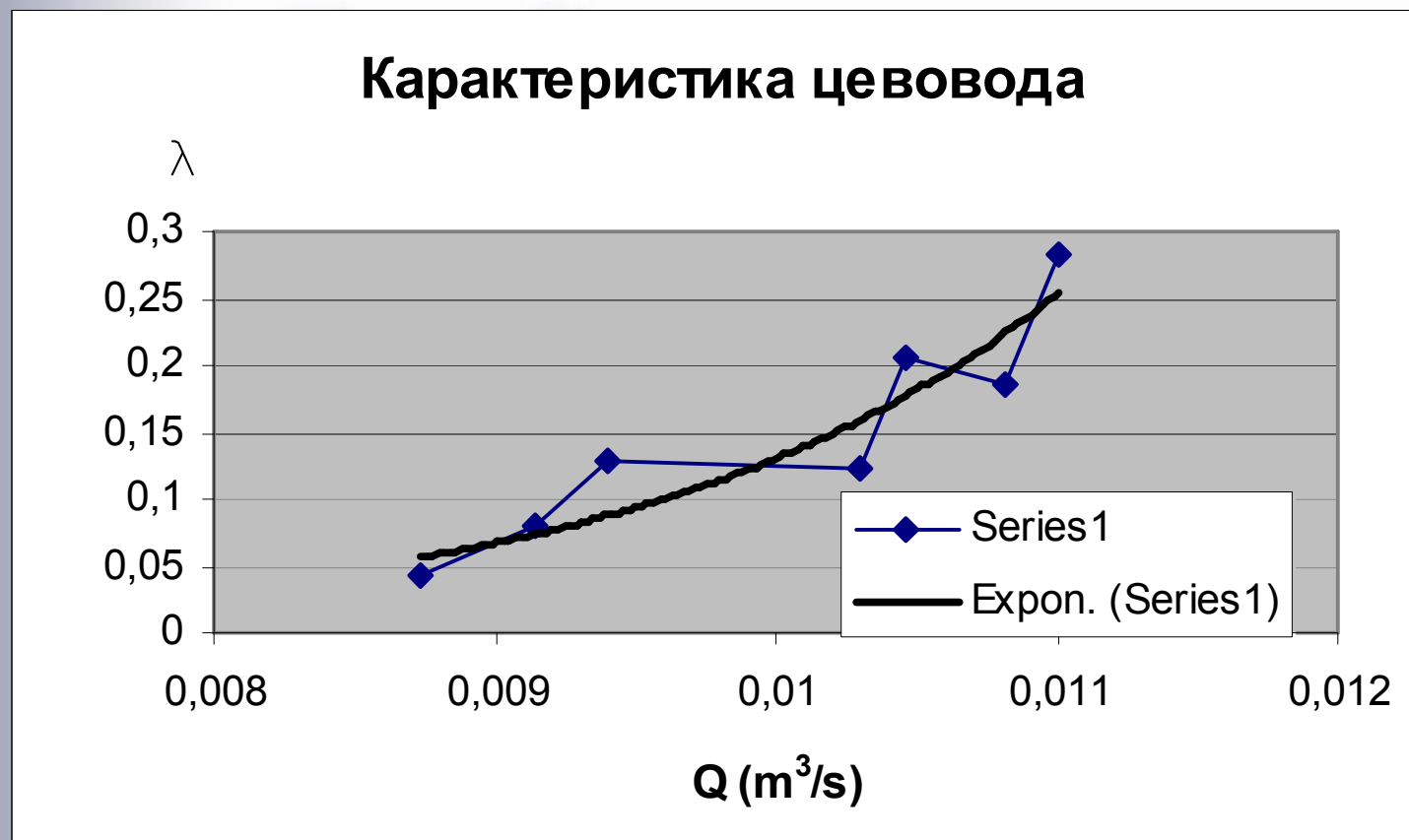
- Избегавањем прелома црева, пуштањем слабог протока кроз то црево и брзим монтирањем на апаратуру избацили смо заробљени ваздух
- Неисправна апаратура, на сву срећу, није утицала на мерење



Систем у раду



Резултат мерења: добијена је карактеристика цевовода





Све је било спремно за праћење осцилација нивоа у водостану



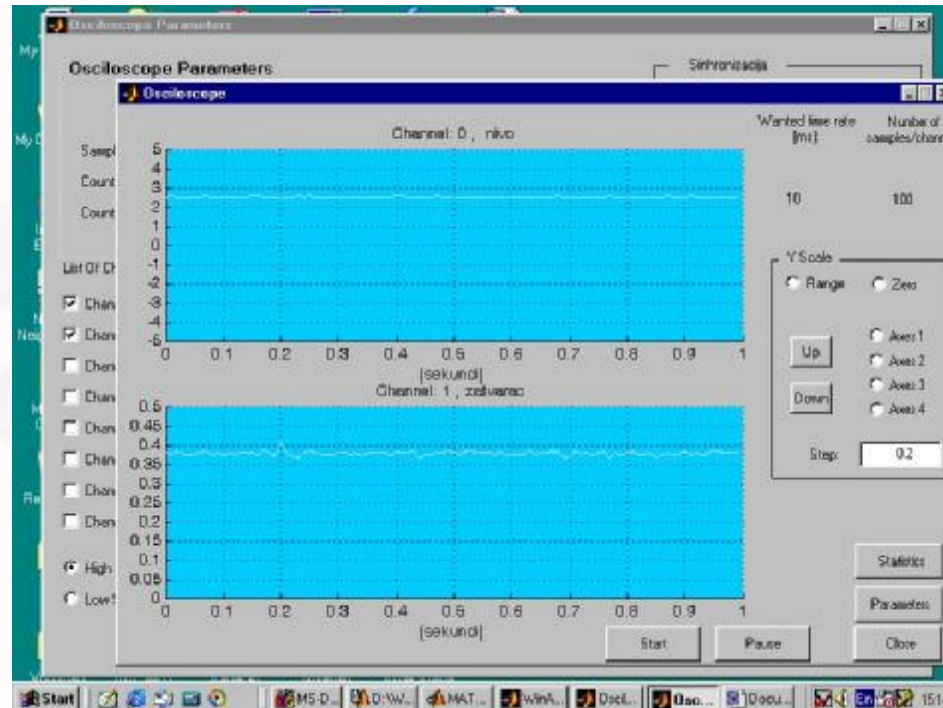
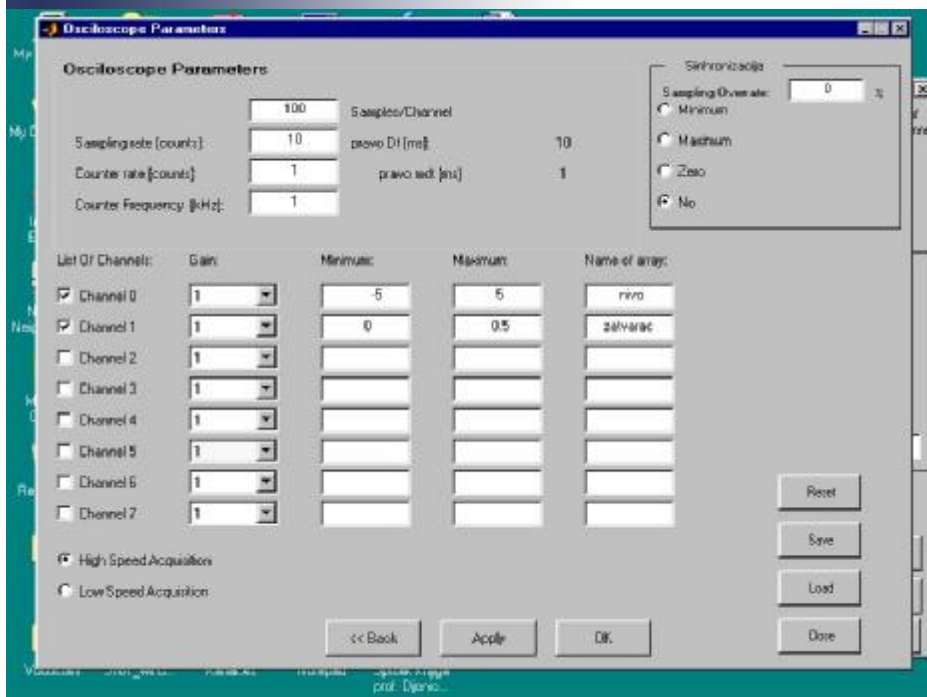
Систем





Шта смо урадили и шта смо добили?

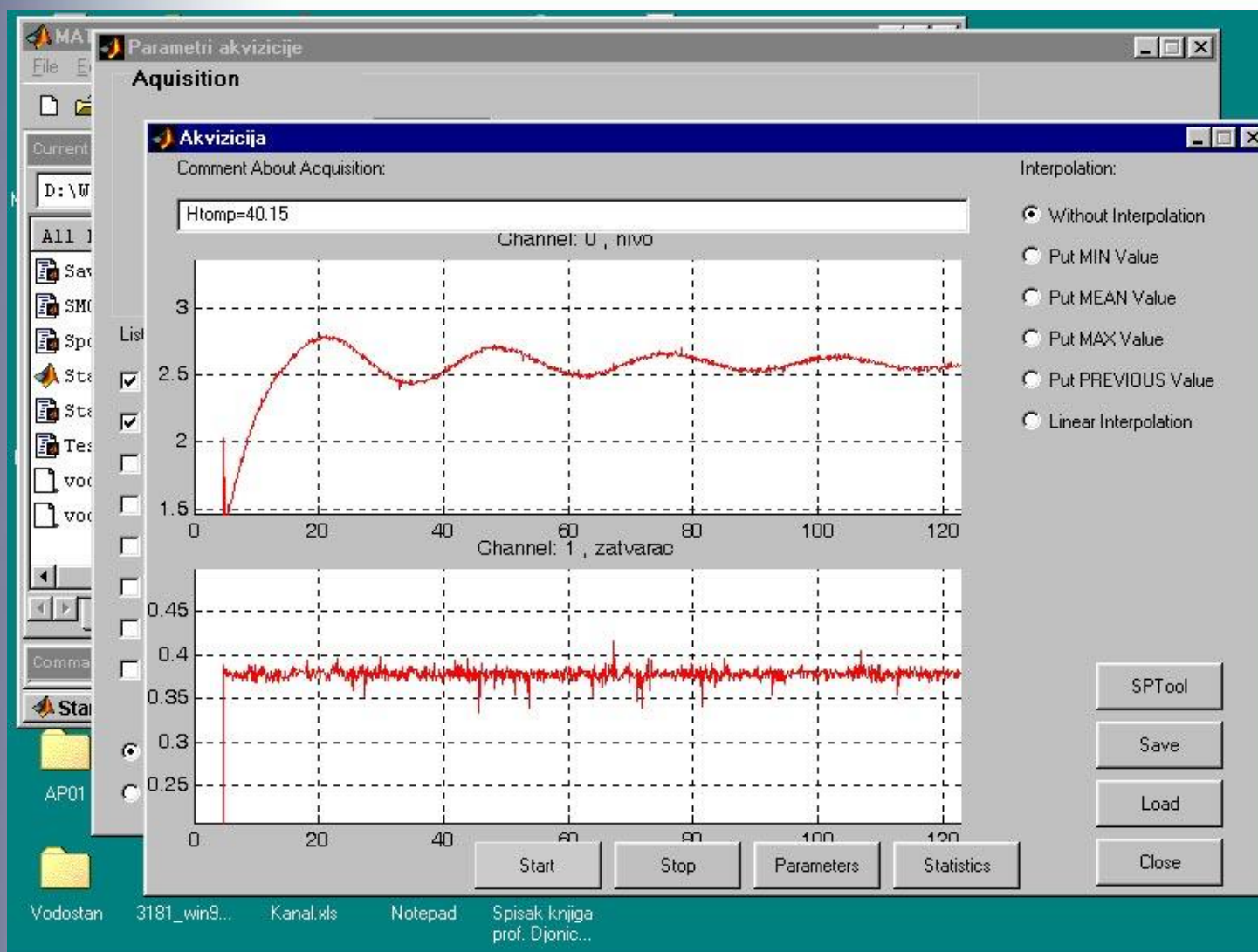
- Помоћу две сонде праћена је на рачунару промена притиска и отвореност затварача при хидрауличком удару
- Мерења смо поновили више пута за различите протоке.
- ХУ је праћен на софтверу који је на два канала приказивао ове параметре као промене напона на осцилоскопу.





Резултати

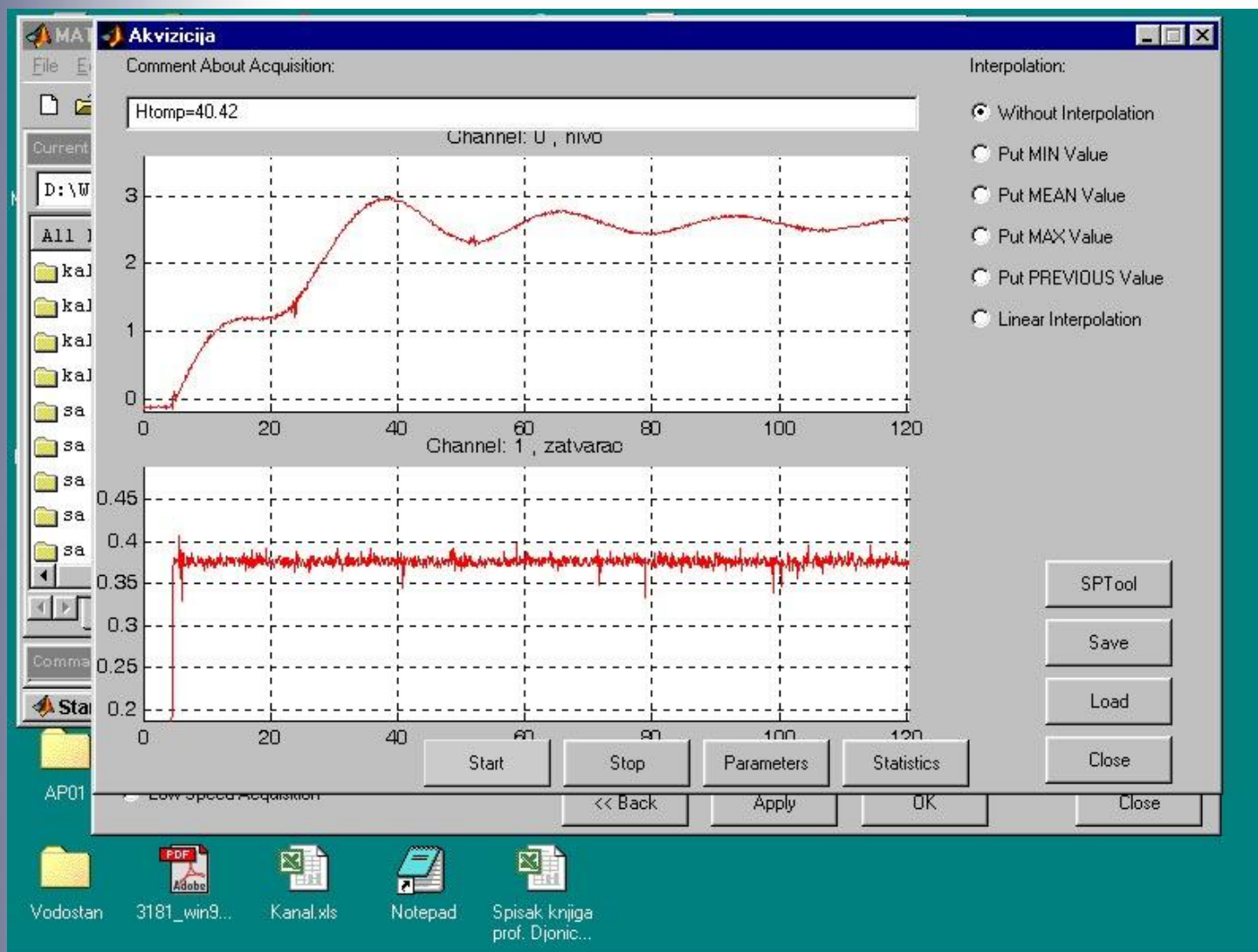
$Q=0.09 \text{ m}^3/\text{s}$





Резултати

$Q=0.011 \text{ m}^3/\text{s}$



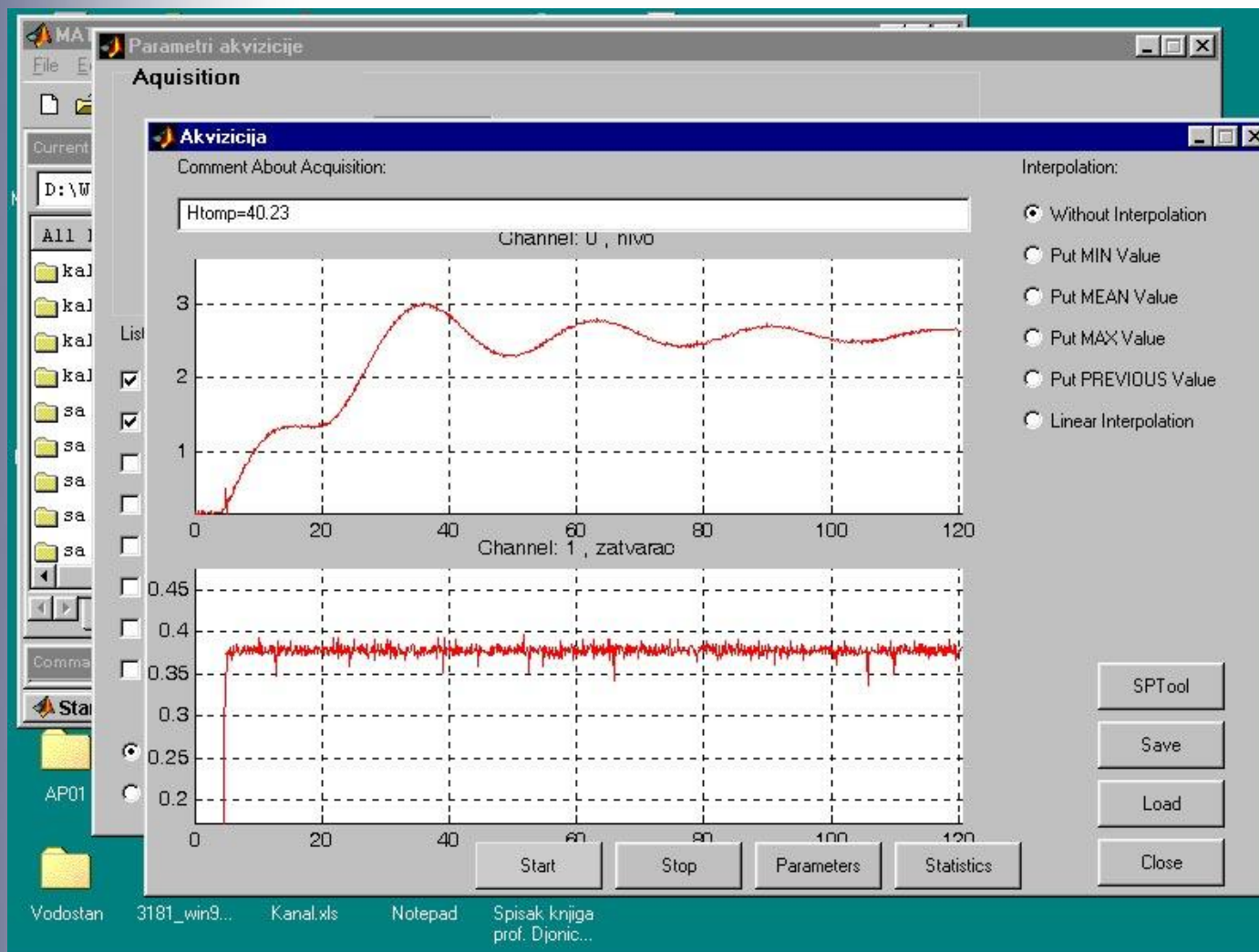
[Клип 1](#)

[Клип 2](#)



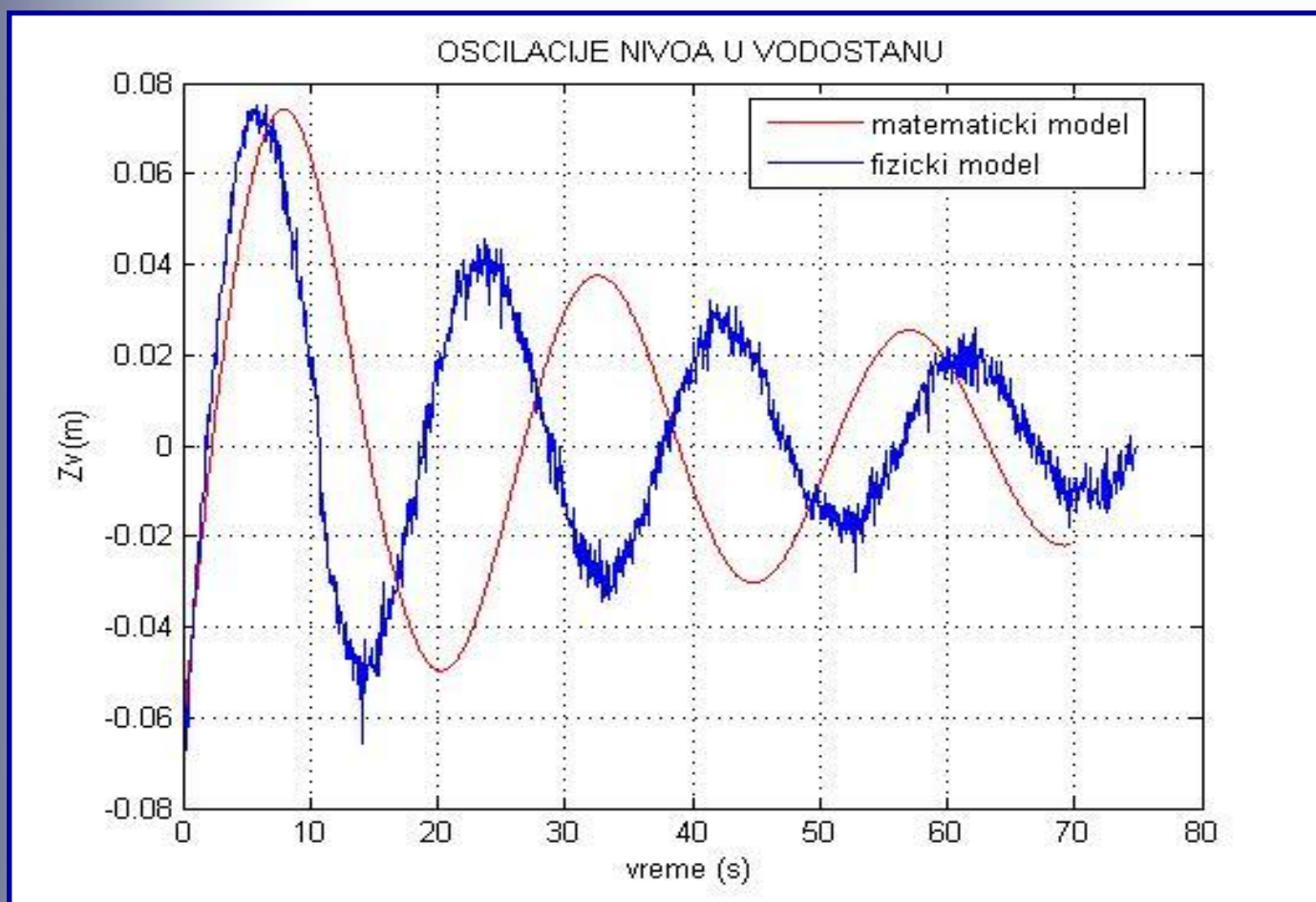
Резултати

$Q=0.0106 \text{ m}^3/\text{s}$





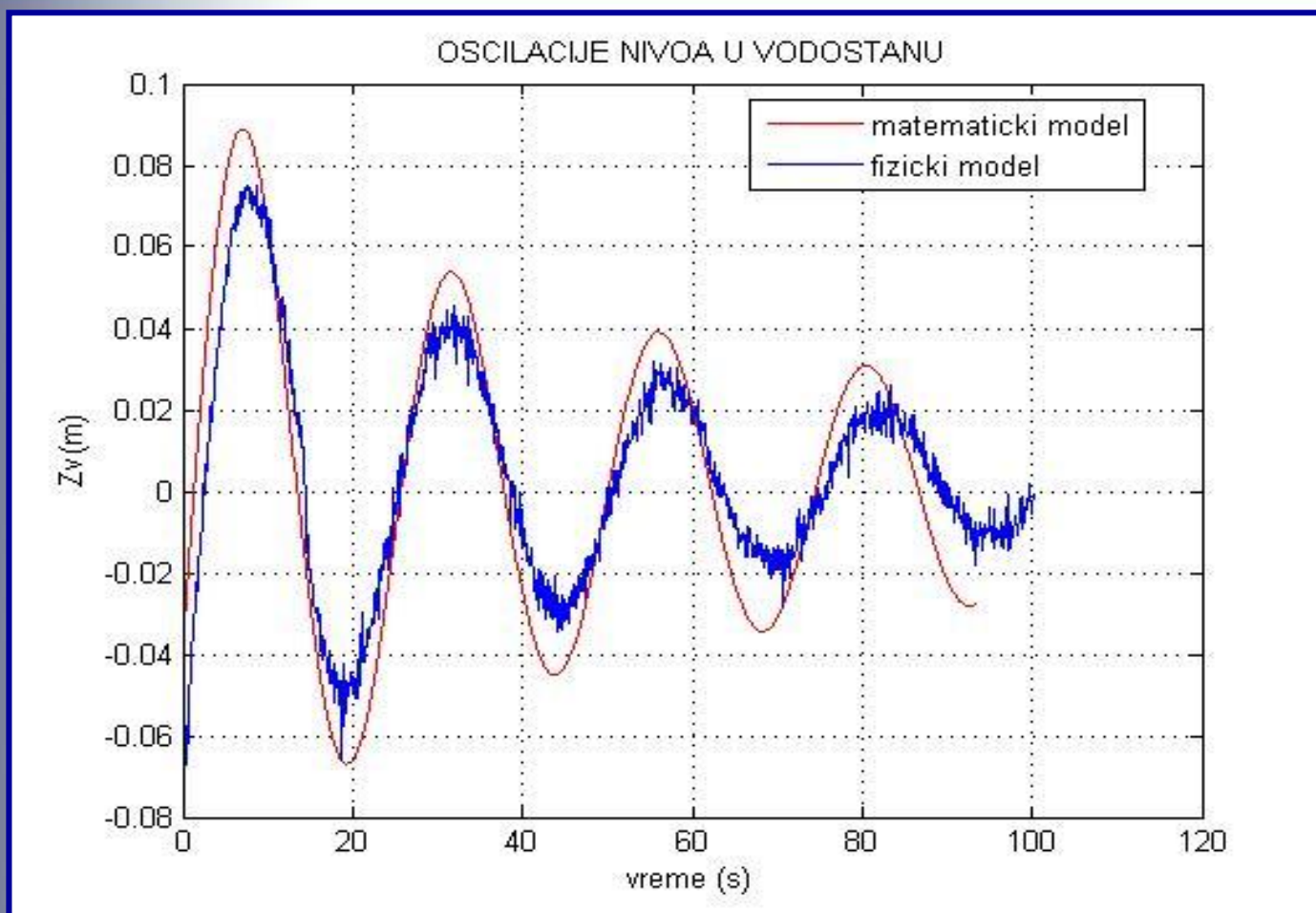
Калибрација НМ у Матлабу



Лоше калибрисано Δt – модел је фазно померен



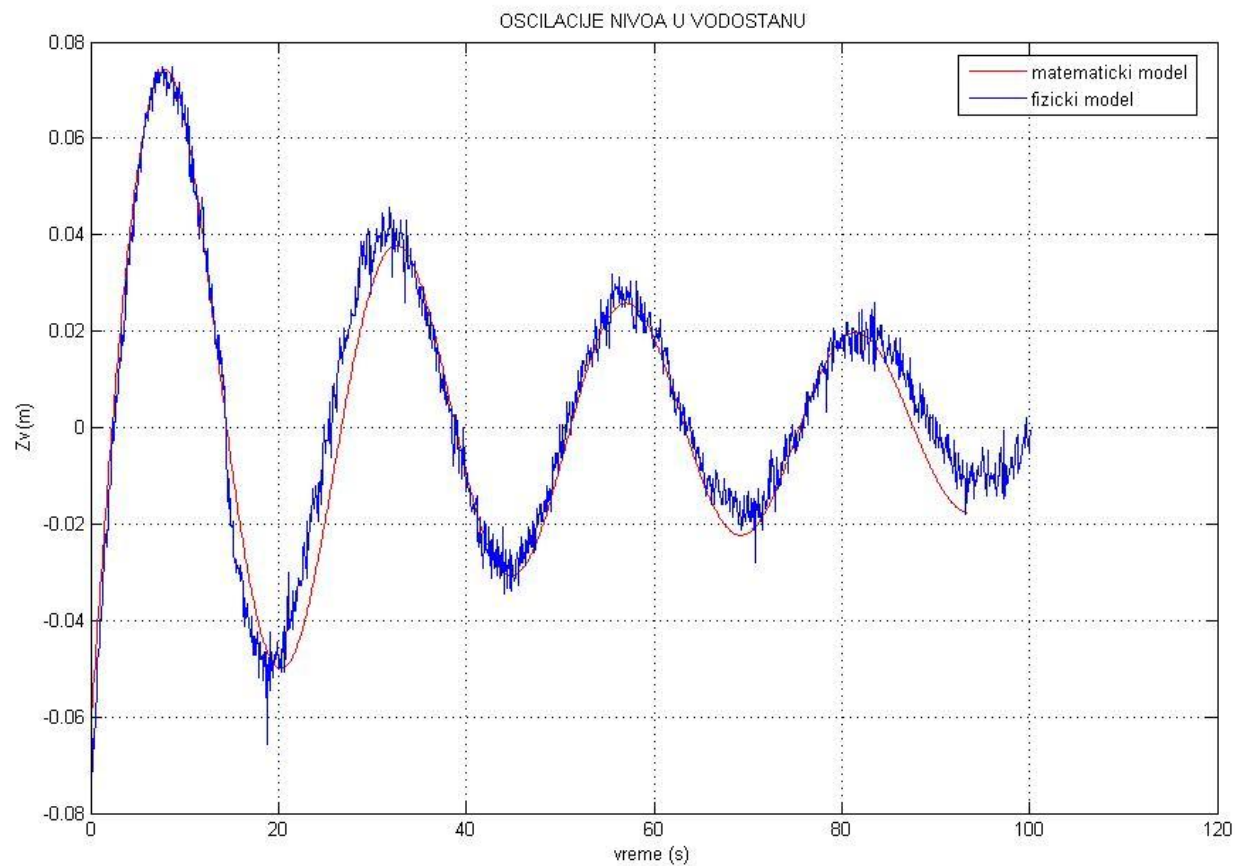
Калибрација НМ у Матлабу



Лоше процењено λ ефективно – не поклапа се амплитуда



Калибрација НМ у Матлабу



Коначно је подешен нумерички модел модел



Литература

- Мерења у хидротехници (скрипта) – доцент. др. Душан Продановић
- Рачунска хидраулика – проф. др. Марко Иветић
- Fluid Transients in Hydro-Electric Engineering Practice – Charles Jaeger
- Applied Hydraulic Transients for Hydropower Plants and Pumping Stations – Mihail Popescu, Dimitru Arsenie, Paul Vlase



Хвала на пажњи

