

Vladimir BULATOVIĆ<sup>1</sup>, Uroš KARADŽIĆ<sup>2</sup>

## **EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA ZA ISTRAŽIVANJE HIDROMEKANIČKIH PRELAZNIH PROCESA**

### **Sadržaj**

- Uvod
- Opis eksperimentalne instalacije
- Primjeri izvedenih eksperimenata
- Zaključak

---

<sup>1</sup> Vladimir Bulatović, Mašinski fakultet, Podgorica

<sup>2</sup> Doc. dr Uroš Karadžić, Mašinski fakultet, Podgorica

## Uvod

- Hidraulički udar predstavlja prostiranje poremećajnog talasa u hidrauličkim cijevnim sistemima izazvanog naglim promjenama protoka.
- Prateći efekti hidrauličkog udara su parna i gasna kavitacija, nestacionarno trenje i interakcija između fluida i strukture cjevovoda (Fluid Structure Interaction – FSI)
- Parna kavitacija – kada pritisak u sistemu tokom hidrauličkog udara padne na vrijednost pritiska isparavanja za poznatu lokalnu vrijednost temperature.

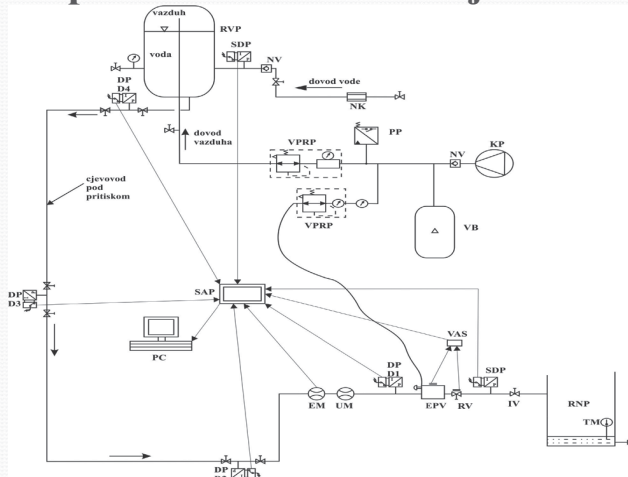
## Uvod

- Gasna kavitacija – u fluidu postoji i mala količina slobodnog i rastvorenog gasa i ako pritisak u sistemu tokom trajanja hidrauličkog udara padne ispod vrijednosti pritiska zasićenja gasa dolazi do njegovog oslobađanja iz tečnosti i formiranja gasnih mjehurova.
- Vrijednost koeficijenta trenja tokom trajanja hidrauličkog udara se razlikuje od njegove vrijednosti za slučaj stacionarnog strujanja.
- Za cijevi koje nisu potpuno učvršćene, interakcija između fluida i strukture cjevovoda kroz koji fluid struji se mora uzeti u obzir.

## Opis eksperimentalne instalacije

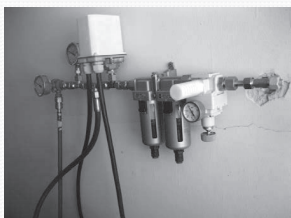
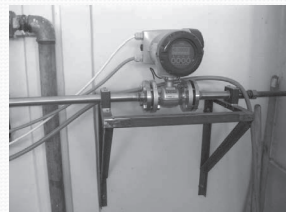
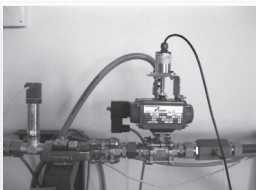
- Eksperimentalna instalacija za ispitivanje fenomena hidrauličkog udara nalazi se u Laboratoriji za energetske procese na Mašinskom fakultetu u Podgorici.
- Eksperimentalna instalacija se može podijeliti u četiri cjeline:
  1. Sistem za pripremu i kontrolu pritiska
  2. Cijevni sistem sa odgovarajućom armaturom
  3. Sistem za mjerenje i akviziciju podataka
  4. Elementi za izazivanje hidrauličkog udara i regulaciju protoka

## Opis eksperimentalne instalacije



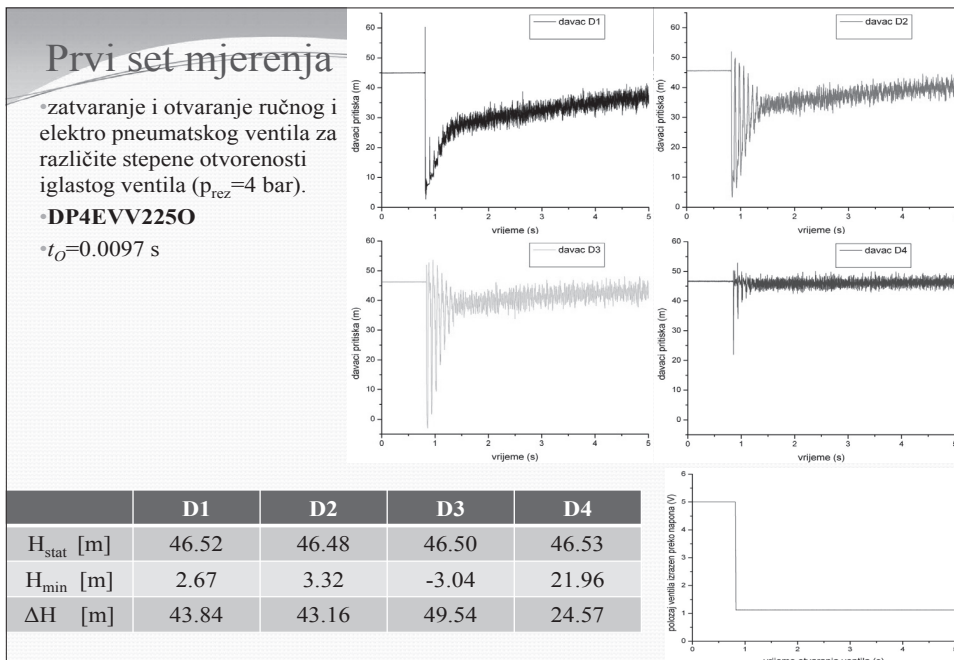
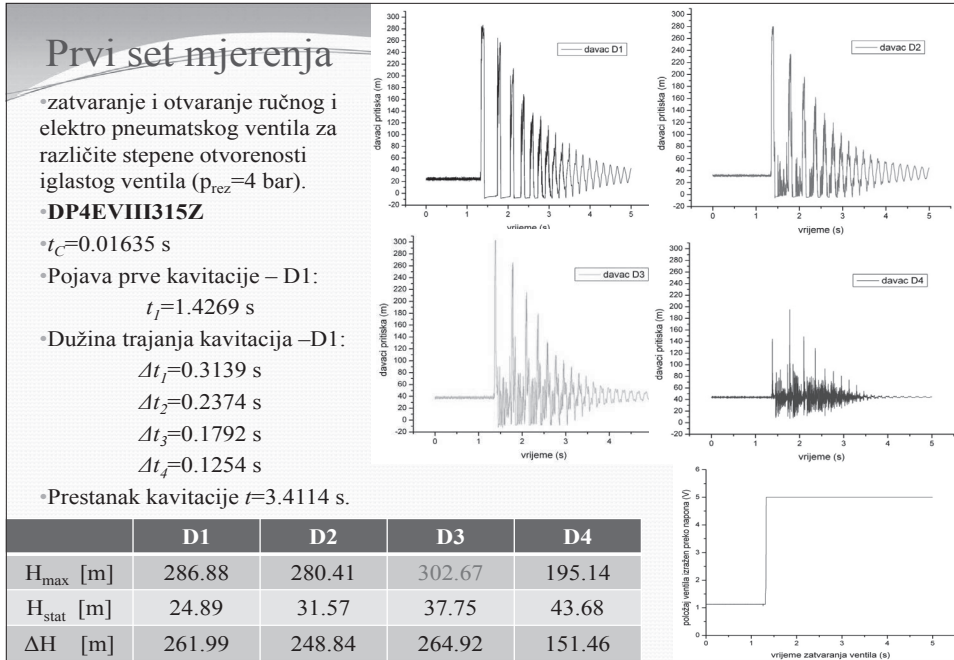
Slika 1. Šema eksperimentalne instalacije za ispitivanje hidrauličkog udara

## Opis eksperimentalne instalacije



## Izvedeni eksperimenti

- Ukupno 5 setova mjerenja.
- Konstantan pritisak u rezervoaru 4 bar.
- Ukupno je izvedeno 366 eksperimenata.
- Prilikom svakog eksperimenta mjereni su sledeći podaci:
  - $p_{rez}$  – pritisak u rezervoaru,
  - $p_i$  – pritisak na iglastom ventilu,
  - $Q_{em}$  – protok na elektromagnetnom mjerачu,
  - $f$  – sample rate (frekvencija)
  - $p_{zv}$  – pritisak na elektro pneumatskom ventilu
  - $T$  – temperatura vode



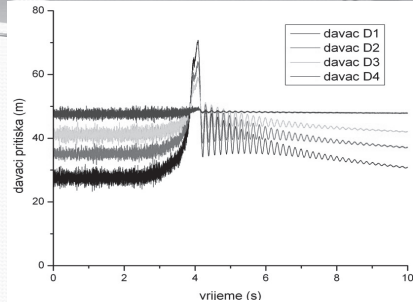
## Drugi set mjerenja

•varirano vrijeme zatvaranja i otvaranja ručnog kuglastog ventila na kraju cjevovoda (uticaj vremena zatvaranja ventila) za razne brzine strujanja ( $p_{rez}=4$  bar).

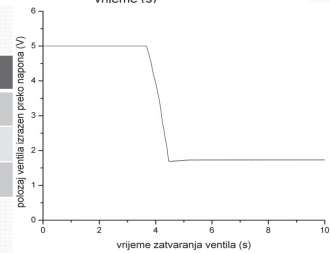
•**DP4RV1III360Z3**

• $t_C=0.7852$  s

•Ne dolazi do pojave kavitacije



	D1	D2	D3	D4
$H_{max}$ [m]	70.754	64.106	59.145	50.274
$H_{stat}$ [m]	26.355	33.873	40.829	47.520
$\Delta H$ [m]	44.399	30.233	18.316	2.754



## Treći set mjerenja

•zatvarani su ručni kuglasti ventili duž cjevovoda (uticaj dužine cjevovoda) za razne otvore iglastog ventila ( $p_{rez}=4$  bar).

•**DP4RV2VI360Z**

•Pojava prve kavitacije:

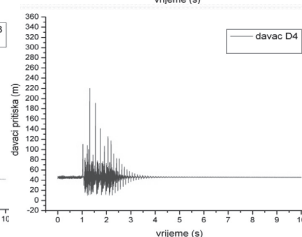
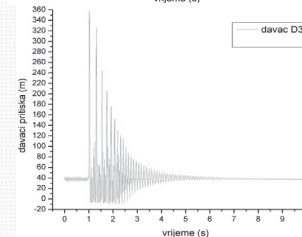
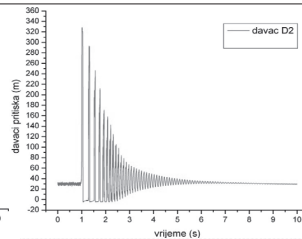
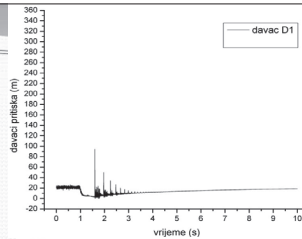
**D2:**  $t_j=1.0553$  s;

•Trajanje kavitacije:

**D2:**  $\Delta t_1=0.224$  s;

•Prestanak kavitacije:

**D2:**  $t=2.2741$  s;



	D1	D2	D3	D4
$H_{max}$ [m]	94.47	328.57	356.92	220.17
$H_{stat}$ [m]	19.73	28.79	37.19	45.27
$\Delta H$ [m]	74.74	299.78	319.73	17.49

### Četvrti set mjerenja:

istovremeno zatvaranje ventila kod rezervoara (ventil bliže rezervoaru) i na kraju cjevovoda za razne brzine strujanja fluida u cjevovodu ( $p_{rez}=4\text{bar}$ ).

• **DP41ZVI090**

•  $t_c=0.01464\text{ s}$ .

• Pojava prve kavitacije:

**D1:**  $t_f=0.2812\text{ s}$ ; **D4:**  $t_f=0.3318\text{ s}$

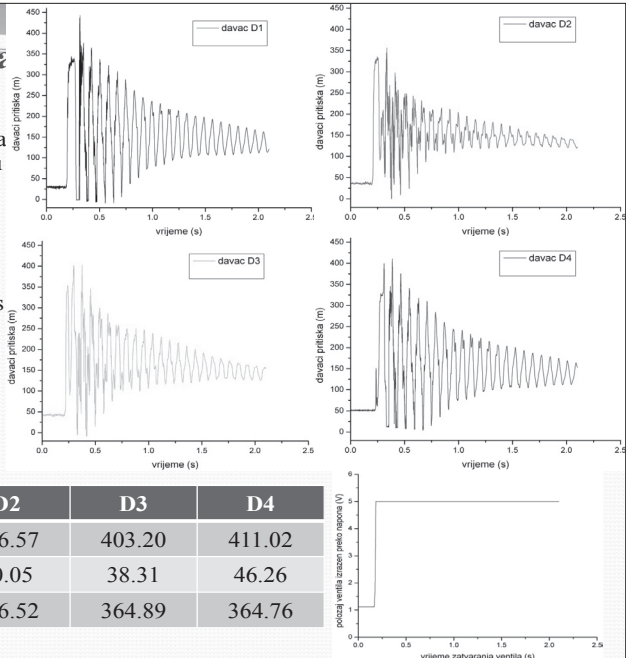
• Trajanje kavitacije:

**D1:**  $\Delta t_1=0.0272\text{ s}$ ; **D4:**

$\Delta t_1=0.0230\text{ s}$

• Prestanak kavitacije:

**D1:**  $t=0.5562\text{ s}$ ; **D4:**  $t=0.5967\text{ s}$

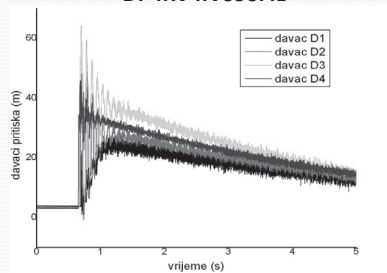


### Peti set mjerenja

- Izvršeno je 3 vrste eksperimenata:
  1. Punjenje cjevovoda – brzo otvaranje ručnog ventila kod rezervoara (ostali ventili otvoreni) za otvorenost iglastog ventila od potpuno zatvorenog do potpuno otvorenog.
  2. Punjenje zadnje trećine cjevovoda sa zatvorenim kuglastim ventilom na kraju.
  3. Pražnjenje cjevovoda – zatvoren ventil kod rezervoara a otvoren na kraju cjevovoda.

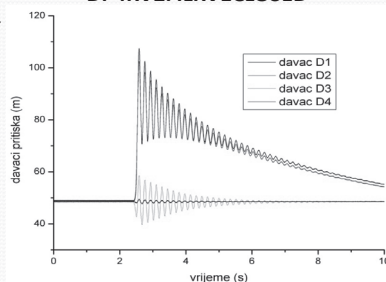
#### DP4RV4IV090FIL

1.



#### DP4RV2FILRV1CLOSED

2.



## Zaključak

- U radu prikazano eksperimentalno ispitivanje raznih slučajeva hidromehaničkih prelaznih procesa (hidrauličkog udara) koji se mogu javiti u praksi.
- Pojava kavitacije za većinu slučajeva zatvaranja ventila.
- Najveći pritisak za slučaj istovremenog zatvaranja ventila na početku i kraju – najopasniji slučaj!
- Predlozi za budući rad – razvoj numeričkog modela za simulaciju hidrauličkog udara sa uključenim efektima nestacionarnog trenja i kavitacije, koji će biti primjenljiv u praksi na hidroelektranama i pumpnim postrojenjima.