



Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet



# Analiza merenja protoka u kanalizacionom kolektoru



Merenja u hidrotehnici

5. Vežba

Damjan Ivetić

Miloš Milašinović

Dušan Prodanović

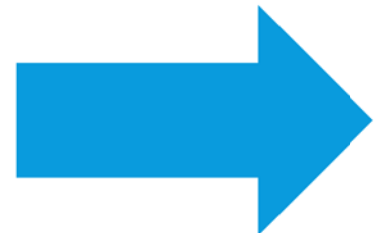


# MOTIVACIJA

- Današnja vežba se oslanja na merenja protoka obavljena tokom 2021. godine.
- Kroz prezentaciju ćemo proći kroz standardne korake u planiranju i sprovođenju merne kampanje.
- Posebnu pažnju ćemo posvetiti odabiru merne opreme, podešavanjima uređaja i obradi izmerenih podataka.
- Nažalost (ili na sreću...) nećemo ulaziti u šahtove, ali ćemo probati da dočaramo situaciju.
- **Vaš zadatak u ovoj vežbi je da obraditi sirove merne podatke, proceniti mernu nesigurnost izmerenih podataka, definišete konačan rezultat i napišete mini-izveštaj.**

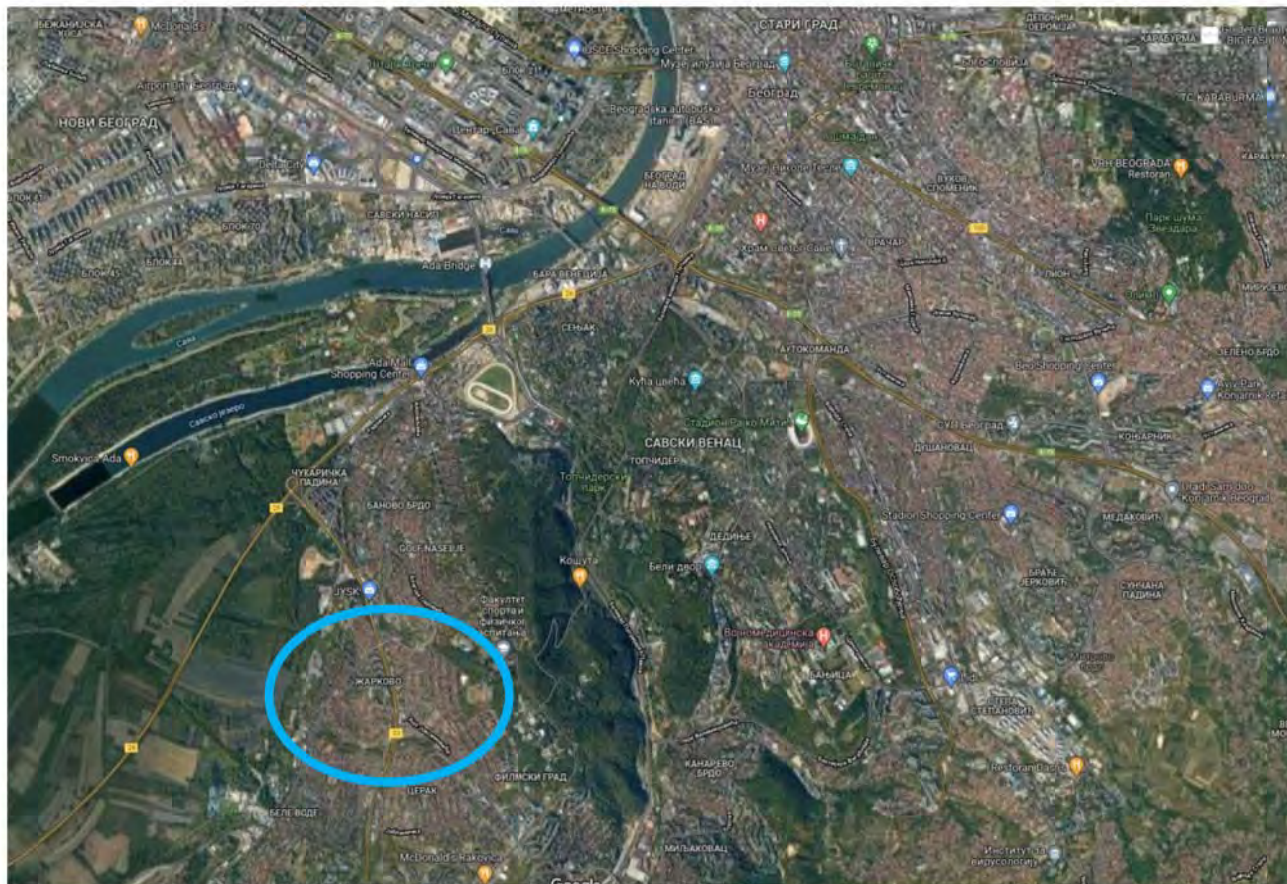
# MOTIVACIJA

- Sama prezentacija je strukturirana tako da prati hronologiju događaja i odgovarajuće izazove...
- Iako je za samu izradu vežbe najbitnija obrada sirovih rezultata i procena merne nesigurnosti (naznačeno je)...
  
- **Počecemo od projektog zadatka – šta je cilj merenja?**



# PROJEKтни ZADATAK

- Provera kapaciteta dela kišne kanalizacione mreže u naselju Žarkovo...



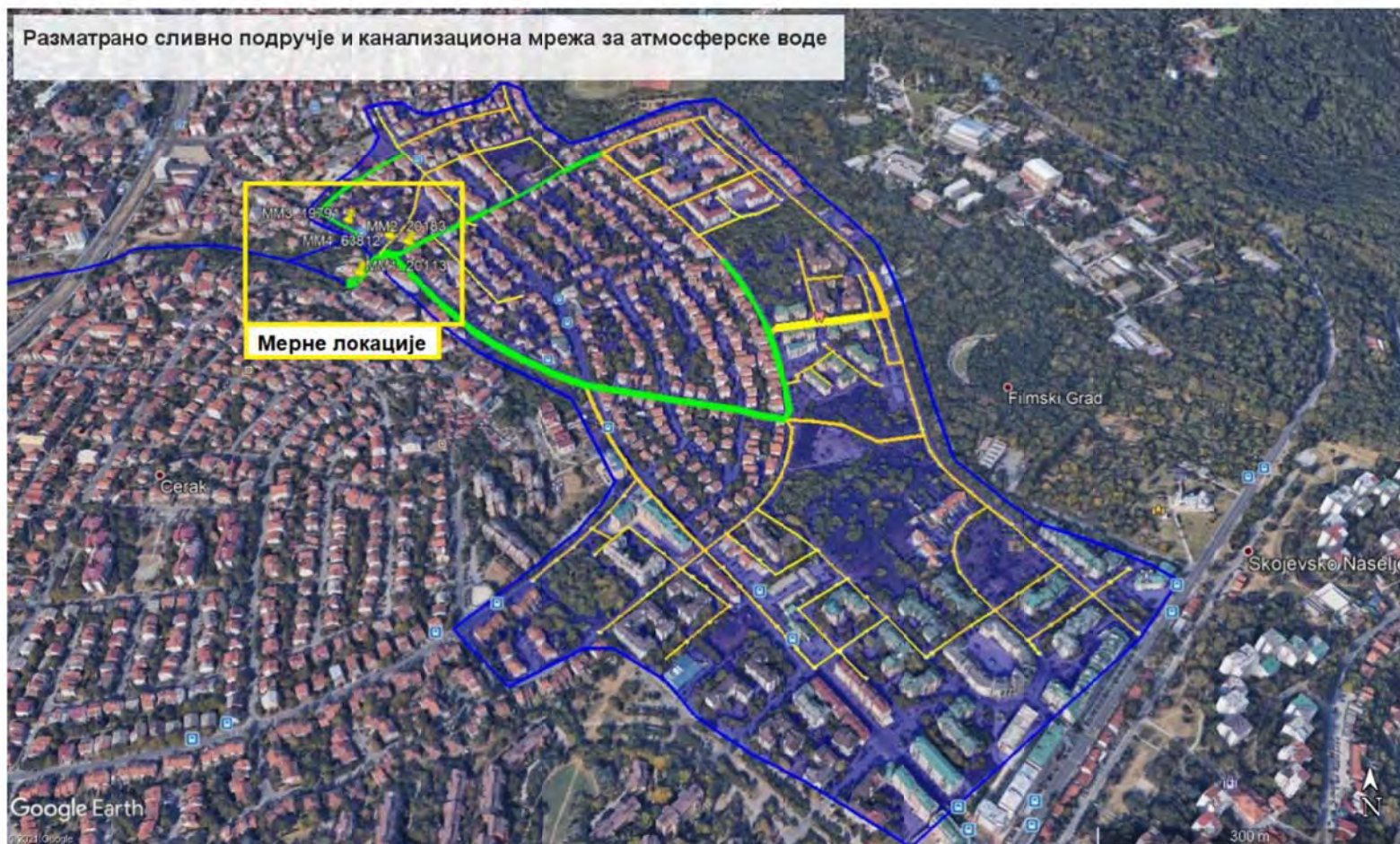
# PROJEKTNI ZADATAK

- Provera kapaciteta dela kišne kanalizacione mreže u naselju Žarkovo...



# PROJEKTI ZADATAK

- Provera kapaciteta dela kišne kanalizacione mreže u naselju Žarkovo...



# PROJEKTI ZADATAK

- Provera kapaciteta dela kišne kanalizacione mreže u naselju Žarkovo...



Nas interesuje MM<sub>1</sub>, koje je neposredno uzvodno od ispusta (zašto?)

# PROJEKTNI ZADATAK

- Potrebna su **merenja protoka na MM<sub>1</sub> u toku kišnih epizoda...**
- Šta zapravo sve trebamo da izmerimo:
  - 1. Protok na MM<sub>1</sub> (protokomeri, merenja nivoa, brzine...)**
  - 2. Intezitet kiše na slivu (kišomeri)** Nećemo se baviti ovde merenjem kiše...
- **Trebamo da definišemo kišnu epizodu (hijetogram) i odgovarajući odziv kanalizacionog sistema (izlazni hidrogram)**
- Uobičajena praksa je da se za nekoliko kišnih epizoda rade merenja, dok ovde analiziramo samo jednu!



# ULAZNI PODACI

- Iz GIS-a (Geografskog Informacionog Sistema) su dobijeni podaci koji su, kao i u većini praktičnih slučajeva, upitnog kvaliteta sa dosta očiglednih nelogičnosti (negativni padovi, loše unete kote...)

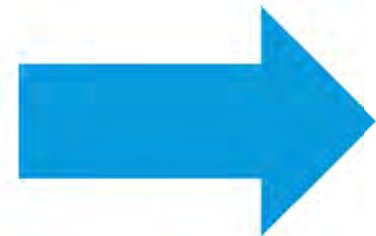
## Koordinate MM1:

$X = 7454527.37; Y = 4956955.77$

## Geometrija kolektora:

- Kružni poprečni presek
- $D = 1200 \text{ mm}$
- $I_d \sim 7 \%$

Veći kolektor sa velikim padom?



Obilazak terena,  
provera GIS  
podataka...

# OBILAZAK TERENA

Google street view (2013) VS „svoje oči“ (2021)



Očigledno se gradilo...

Inženjer BVK otkrio da je šaht bio srušen tokom padavina, pa naknadno rekonstruisan pre par godina!



# OBILAZAK TERENA

Unutar šahta (koji je na prelomu trase – krivini)...

Nizvodno



Uzvodno



Kolektor ne dolazi pod pritisak?

Kišna ili fekalna kanalizacija?



# DOPUNA ULAZNIH PODATAKA

## Koordinate MM<sub>1</sub>:

$X = 7454527.37; Y = 4956955.77$

## Geometrija kolektora:

- Kružni poprečni presek
- $D = 1200 \text{ mm}$
- $I_d \sim 7 \%$

## Očekivani hidraulički uslovi:

- Velike brzine
- Dubine ne veće od 1 m
- Velik opseg ( $Q_{\min}/Q_{\max}$ )

**Odabir merne opreme i  
projektovanje mernog  
mesta...**



# ODABIR MERNE OPREME

## 1. Očekivani hidraulički uslovi:

Prezentacija vežbe 4!

- Velike brzine; Dubine ne veće od 1 m; Velik opseg ( $Q_{min}/Q_{max}$ )

## 2. Fizičke karakteristike vode:

- Pomešana fekalna i kišna voda (mutna)

## 3. Fizičke karakteristike kolektora:

- Kružni poprečni presek;  $D = 1200 \text{ mm}$ ; Beton

## 4. Zdravstveni uslovi:

- Blizu poklopca - obezbeđena provetrenost, mala fekalna voda ...

# ODABIR MERNE OPREME

1. Očekivani hidraulički uslovi:

- Velike brzine; Dubine ne veće od 3 m (veliki tokovi) (Qmaja / hmax)

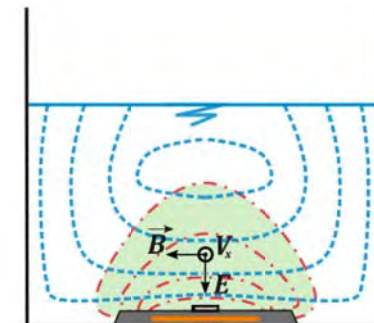
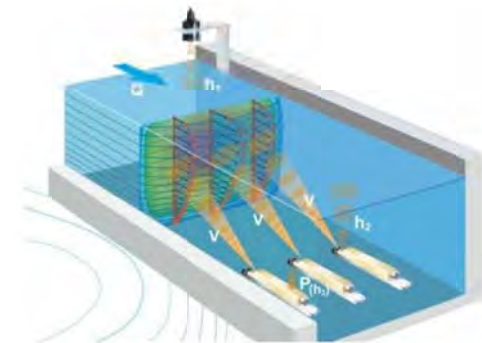
2. Fizičke karakteristike vode:

- **Metoda Brzina – Proticajni presek (V – A)**
  - **Merenje brzine: EM + Dopler**
  - **Merenje dubine: pjezorezistivno (ugrađeno i u EM i u Dopler)**

3. Fizički uslovi:

- Blizina objekata, prisustvo objekata u toku

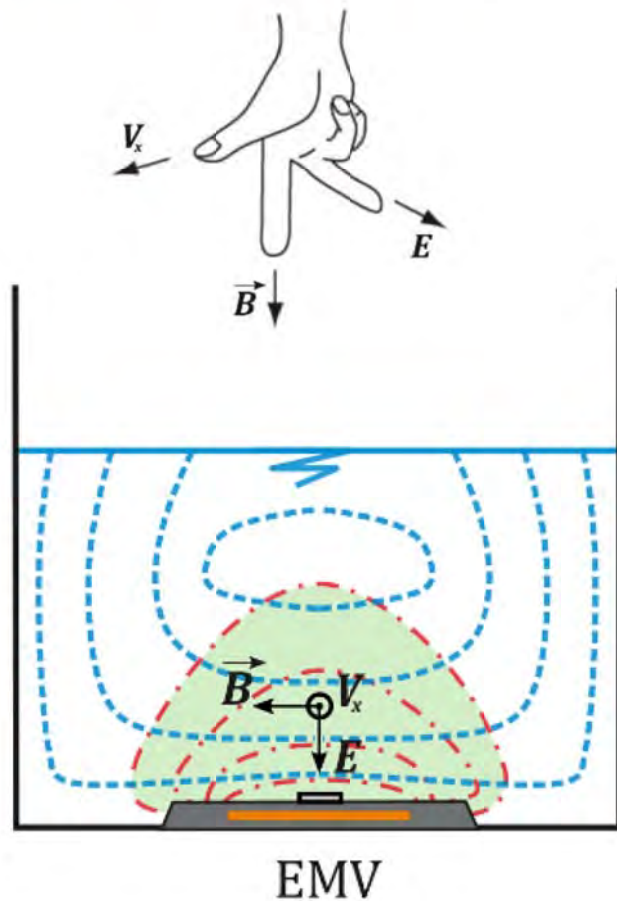
Prezentacija vežbe 4!



EMV

# PRISTUP V - A

## EM senzori brzine

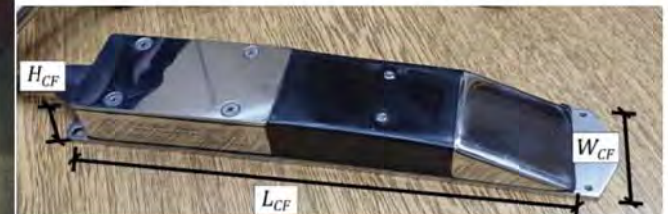
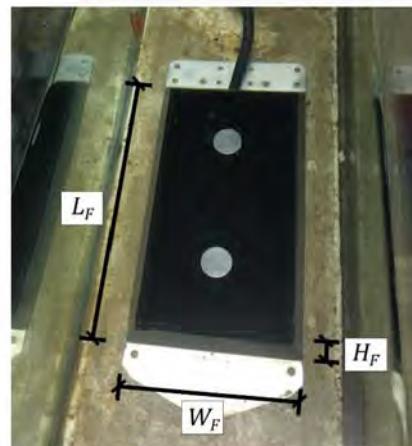


Faradejev zakon indukcije

Mogućnost rada u svim tipovima provodnih voda

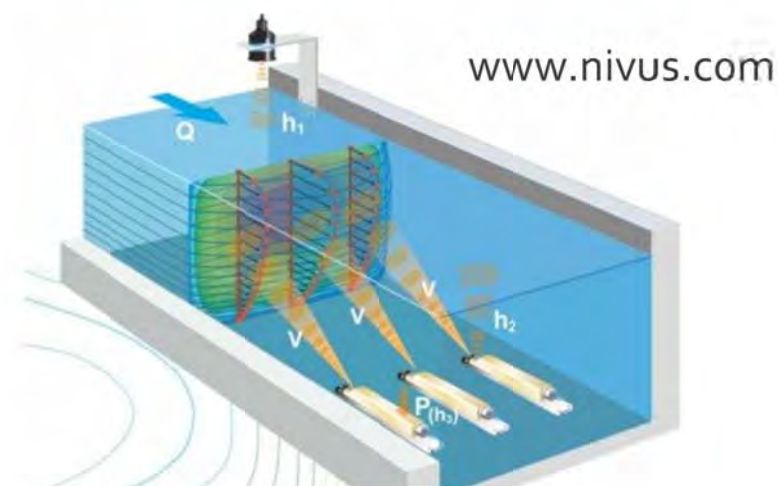
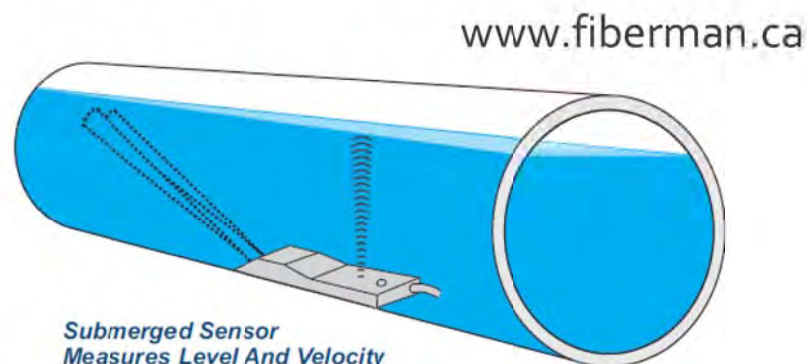
Mogućnost rada u slučaju formiranja taloga preko senzora

Domaći proizvođač „Svet Instrumentata“ – Veoma konkurentan po performansama!



# PRISTUP V - A

## Dopler senzori



Relativno velika/duboka merna zapremina (zapremina toka koja utiče na izlazni signal),

Mogućnost rada samo u „prljavoj“ vodi,

Nemogućnost rada u slučaju formiranja taloga preko senzora

U kanalizacionim sistemima su najpopularniji Dopler senzori (Larrarte et al., 2008)

„Poslednji krik mode“ – preporuka:

<https://www.youtube.com/watch?v=ILiXTCnth1o>



# ODABIR MERNE OPREME

Skica mernog mesta:



**Uzvodno od preloma trasa da bi obezbedili što pravilniju strujnu sliku!**

Praćenje meteo-prognoze (RHMZ, AccuWeather, Weather2Umbrella, [www.yr.no](http://www.yr.no), ...) da bi uhvatili kišu!

**Kada se poklope kockice...**



# MONTAŽA MERNE OPREME

Detalji: „ankerisanje“ uređaja, minimalan otpor kablova.



Ključan aspekt – komunikacija sa tehničarima!

Računske jedinice blizu poklopca – pristup sa nivoa terena!

# MONTAŽA MERNE OPREME

Podešavanja uređaja:

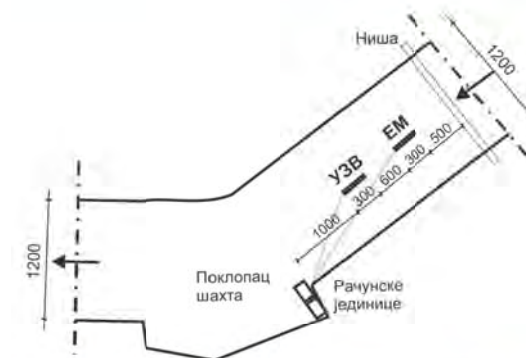
## 1. EM Flat compact „Svet instrumenata“

- dt = 2 min (ograničenje)
- V, h, Q

## 2. VOA 2 Dopler senzor „Nivus“

- dt = 1 min
- V, h, Q, T (temperatura vode)

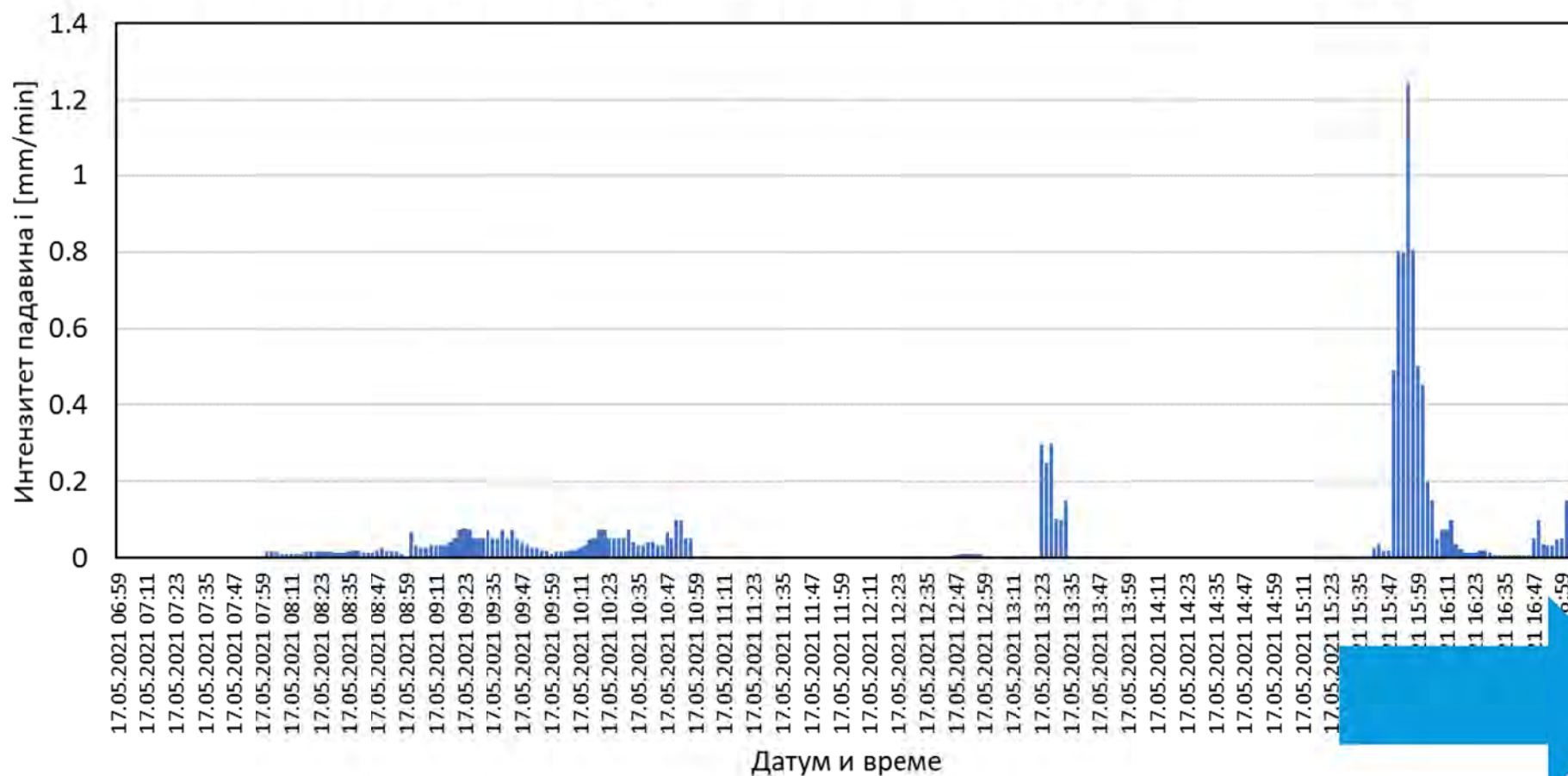
**Uređaji rade sa različitim dt!  
(u obradi sirovih podataka svesti  
podatke na isto dt = 2 min)**



# PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA

## Kišna epizoda koja se dogodila 17.05.2021. (izmereno)

ПРИЛОГ 3: Хијетограм за период 17.05. 07:00 - 17.05. 17:05 (прва кишна епизода)



# PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA (VEŽBA)

Odziv sistema – izmereno na MM1 (i malo obrađeno):

	A	B	C	D
1	EM			
2	Datum/vreme	V (m/s)	h (m)	Q (m3/s)
3	17/05/2021 06:40			
4	17/05/2021 06:42			
5	17/05/2021 06:44			
6	17/05/2021 06:46			
7	17/05/2021 06:48			
8	17/05/2021 06:50			
9	17/05/2021 06:52			
10	17/05/2021 06:54			
11	17/05/2021 06:56			

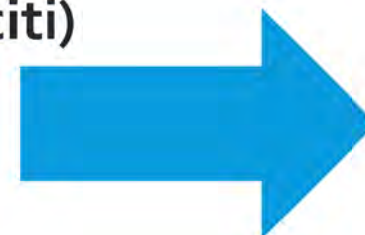
dt = 2 min

	A	B	C	D	E
1	NIVUS				
2	Datum/vreme	V (m/s)	h (m)	Q (l/s)	T (°C)
3	17/05/2021 06:40				
4	17/05/2021 06:41				
5	17/05/2021 06:42				
6	17/05/2021 06:43				
7	17/05/2021 06:44				
8	17/05/2021 06:45				
9	17/05/2021 06:46				
10	17/05/2021 06:47				
11	17/05/2021 06:48				
12	17/05/2021 06:49				

Prebaciti u dt = 2 min (osrednjavanje)

Q [l/s] – prebaciti u [m3/s]

#-1 – error code (izbaciti)



# PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA (VEŽBA)

## Obrada podataka

- Nakon početnih obrada, prvi korak je vizuelizacija vremenskih serija:

EM:

$Q(t)$ ,  $V(t)$ ,  $h(t)$

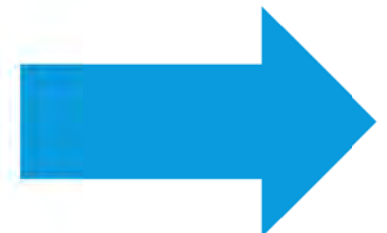
Nivus:

$Q(t)$ ,  $V(t)$ ,  $h(t)$ ,  $T(t)$

Uporediti na tri odvojena dijagrama,  $Q(t)$ ,  $V(t)$  i  $h(t)$  za oba uređaja...

...uočićete probleme, stvari se ne poklapaju...

Prelazimo na analizu merne nesigurnosti, da probamo da otkrijemo prirodu neslaganja...



# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

**Analiza merne nesigurnosti, za izvedenu mernu veličinu kao što je protok  $Q$ , izmeren metodom  $V - A$ :**

- Kako protok računamo?

$$Q = A(h) * V = R^2 * \left[ \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) - \left(1 - \frac{h}{R}\right) * \sin\left(\arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right)\right) \right] * V$$

U svakom vremenskom koraku  $t$  imamo **izmerenu dubinu  $h$** , **brzinu  $V$**  i konstantan poluprečnik  **$R$**

- Merna nesigurnost, izmerenog protoka  $Q$  se u svakom koraku  $t$  računa kao:

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$



# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$

Jasno, zadatak postaje komplikovaniji, jer sada treba da definišemo **merne nesigurnosti svake od veličina  $h$ ,  $V$  i  $R$  u svakom vremenskom koraku  $t$ ...**

+

**Moramo da definišemo izvode  $\frac{\partial Q}{\partial R}$ ,  $\frac{\partial Q}{\partial V}$  i  $\frac{\partial Q}{\partial h}$ ...**

**Olakšavajuća okolnost: Za  $u(R) = 0.02 \text{ m} = \text{const}$**

**(zapravo to je nesavršenost u betoniranju kružnog kolektora)**





# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$

Setimo se **Vežbe 1.**, razlikujemo više komponentata merne nesigurnosti:

- Statistička merna nesigurnost  $u(X)_{stat}$
- Sistematska merna nesigurnost  $u(X)_{sist}$
- Etalonska merna nesigurnost  $u(X)_{et}$  (dodatak zbog lab. uslova)

Iz kojih računamo:

**X može da bude h ili V!**

- **Kombinovanu mernu nesigurnost  $u(X)_C$**

$$u(X)_C = \sqrt{u(X)_{et}^2 + u(X)_{stat}^2 + u(X)_{sist}^2}$$



# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$

Za EM senzor (Jovašević, 2019):

	$X = V$ [m/s]	$X = h$ [m]
$u(X)_{stat}$	$0,036 * V + 0,003$	0,009
$u(X)_{sist}$	0,0594	0,005
$u(X)_{et}$	0,015	0,001

**X može da bude h ili V!**

$$u(X)_C = \sqrt{u(X)_{et}^2 + u(X)_{stat}^2 + u(X)_{sist}^2}$$



# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$

Za Nivus senzor (Rak, 2021):

	$X = V$ [m/s]	$X = h$ [m]
$u(X)_{stat}$	$0,0049 * V + 0,0021$	0,003
$u(X)_{sist}$	0,03 (0,176)	0,006
$u(X)_{et}$	0,015	0,001

**X može da bude h ili V!**

$$u(X)_C = \sqrt{u(X)_{et}^2 + u(X)_{stat}^2 + u(X)_{sist}^2}$$



# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$

$u(R) = 0.02 \text{ m} = \text{const}$

Za Nivus senzor (Rak, 2021):

	$X = V$ [m/s]	$X = h$ [m]
$u(X)_{stat}$	$0,0049 * V + 0,0021$	0,003
$u(X)_{sist}$	0,03 (0,176)	0,006
$u(X)_{et}$	0,015	0,001

**X može da bude h ili V!**

$$u(X)_c = \sqrt{u(X)_{et}^2 + u(X)_{stat}^2 + u(X)_{sist}^2}$$



# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$

**Računamo ukupnu mernu nesigurnost:**

$$u(Q)_{tot} = 2 * u(Q)$$

**i definišemo interval poverenja od 95 %**

$$Q(t) \pm u(Q)_{tot}$$

***Nacrtati vremenske serije svih veličina (Q, V, h) za oba uređaja sa intervalom poverenja od 95%***



# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

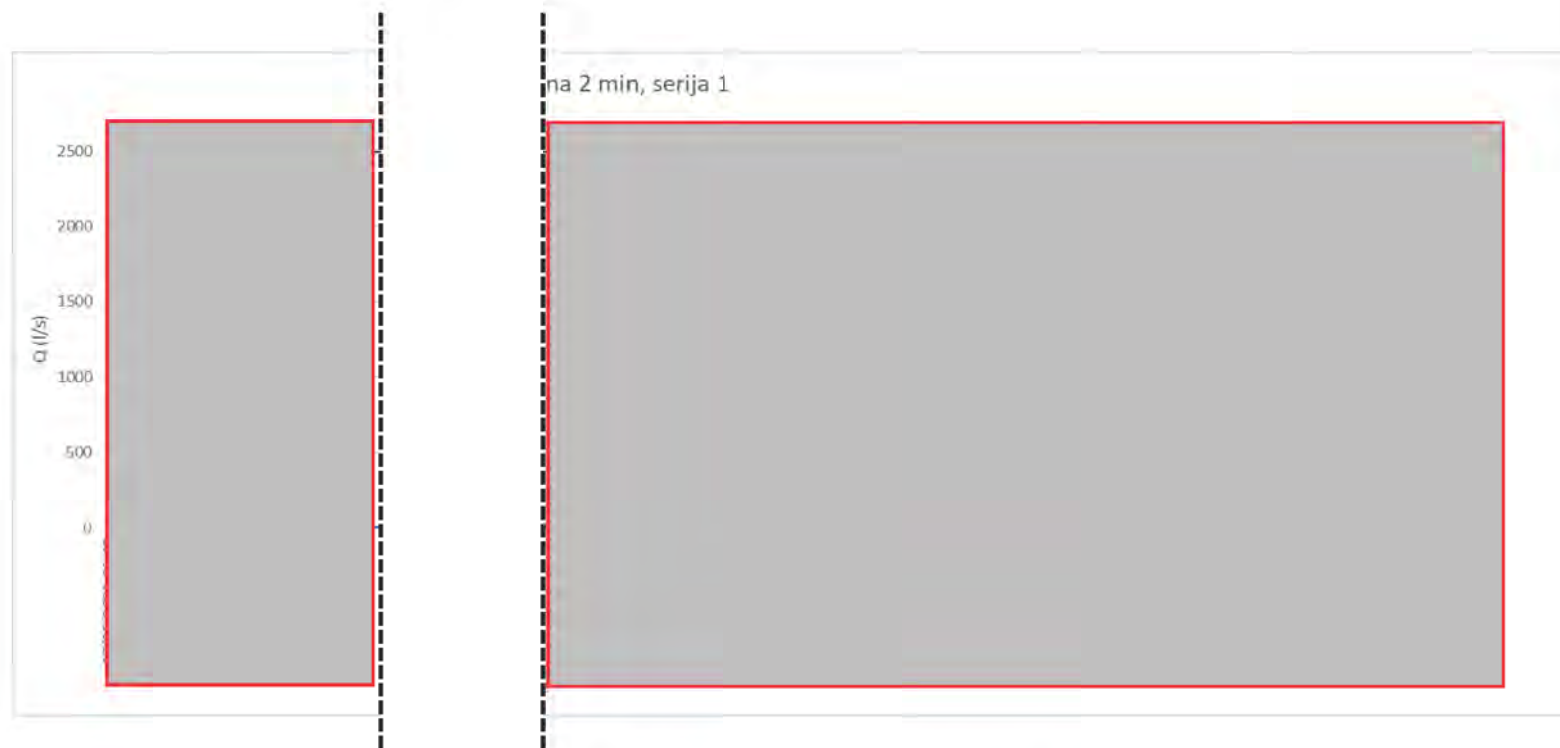


***Nacrtati vremenske serije svih  
veličina (Q, V, h) za oba  
uređaja sa intervalom  
poverenja od 95%***

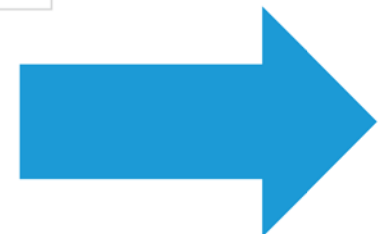


# ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI (VEŽBA)

Konačno se dobija nešto što liči na ovo (treba dodati IP 95%):



Qmax  L/s +- ?



# FORMIRANJE IZVEŠTAJA (VEŽBA)

## Sastavni elementi:

- Prikaz mernog mesta (pin) i šire lokacije iz Google Earth-a
- Vremenske serije svih izmerenih veličina ( $Q$ ,  $V$ ,  $h$ ) za oba uređaja sa intervalom poverenja od 95%
- Vremenske serije konačnog protoka, i odabranih izmerenih veličina ( $Q$ ,  $V$ ,  $h$ ) sa intervalom poverenja od 95%
- Diskusija kojom se opravdava odabir odgovarajućih izmerenih veličina kao i proračun izmerenog protoka.
- Diskusija o potencijalnim uzrocima odstupanja u podacima izmerenih pomoću različitih uređaja



# FORMIRANJE IZVEŠTAJA (VEŽBA)

## Sastavni elementi:

- Prikaz mernog mesta (pin) i šire lokacije iz Google Earth-a
- Vremenske serije svih izmerenih veličina ( $Q$ ,  $V$ ,  $h$ ) za oba uređaja sa intervalom poverenja od 95%
- Vremenske serije konačnog protoka, i odabranih izmerenih veličina ( $Q$ ,  $V$ ,  $h$ ) sa intervalom poverenja od 95%
- Diskusija kojom se opravdava odabir odgovarajućih izmerenih veličina kao i proračun izmerenog protoka.
- Diskusija o potencijalnim uzrocima odstupanja u podacima izmerenih pomoću različitih uređaja

Odgovorite slobodnim stilom, bitno je da razmislite i date „rešenje“...

# FORMIRANJE IZVEŠTAJA (VEŽBA)

## Sastavni elementi:

- Prikaz mernog mesta (pin) i šire lokacije iz Google Earth-a
- Vremenske serije svih izmerenih veličina ( $Q$ ,  $V$ ,  $h$ ) za oba uređaja sa intervalom poverenja od 95%
- Vremenske serije konačnog protoka, i odabranih izmerenih veličina ( $Q$ ,  $V$ ,  $h$ ) sa intervalom poverenja od 95%
- Diskusija kojom se opravdava odabir odgovarajućih izmerenih veličina kao i proračun izmerenog protoka.
- Diskusija o potencijalnim uzrocima odstupanja u podacima izmerenih pomoću različitih uređaja

Odgovorite slobodnim stilom, bitno je da razmislite i date „rešenje“...



Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet



# Analiza merenja protoka u kanalizacionom kolektoru



Merenja u hidrotehnici

5. Vežba

Damjan Ivetić

Miloš Milašinović

Dušan Prodanović

