

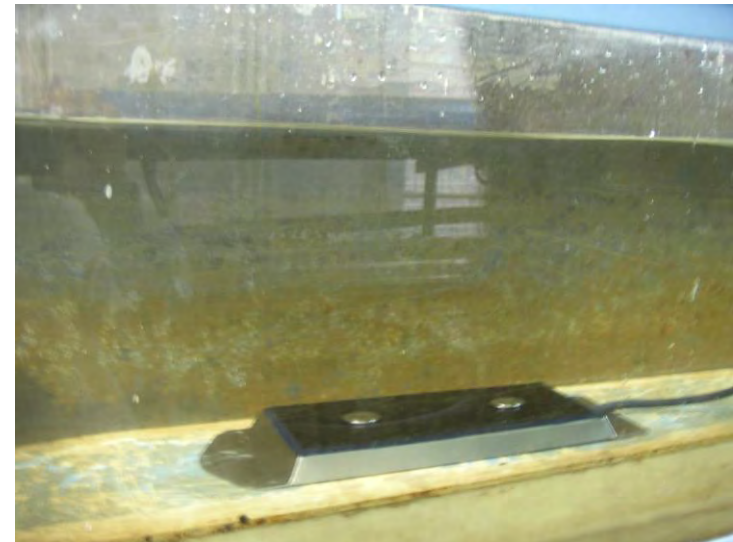
## Primena ravnih elektromagnetnih sondi za merenje protoka u kanalizaciji

(i ne samo kanalizaciji,  
već i tunelima, kanalima ...)



**dr Dušan Prodanović**  
**dr Damjan Ivetić**

**Univerzitet u Beogradu**  
**Građevinski fakultet**





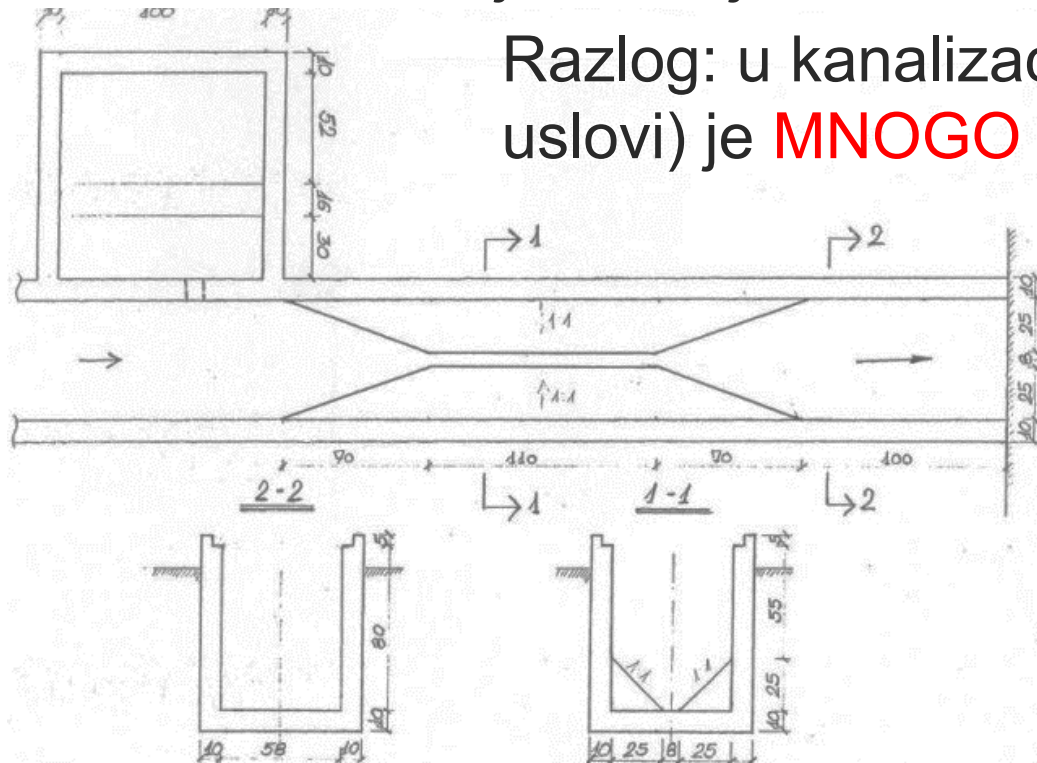
## Uvod – merenje protoka???

- Nivo vode (pritisak u vodovodu) i protok su osnovne veličine potrebne za rad sistema
- Vodovodi još i imaju merna mesta, ali kanalizacije SLABO

Razlog: u kanalizaciji (otvoreni ili kombinovani uslovi) je **MNOGO teže meriti protok**

Ako negde postoje uslovi za suženja, to treba koristiti

Merenjem H dobija se Q





## Uvod – merenje protoka???

- Nivo vode (pritisak u vodovodu) i protok su osnovne veličine potrebne za rad sistema
- Vodovodi još i imaju merna mesta, ali kanalizacije SLABO
- Uglavnom se koristi metoda merenja NEKE brzine  $V_{mer}$  i dubine  $H$ , pa je protok:

$$Q = V \times A \leftarrow \text{Lako se računa iz } H$$

Ne meri se lako, a pri tome ovo nije isto što i  $V_{mer}$





## Uvod – merenje protoka???

- Nivo vode (pritisak u vodovodu) i protok su osnovne veličine potrebne za rad sistema
- Vodovodi još i imaju merna mesta, ali kanalizacije SLABO
- Uglavnom se koristi metoda merenja NEKE brzine  $V_{mer}$  i dubine  $H$
- Najčešće se koriste ultrazvučni (Dopler, Transit time, korelacioni) senzori jer ih prodaju kao APSOLUTNE metode



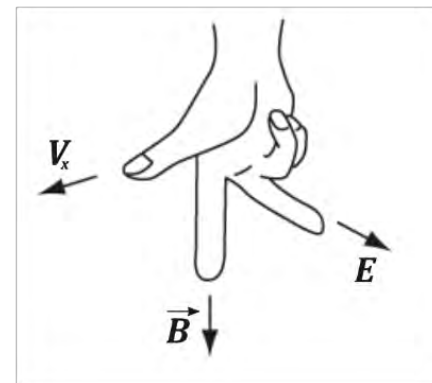
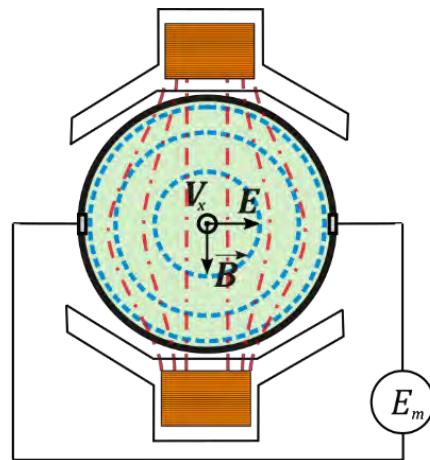
- Apotno tačno meri VREME a ne brzinu!
- Dosta osetljive
- Pitanje je KOJU brzinu mere



## Elektromagnetni princip merenja

- Dugo se već koristi u sistemima pod pritiskom
- Pouzdano, tačno, robustno...
- Zasnovano na **Faradejevom principu indukcije** – zna se šta se meri – **brzina vode a ne nekih čestica!**

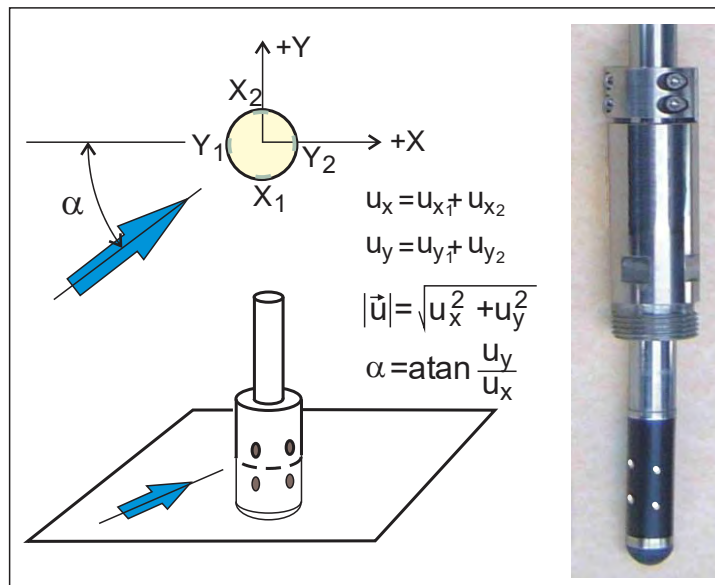
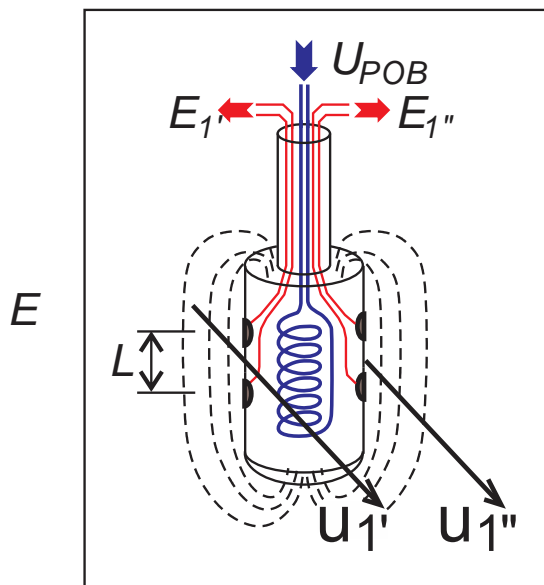
$$U_m = - \int_{\tau} (\vec{V} \times \vec{B}) \cdot \vec{j} d\tau = \int_{\tau} \vec{V} \cdot (\vec{B} \times \vec{j}) d\tau = \int_{\tau} \vec{V} \cdot \vec{W} d\tau$$





# Elektromagnetni princip merenja

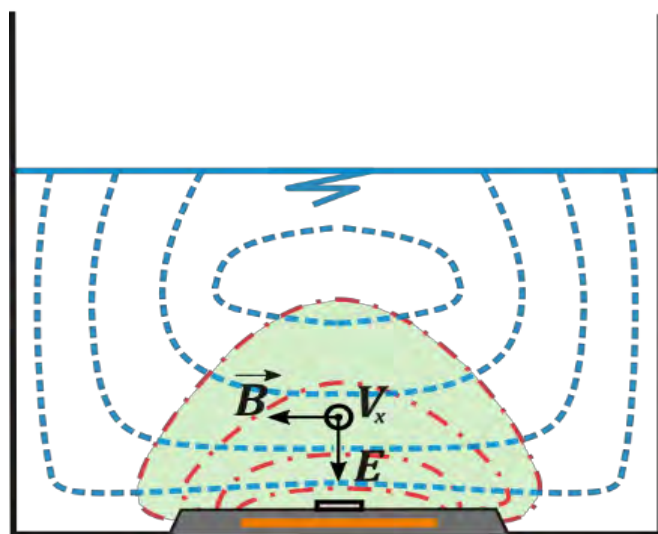
- Dugo se već koristi u sistemima pod pritiskom
- Pouzdano, tačno, robustno...
- Zasnovano na Faradejevom principu indukcije – zna se šta se meri – brzina vode a ne nekih čestica!
- Koristi se dosta i kao sonda za brzine









## Elektromagnetna ravna sonda

- Pogodan dizajn za merenje protoka u kanalizaciji ili otvorenim tokovima
- Montira se na dno ili bok
- Robusna sonda, mala – srednja – velika zona integracije



Ravni EM senzor



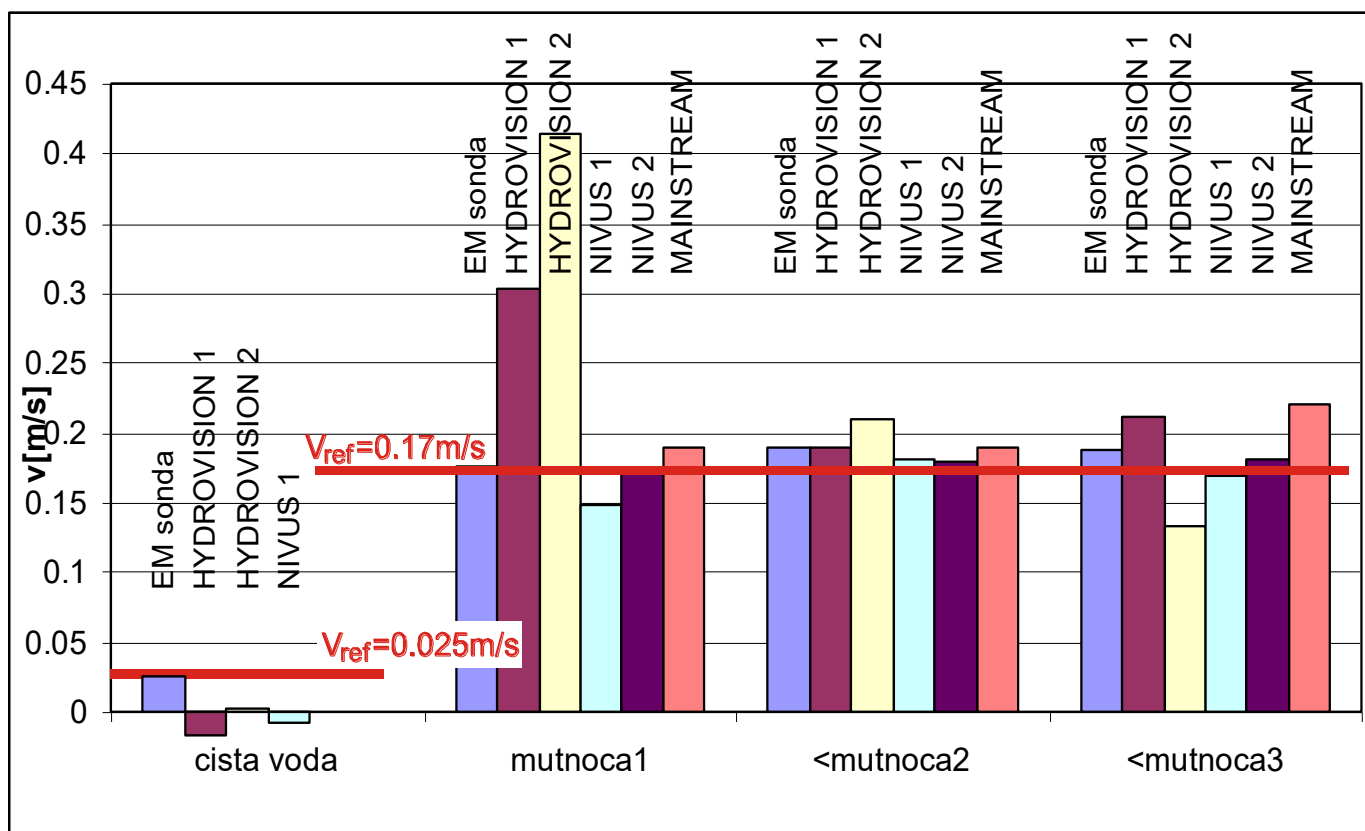
|   |                            |           |
|---|----------------------------|-----------|
|  | Izotahe (brzina)           | $V_x$     |
|  | Magnetno polje             | $\vec{B}$ |
|  | Kontrolna zapremina $\tau$ |           |
|  | Elektrode                  |           |



# Elektromagnetna ravna sonda



- Velike prednosti u odnosu na UZV: radi pri malim i velikim brzinama, ne smeta joj vrsta vode...



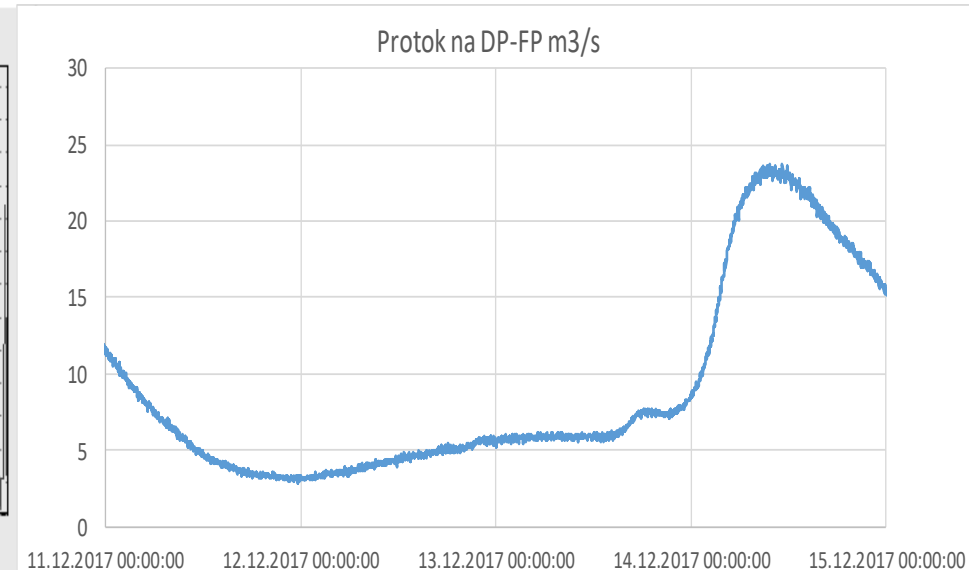
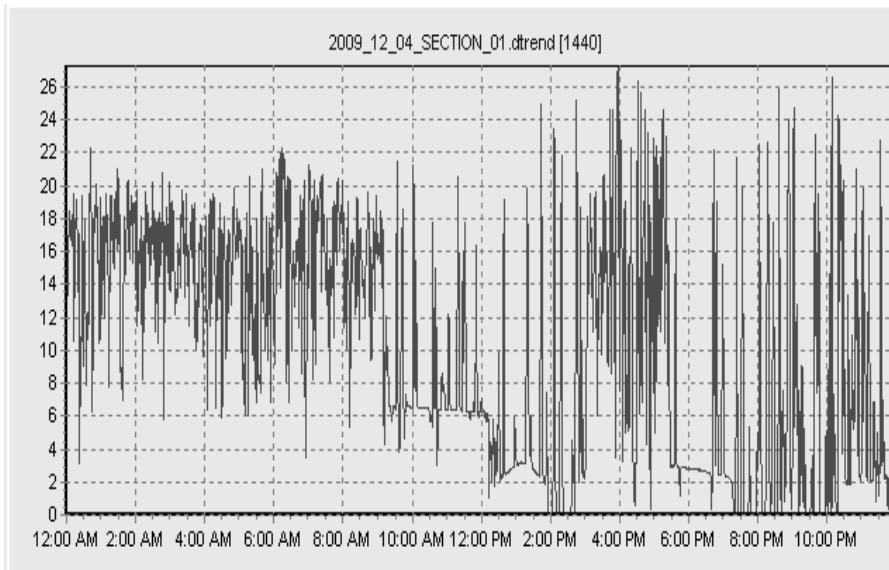




## Elektromagnetna ravna sonda



- Velike prednosti u odnosu na UZV: radi pri malim i velikim brzinama, ne smeta joj vrsta vode, **stabilno merenje u raznim uslovima...**

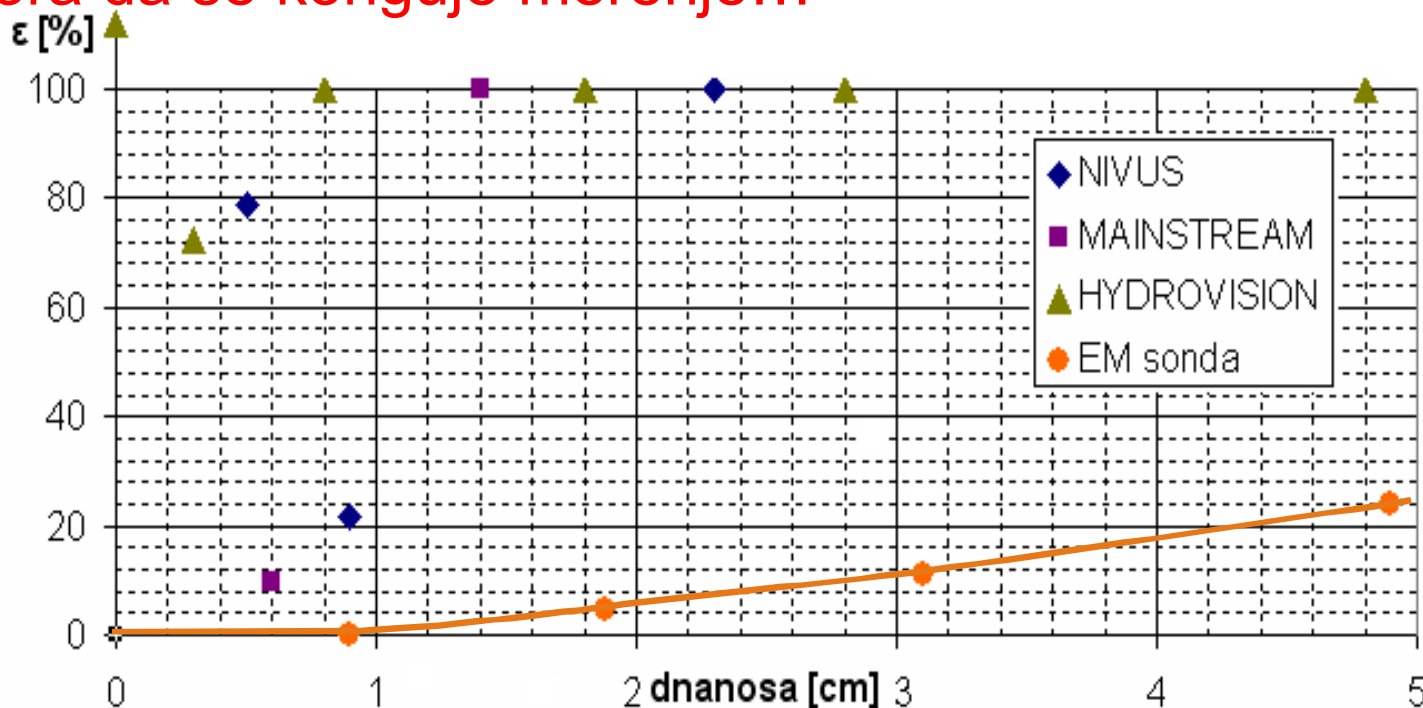




## Elektromagnetna ravna sonda



- Velike prednosti u odnosu na UZV: radi pri malim i velikim brzinama, ne smeta joj vrsta vode, stabilno merenje u raznim uslovima, **otporna je na talog (do izvesne mere) ali mora da se koriguje merenje...**

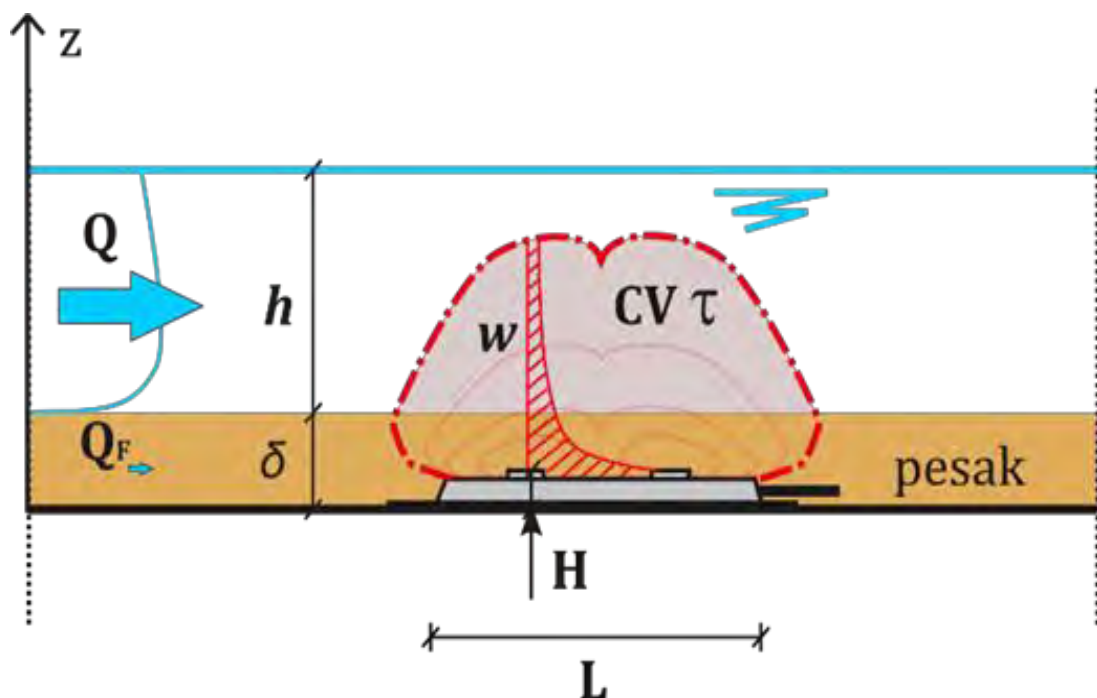




## Elektromagnetna ravna sonda



- Mogućnost rada EM sonde kada je pokrivena nanosom je interesantna
- Detaljno istraženo u Laboratoriji IH

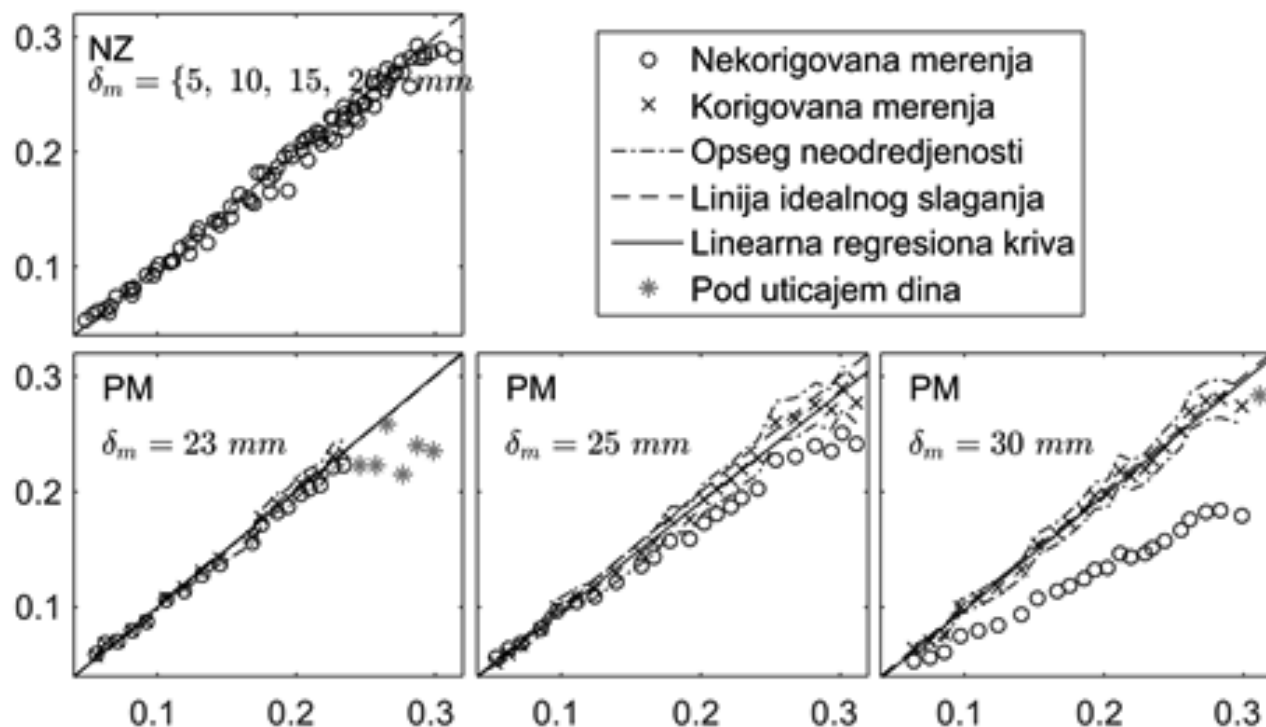
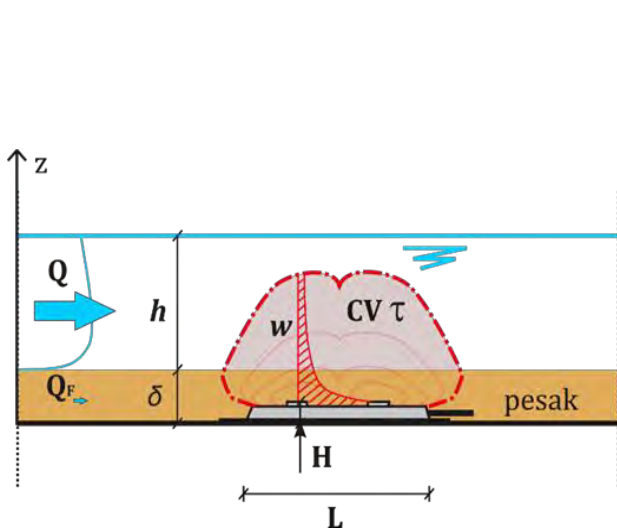




# Elektromagnetna ravna sonda



- Mogućnost rada EM sonde kada je pokrivena nanosom je interesantna
- Detaljno istraženo u Laboratoriji IH – **dat način korekcije!**





## Primeri iz prakse – izliv kod Panč. mosta

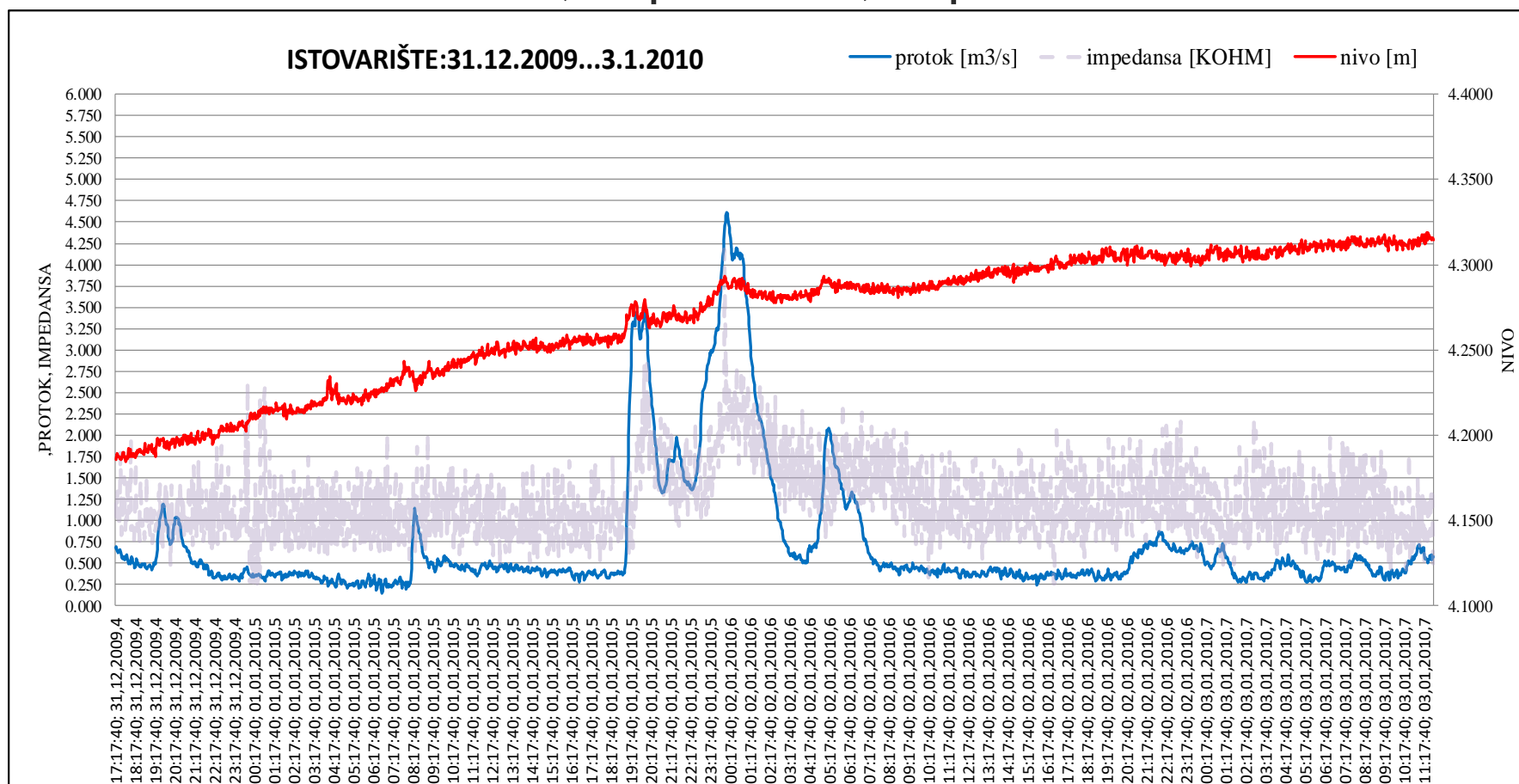
- Mešoviti sistem, uspor
- Izliv 300x450cm
- Montiran UZV 2007
- Dve ravne EM 2010





## Primeri iz prakse – izliv kod Panč. mosta

- Male/velike brzine, impedansa, uspor raste...





## Primeri iz prakse – potis KCS Zemun polje

- Specijalna verzija okruglih ravnih sondi (ugradnja na postojeći cevovod)
- Postavljene **dve sonde** u mernom preseku zbog nepostojanja dobrih mernih uslova





## Primeri iz prakse – potis KCS Zemun polje

### Specijalna verzija okruglih ravnih sondi



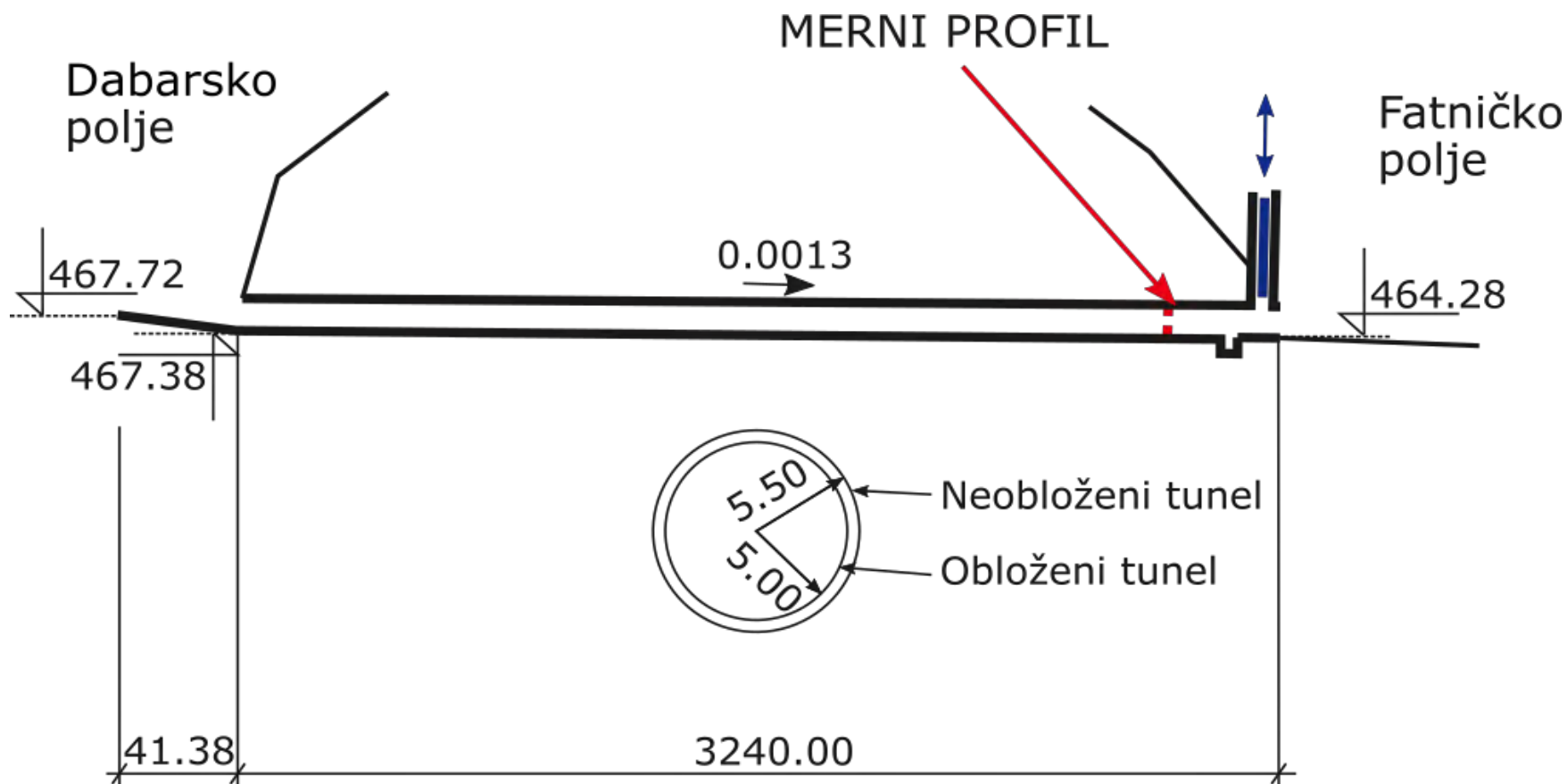
Klapna ne zatvara dobro, povratni tok, **KCS vrti vodu u krug!**





## Primeri iz prakse – tunel Dabar.-Fatn. polje

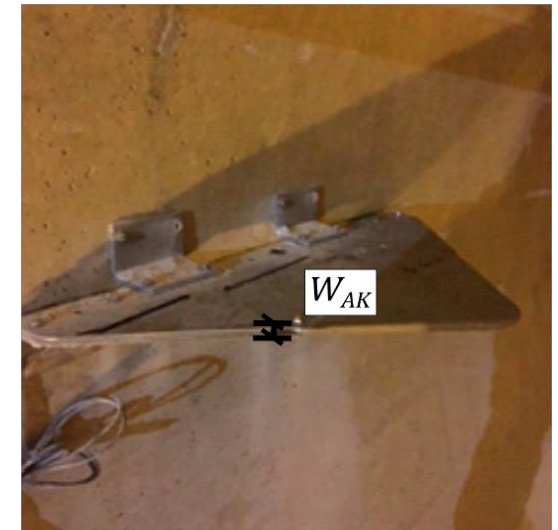
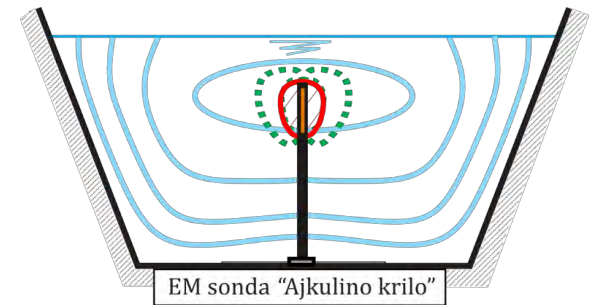
- HES Trebišnjica, veliki tunel, bidirekciono tečenje





## Primeri iz prakse – tunel Dabar.-Fatn. polje

- HES Trebišnjica, veliki tunel, bidirekciono tečenje
- Postavljene 4 velike ravne EM sonde
- Dve kontrolne sonde





## Primeri iz prakse – tunel Dabar.-Fatn. polje

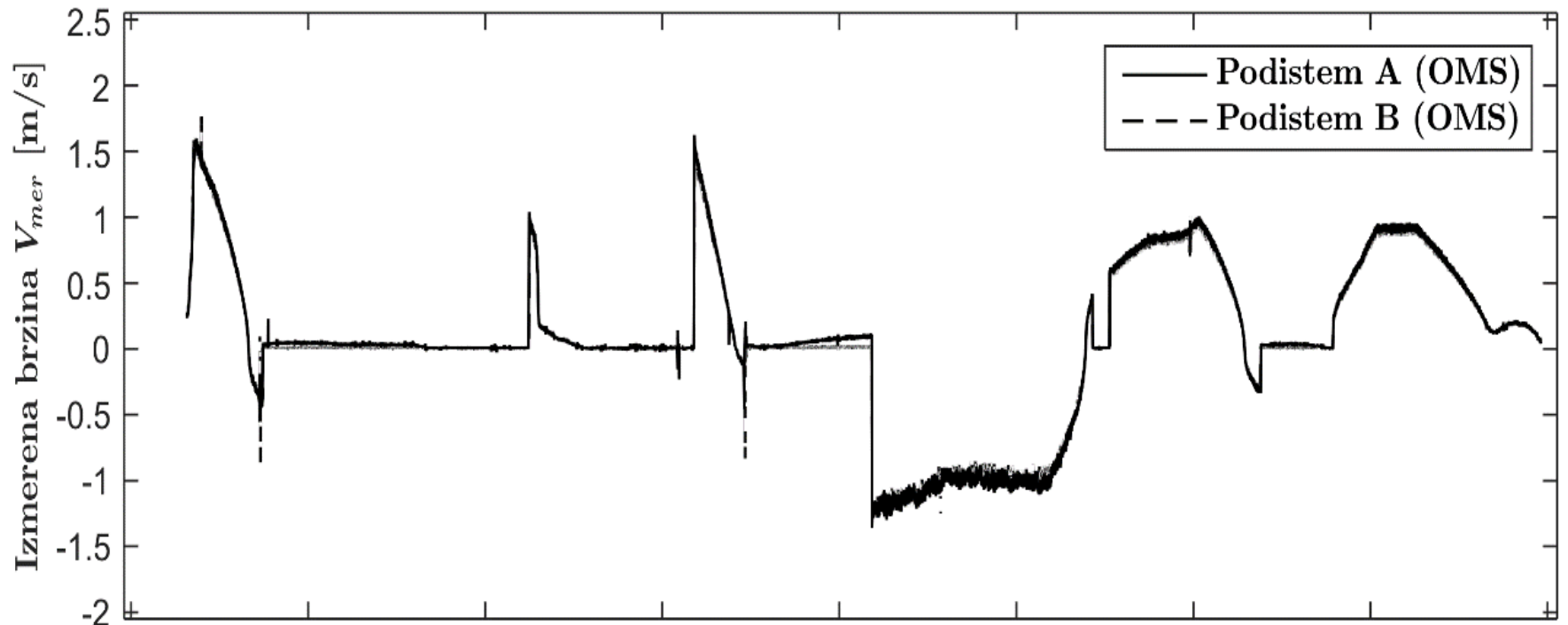
- HES Trebišnjica, veliki tunel, bidirekciono tečenje
- Postavljene 4 velike ravne EM sonde
- Dve kontrolne sonde – **za proveru, na godinu dana!**





## Primeri iz prakse – tunel Dabar.-Fatn. polje

- HES Trebišnjica, veliki tunel, bidirekciono tečenje
- Postavljene 4 velike ravne EM sonde
- Dve kontrolne sonde – za proveru, na godinu dana!





## Zaključak

- Merenje protoka u kanalizaciji – još **nema idealne** metode
- Ima pokušaja sa **bezkontaktnim metodama** (radar, površinske brzine, LaserDoper) ali su još uvek nepouzidane
- UZV popularan ali **ima mana**
- EM ravni ima potencijala, **nije ni on idealan**

Rešenja:

- **Izabrati optimalnu metodu**
- **Važni profili: barem dve metode, koje se dopunjuju!**

## Primena ravnih elektromagnetnih sondi za merenje protoka u kanalizaciji

(i ne samo kanalizaciji,  
već i tunelima, kanalima ...)



**dr Dušan Prodanović**  
**dr Damjan Ivetić**

**Univerzitet u Beogradu**  
**Građevinski fakultet**

