

# KALIBRACIJA 3D ELEKTROMAGNETNIH MERILA BRZINE VODE



ИНСТИТУТ ЗА ВОДОПРИВРЕДУ  
„ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ“



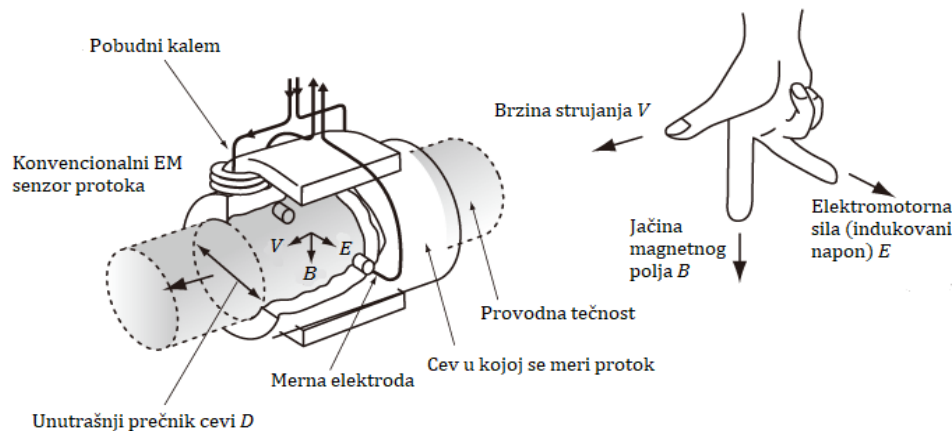
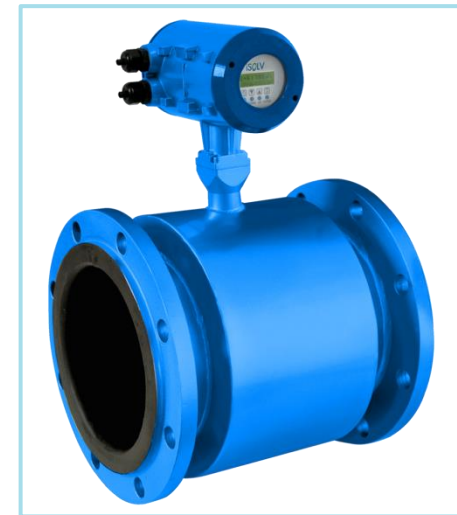
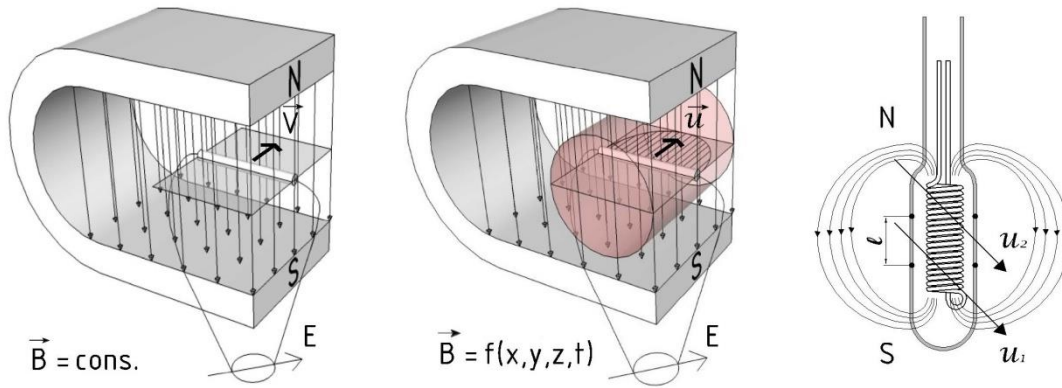
Predrag Vojt – Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”  
Prof. dr Dušan Prodanović – Univerzitet u Beogradu (Građevinski fakultet)  
Doc. dr Damjan Ivetić – Univerzitet u Beogradu (Građevinski fakultet)

Kongres metrologa 2022

# Elektromagnetna (EM) sonda za merenje brzina

## Princip rada EM senzora brzine

- ▶ Faradejev zakon indukcije napona



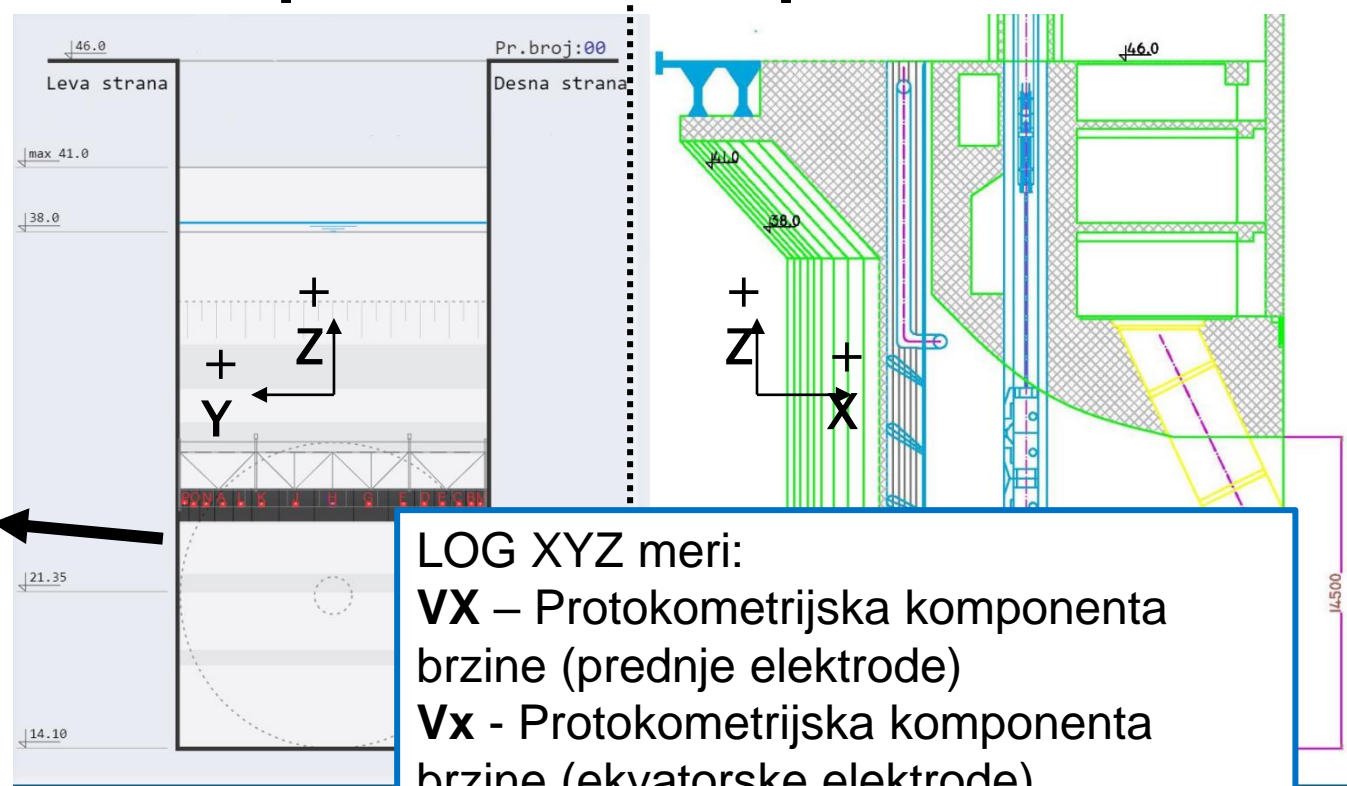
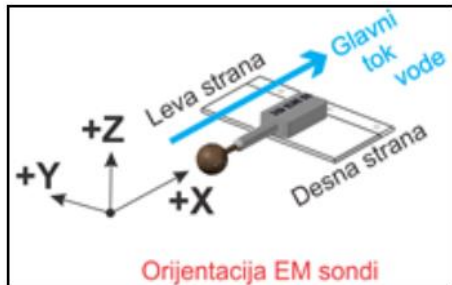
Matematički model (Bevir 1970):

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

# Elektromagnetna (EM) sonda za merenje brzina

## Komponente brzina prikazana u naprimeru $\text{D}2$

15 sondi u sistemu



LOG XYZ meri:

**V<sub>X</sub>** – Protokometrijska komponenta brzine (prednje elektrode)

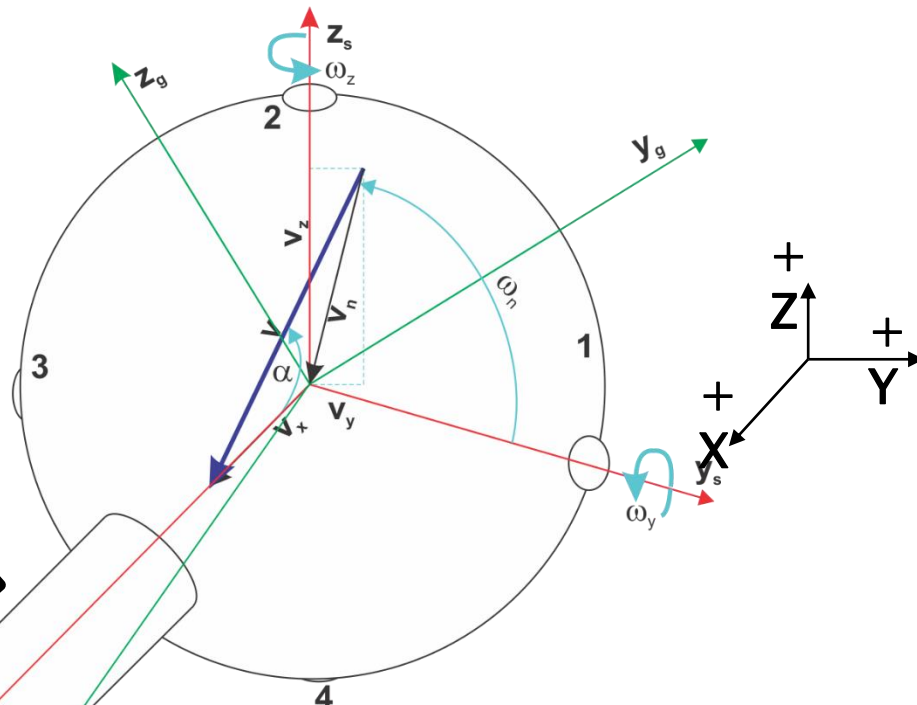
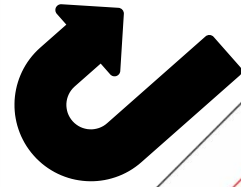
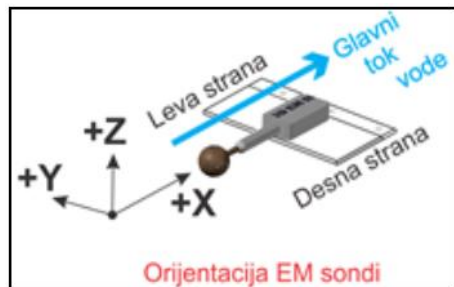
**V<sub>x</sub>** - Protokometrijska komponenta brzine (ekvatorske elektrode)

**V<sub>y</sub>** – Poprečna komponenta

**V<sub>z</sub>** – Vertikalna komponenta

# Elektromagnetna (EM) sonda za merenje brzina

## Uglovi



- Rotacija senzora oko globalnog koordinatnog sistema
- Rotiranost vektora brzine vode oko globalnog koordinatnog sistema

# Softver za kontrolu elektromagnetne (EM) sonde

## DC234 server (softver za kontrolu-modbus skener)

- ▶ Windows aplikacija
- ▶ Glavne ikone



- ▶ Gornji i donji panel

00001002h	TEST uredjaj 1002	172.24.76.50:502	primljena instrument tabla	1 javljanje	pet. 23:15:04
00001003h	PRENOSNI LOGER 00001003	172.24.76.51:4752	primljena ins. tabla i 36/134 stranice	2 javljanja	pet. 23:26:33
00001026h	Vodovod Banja Luka MM:151	172.24.76.52:502	primljena ins. tabla, stringovi i 92/200 stranica	1 javljanje	pet. 23:20:37

**gornji panel**

bar

18:20:12 TCP server aktiviran, interna adresa 192.168.0.11:502.  
18:20:12 UDP server aktiviran, interna adresa 192.168.0.11:501-508.

**donji panel**

pop-ap meni

- Kopiraj (Ctrl-C)
- Snimi tekstualni log (ovu listu) u novi fajl
- Dodaj tekstualni log (ovu listu) u postojeći fajl
- Izaberi font
- Obriši listu
- Dodaj vremenske žigove u log
- Automatski skrol (označava zadnji red liste)



# Kalibracija 3D EM sondi

- ▶ Nulovanje
- ▶ Glavni pravci X i x sa 1 m/s po ISO 3445
- ▶ Poprečna i vertikalna komponenta sa  $\pm 45^\circ$
- ▶ Pauza između vožnji 1 h – kal. traje 1 dan



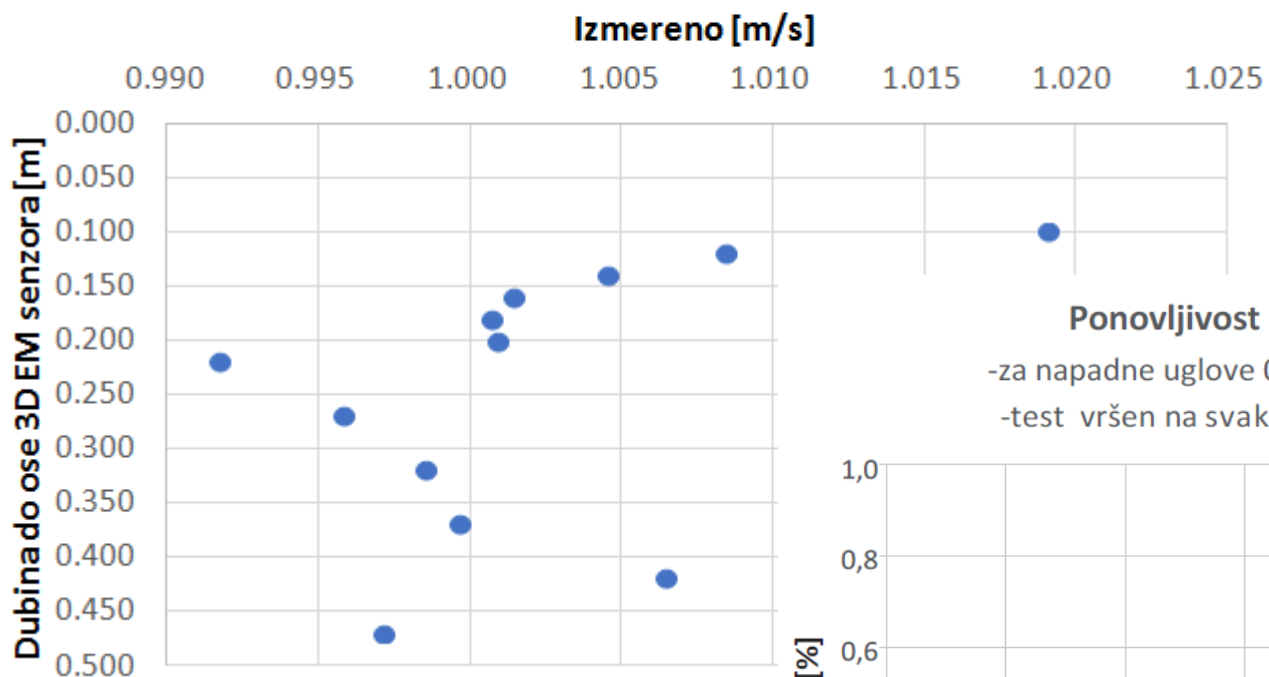
# Dodatna ispitivanja

- ▶ Ponovljivost (~10 tačaka)
- ▶ Linearnost (~10 tačaka)
- ▶ Osetljivost po dubini potapanja (~10 tačaka)
- ▶ Različiti napadni uglovi i rotacija (~25 tačaka)
- ▶ Provera celokupnog sistema na parcijalnom modelu (~10 tačaka)



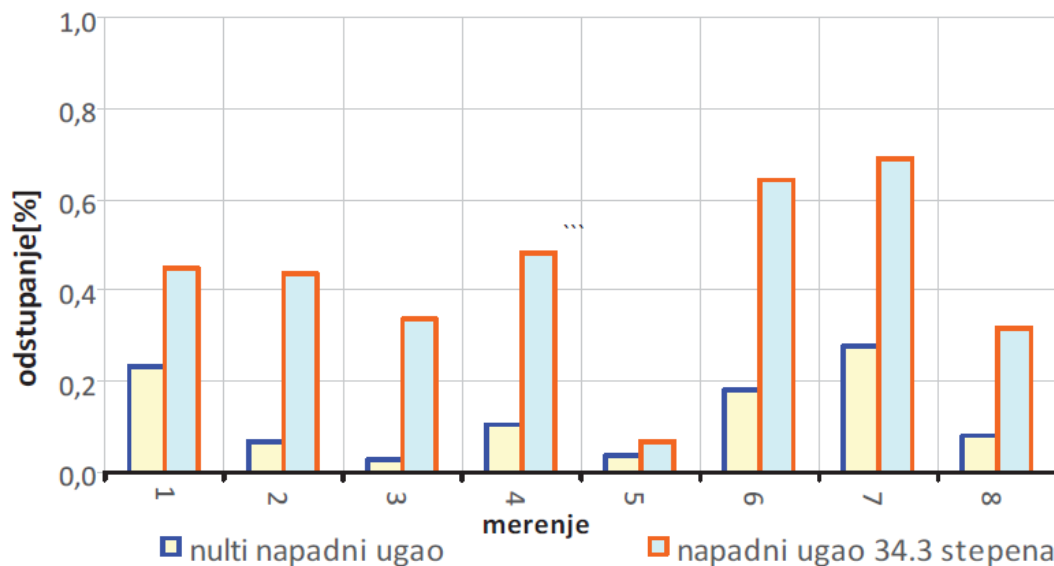
# Rezultati

Zavisnost pokazivanja od potopljenosti 3D EM senzora za protokometrijski pravac



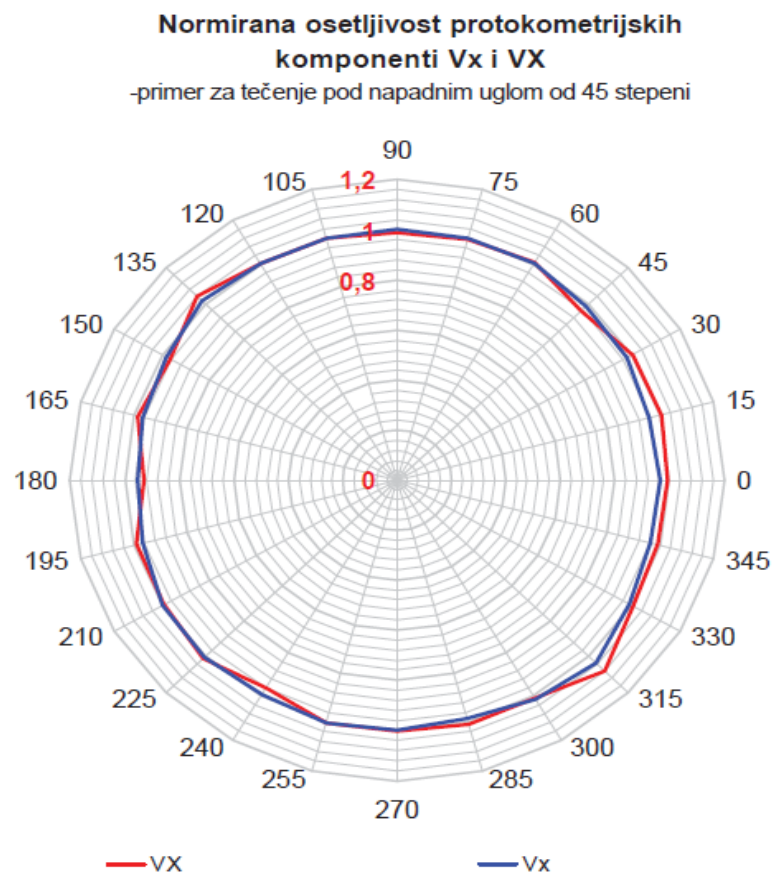
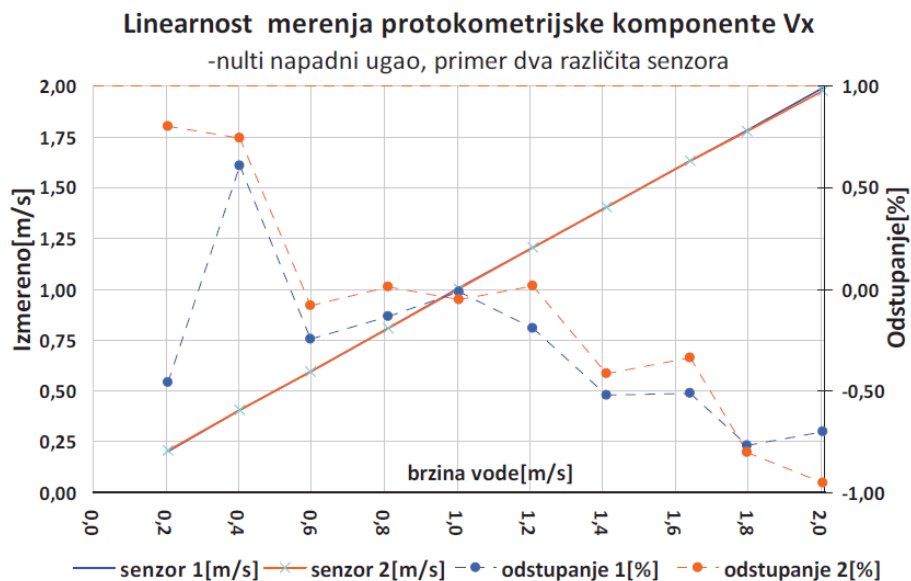
## Ponovljivost merenja komponente Vx

-za napadne uglove 0 i 34.3 stepena ( $w_z=-30, w_y=-15$ ),  
-test vršen na svakih 30min s brzinom  $v_{ref}=1.14m/s$





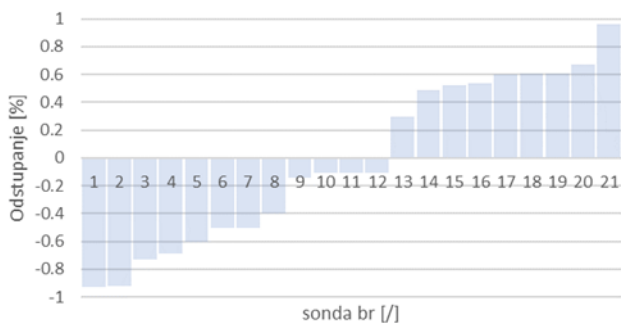
# Rezultati



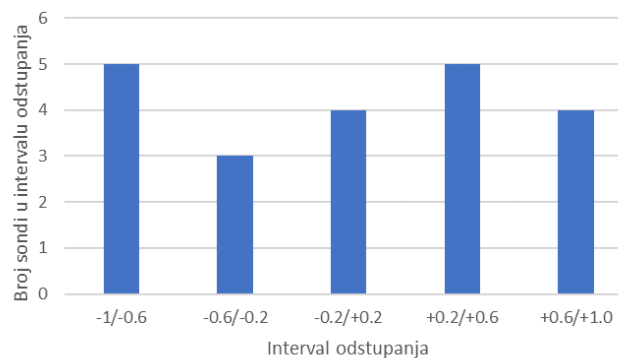
# Rezultati

- ▶ Ostupanje do 1 %
- ▶ Srednja vrednost odstupanja 0,02 %
- ▶ Odlično za protokometriju po ISO 3354

Rasipanje odsupanja 3D EM sonde (sortirano)



Raspodela rasipanja odstupanja 3D EM sonde



Serijski broj 3D EM sonde	Modbus mrežno ime	Odstupanje %
1501	J	-0,11
1502	A	-0,50
1503	B	-0,11
1504	C	0,96
1505	D	-0,93
1506	E	0,61
1507	F	-0,60
1508	G	0,67
1509	H	-0,40
1510	L	0,54
		-0,14
		-0,50
		-0,73
		0,61
		0,49
		0,60
		-0,92
		0,30
		-0,69
1520	U	0,52
1521	V	-0,11

# Zaključak

- ▶ Postojeći ISO 3445 treba proširiti na 3D
  - ▶ Sve 3D EM sonde uspele da uđu u klasu 1 %
  - ▶ Kada se ima prostorni problem, kao na Đerdapu 2, korist 3D EM senzora je izvrsna
  - ▶ Primenom više 3D EM sondi po ISO 3354 dobija se odlična izmerena vrednost
- 