

51
GEODETSKI DAN
BRDO PRI KRANJU
15. IN 16. NOVEMBER
2023



Zajem topografije vodne gladine z lidar in fotogrametričnimi metodami

Žan Pleterski, Benjamin Bizjan, Marko Hočevar,
Sabina Kolbl Repinc, Gašper Rak

VEĀRAZSEŽNO MODELIRANJE PROSTORA



(Klasične) merilne metode za določanje poteka vodne gladine pri enofaznem toku

- Tako v laboratorijskih kot terenskih meritvah še vedno prevladujejo klasične merilne metode.
- (Dovolj) natančni rezultati v večini primerov tokovnih razmer.
- Omejenost pri izvedbi zveznih meritev po prerezu, časovno sprejemljive so le meritve v posameznih točkah.
- Omejenost pri meritvah globine vode pri hitro spremenljivih vrednostih nivojev in pojavu dvofaznega toka.
- Nemoč izvedbe meritev z veliko prostorsko in časovno ločljivostjo (oz. v časovno sprejemljivih intervalih).

Tlačna sonda



Ultrazvočni merilnik



Uporovna sonda

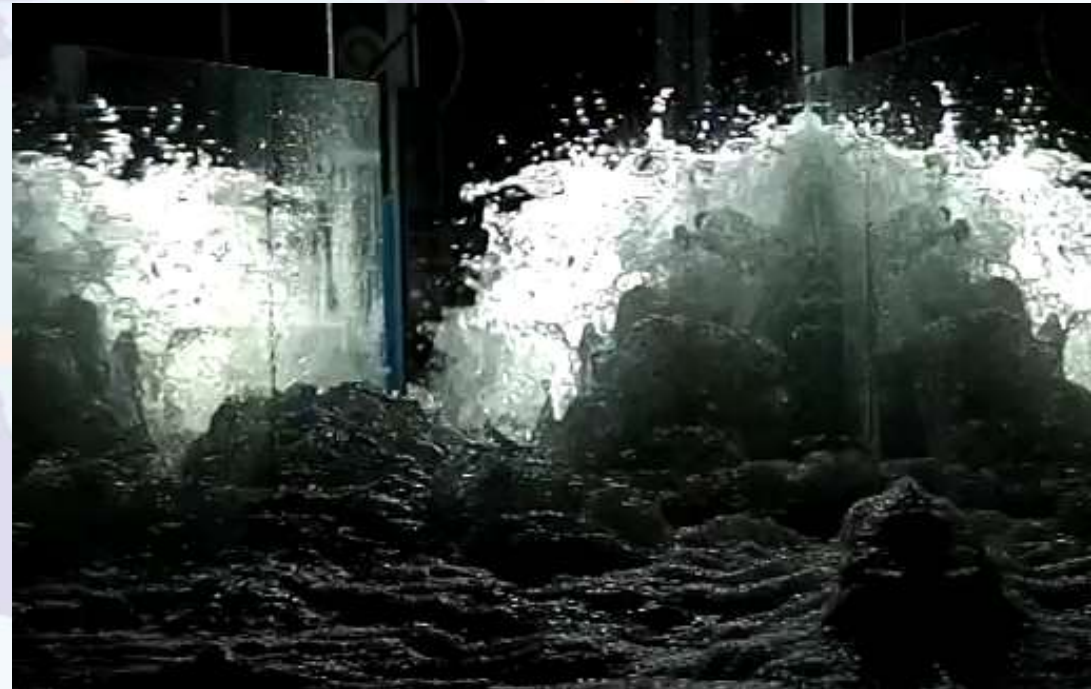


Ostno merilo



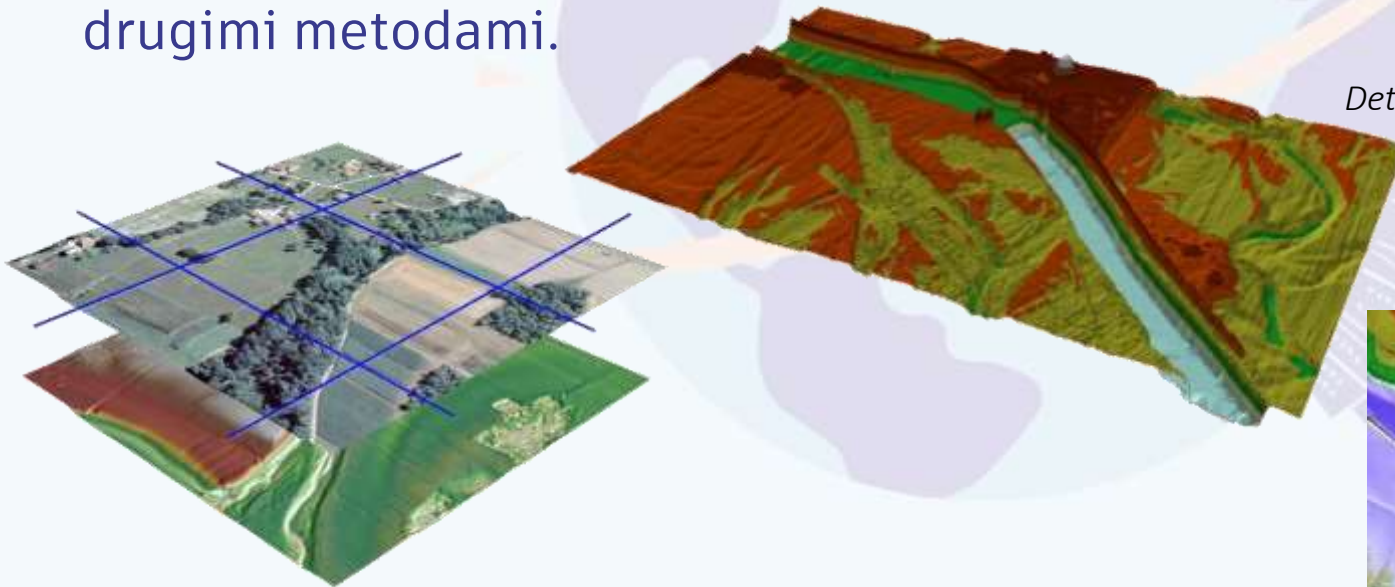
Zakaj nove merilne metode?

- Analize hidravličnih pojavov, kjer je prisoten turbulenten, nestacionaren dvo-fazni tok.
- Meritve pretokov preko prelivnih polj.
- Meritve gladin na hudourniških vodotokih.
- Različni laboratorijskih eksperimenti...

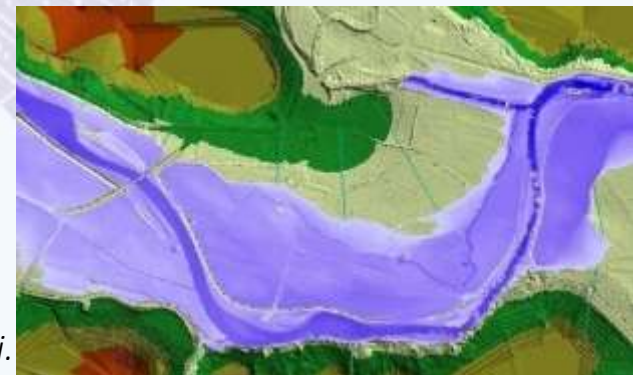


Lidar v hidravličnem inženirstvu

- Lidar vse pogosteje zamenjuje klasične geodetske merilne metode za zajem topografije.
- Omogoča zajem topografije z visoko gostoto točk terena tudi na obsežnejših območjih v kratkem času.
- Vodna telesa (reke, jezera itd.) imajo navadno močan vpliv na delovanje in natančnost podatkov meritev.
- Je zajeto dno, suspendirani delci, gladina, (hidrotehnični) objekt itd.??
- Pri izdelavi DMT za potrebe hidravličnega modeliranja se uporabljajo filtrirani lidar podatki obvodnega prostora in podatki batimetrije zajeti z drugimi metodami.



Detajlna topografija, vendar neprimerno zajeta batimetrija.



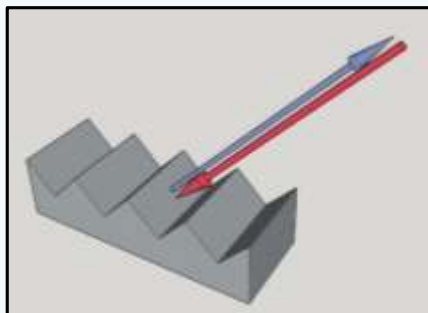
DMT je podlaga za pripravo geometrije hidravličnih modelov.

Kartiranje poplavne nevarnosti.

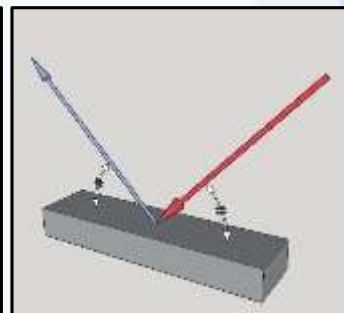
Lidar – posebnosti pri vodnih telesih

- Močan vpliv lastnosti vodnih teles na uspešnost in natančnost meritev.
- Ni odboja oziroma ni jasno, ali je do odboja prišlo na gladini, na delcih v vodnem toku oz. na dnu.
- Zrcalni odboj na gladini čiste vode (kot odboja = vpadnemu kotu žarka).
- Uspešnost meritev na gladini vode pri kotu 0° ali če žarek zadane suspendirane delce, mehurčke, dno itd.
- Popolni ponor energije žarka pri stiku z objektom ali potovanju skozi vodno telo \rightarrow ni povratnega signala.
- Lom svetlobe pri prehodu iz enega v drug medij odstopanja pri izmerjeni dolžini in pri izračunanih vrednostih koordinat.
- Ob poznavanju lastnosti in delovanja laserskega skenerja in pravilni interpretaciji meritev je lasersko skeniranje mogoče uporabljati tudi za zajem profilov vodne gladine.

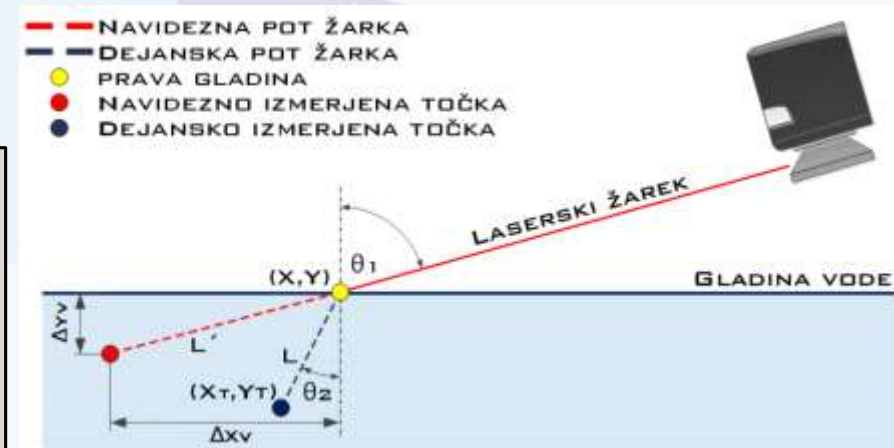
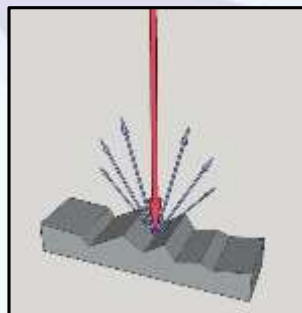
Zrcalni o,dboj ($\alpha = 0^\circ$)



Zrcalni odboj ($\alpha > 0^\circ$)

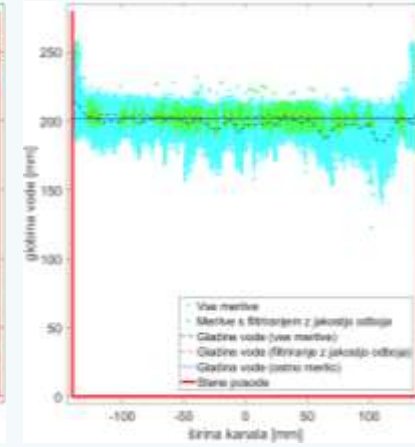
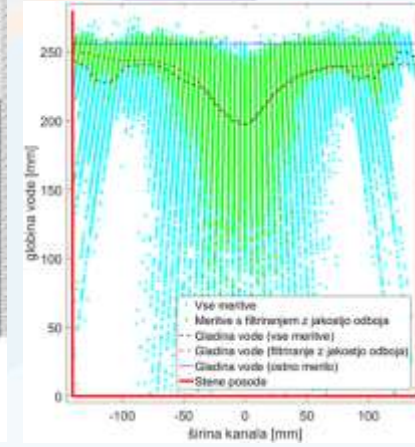
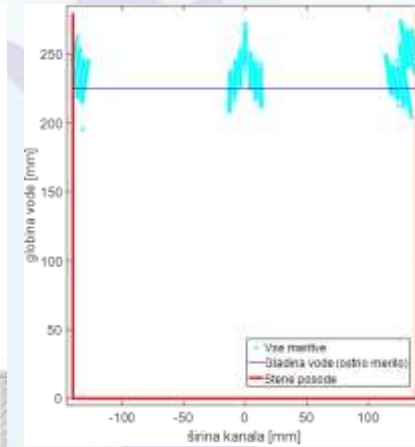
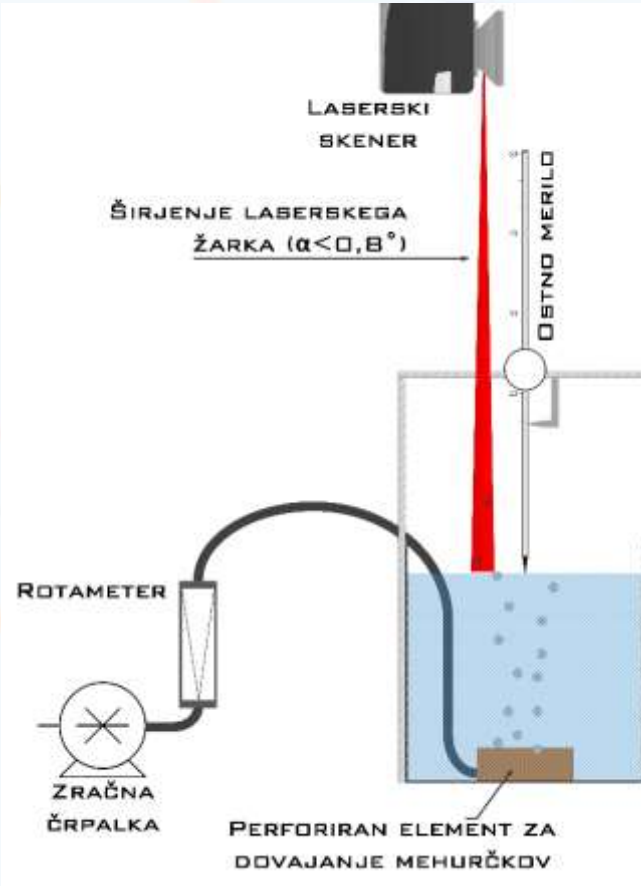


Difuzni odboj



Lidar – posebnosti pri vodnih telesih

- Primernost in uporabnost, nato verifikacija merilne metode.
- Možnost natančnejše določitve referenčnih nivojev vodne gladine.
- Kontrolirano doziranje različnih medijev v vodno telo (izboljšanje odboja).



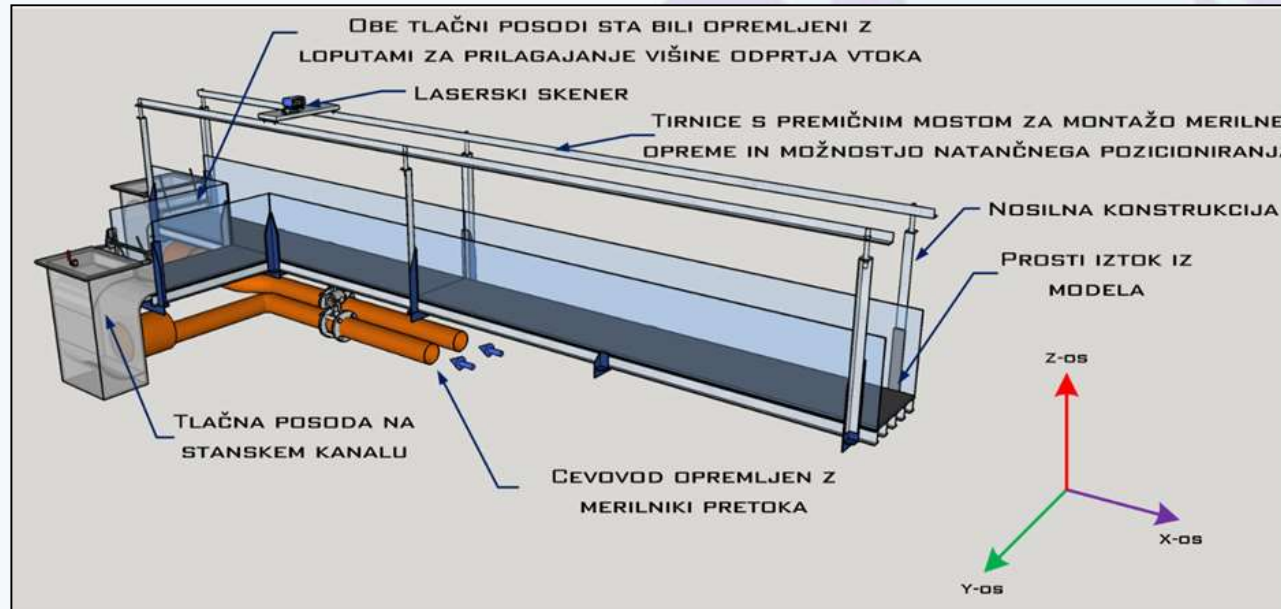
Testiranje z čisto vodo, injiciranimi mehurčki, milnico na gladino, biorazgradljivimi barvili (timolftalein in metiloranž) in plavači

+

lidar naprave z različnimi karakteristikami.

Preizkuševališče T-sotočja pri deročem toku

- Zasnova preizkuševališča po pravilih hidravličnih eksperimentalnih raziskav.
- Preizkuševališče: glavni kanal dolžine 6 m in širine 0,5 m. Stranski kanal enake širine in dolžine 1 m.
- Celotno ostenje kanala izdelano iz steklenih plošč z minimalnim številom stikov.

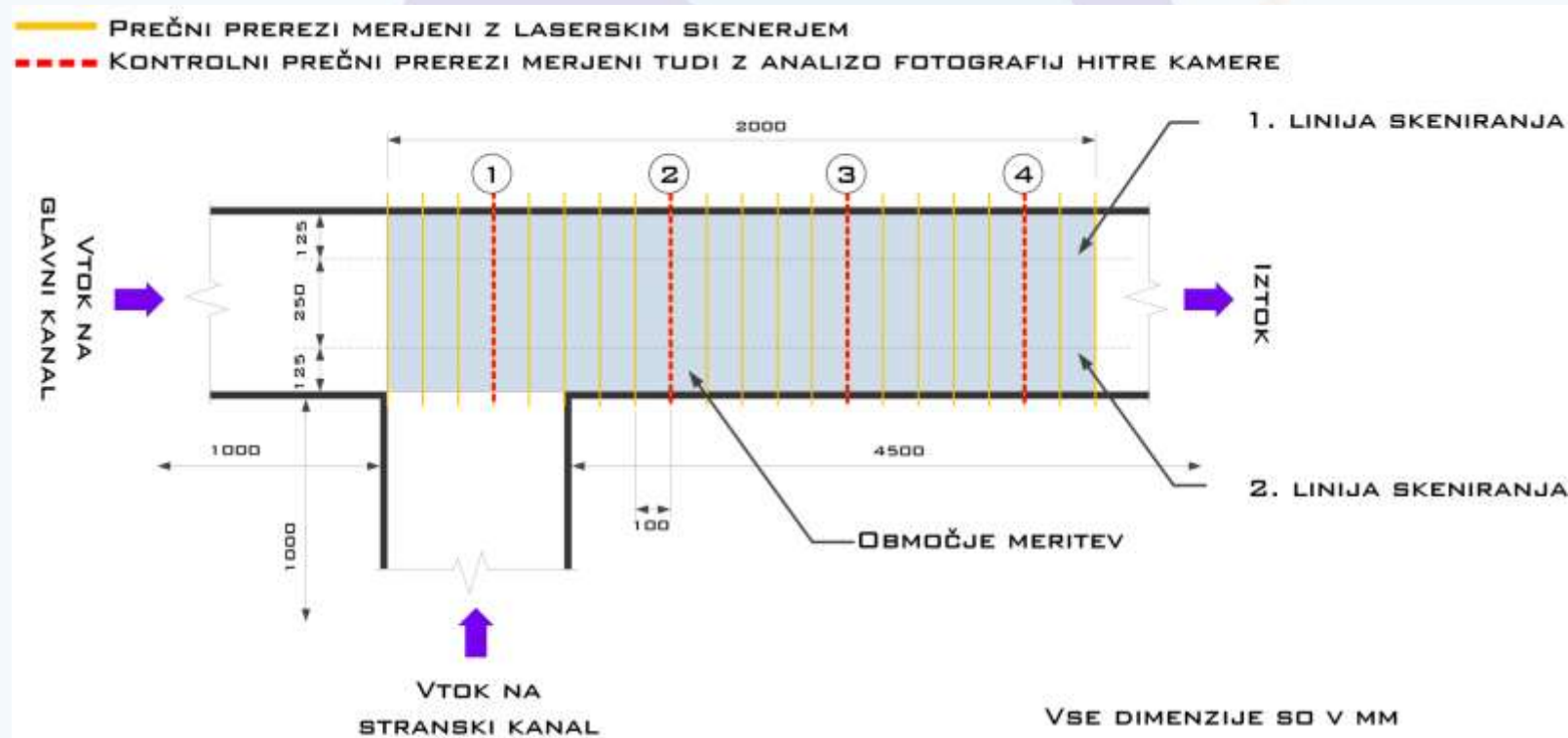


Hitra dinamika vodne gladine $\rightarrow \Delta t = 1 \text{ ms}$



Preizkuševališče T-sotočja pri deročem toku

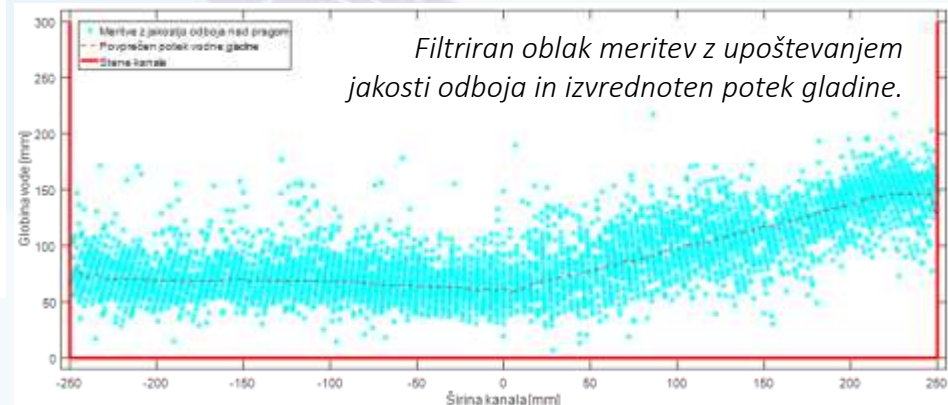
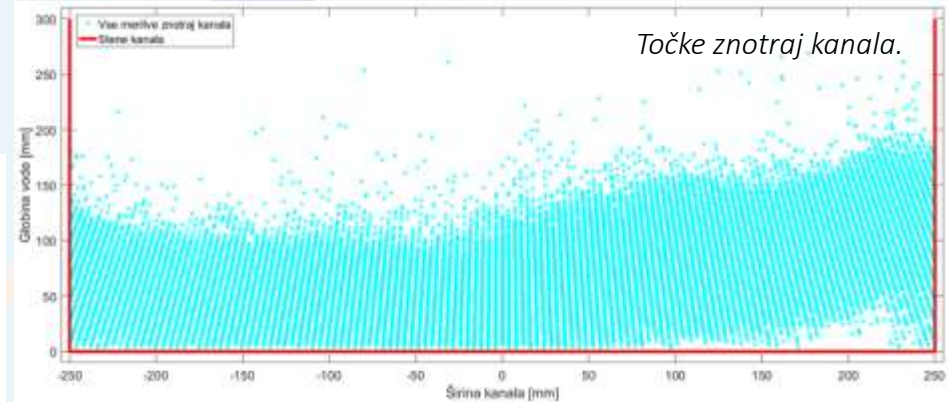
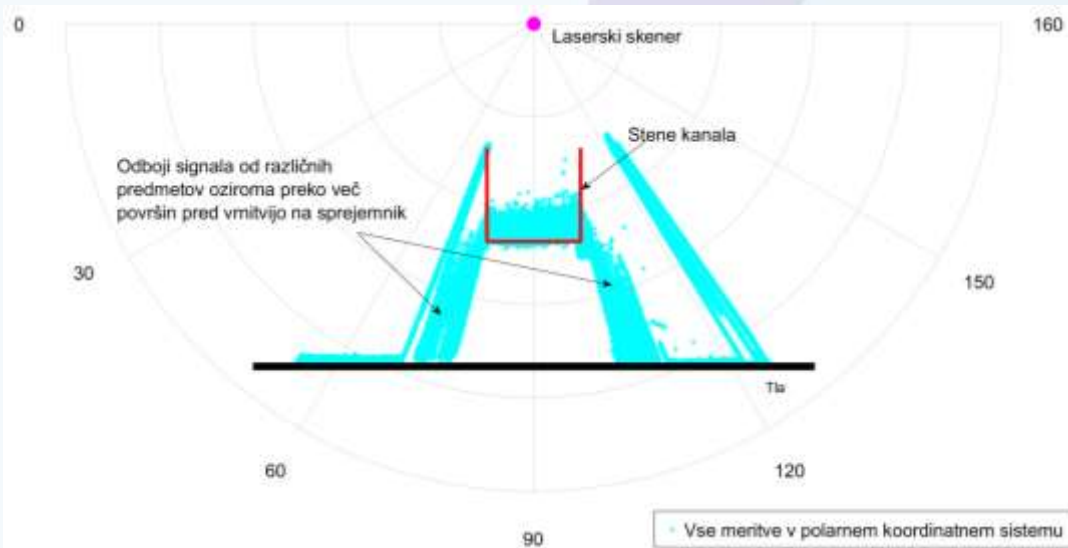
- Zajem topografije izveden v prečnih prerezih ($\Delta L = 100$ mm).
- Snemanje v dveh vzporednih linijah - izboljšanje kakovosti meritev ob stenah in na mestih velikih sprememb topografije.
- Območje meritev na odseku dolžine 2 metra (z začetkom na pričetku sotočja).
- Topografija vodne gladine posameznega scenarija zajeta s skeniranjem dinamike gladine v 42 točkah.



Obdelava oblak točk laserskega skeniranja

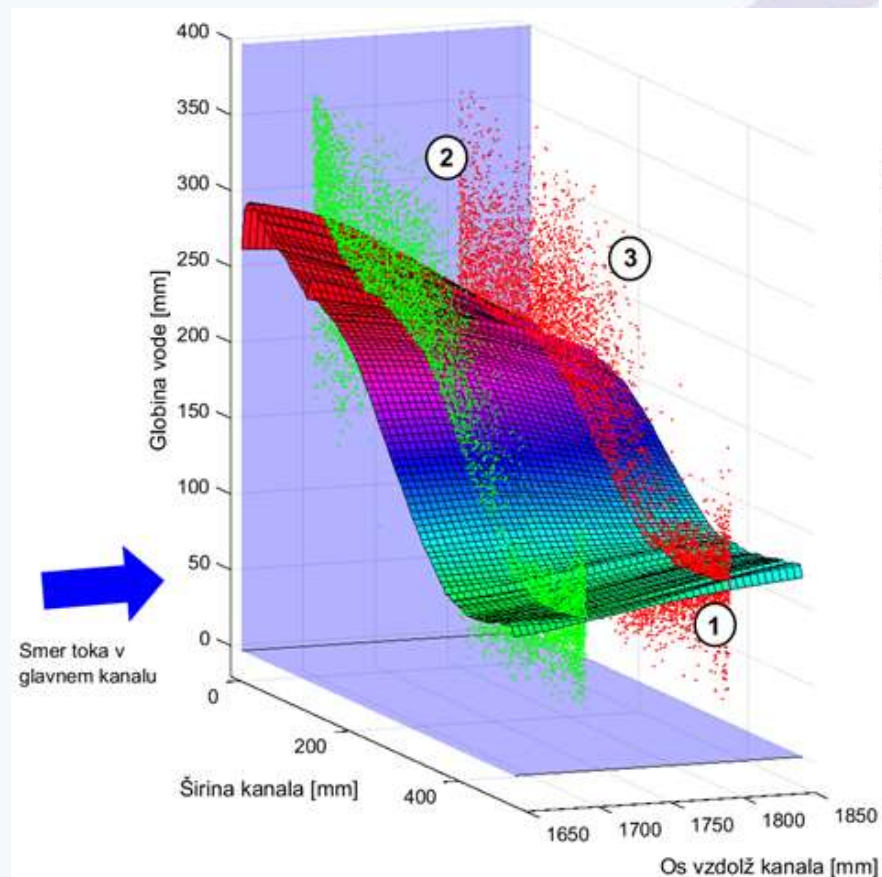
- Surovi podatki laserskega skeniranja v obliki 2D-oblaka točk v polarnem koordinatnem sistemu.
- Celotni oblak točk za skupno 6000 skenov v izbranem prerezu.
- V celotnem oblaku točk posameznega profila skupno 2.100.000 točk (nastavitve: frekvenca skeniranja, kotni razpon meritev in kotna ločljivost).
- Filtriranje meritev glede na intenziteto odboja (izločanje meritev na kapljicah v zraku ali mehurčkih, globlje potopljenih v vodnem telesu).

Surov oblak točk.

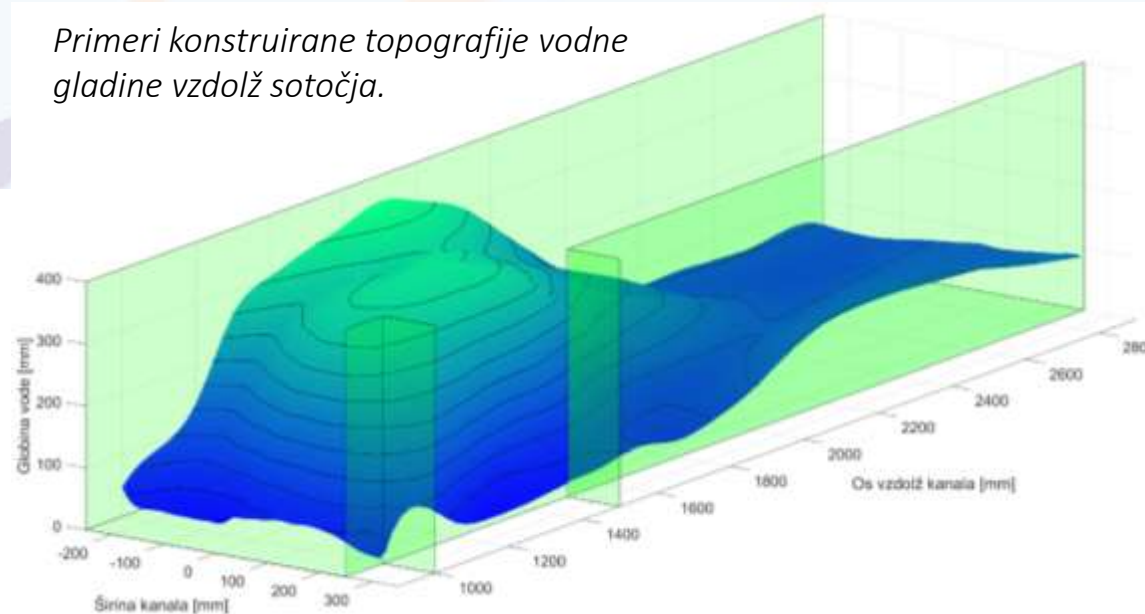


Izdelava 3D površine vodne gladine iz meritev gladine z laserskim skenerjem

Oblaka točk dveh prečnih prerezov in odsek površine vodne gladine stoječega vala.

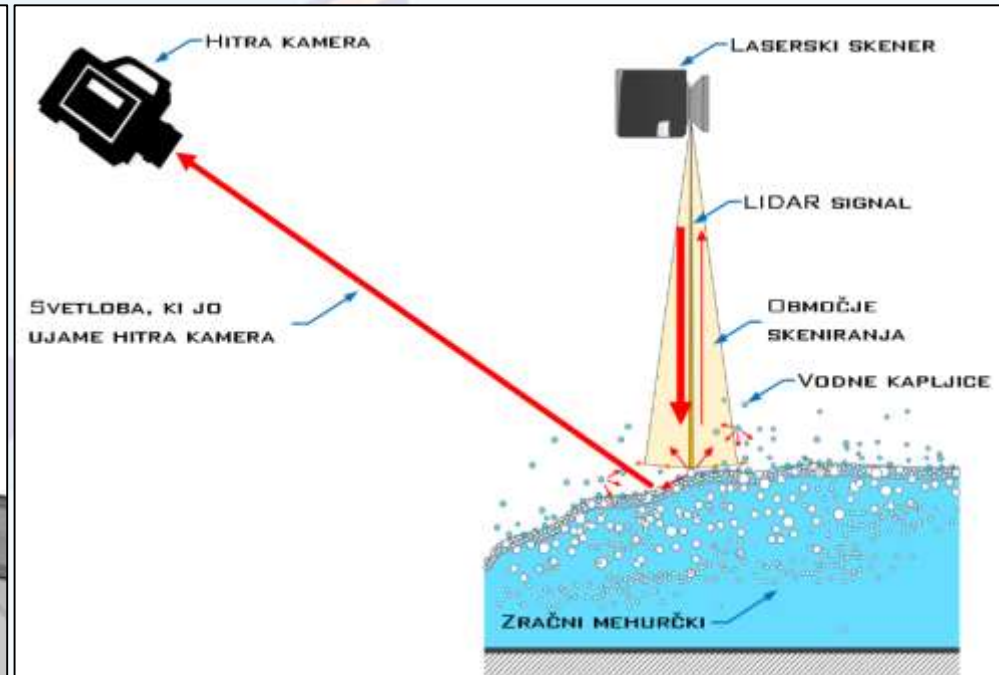
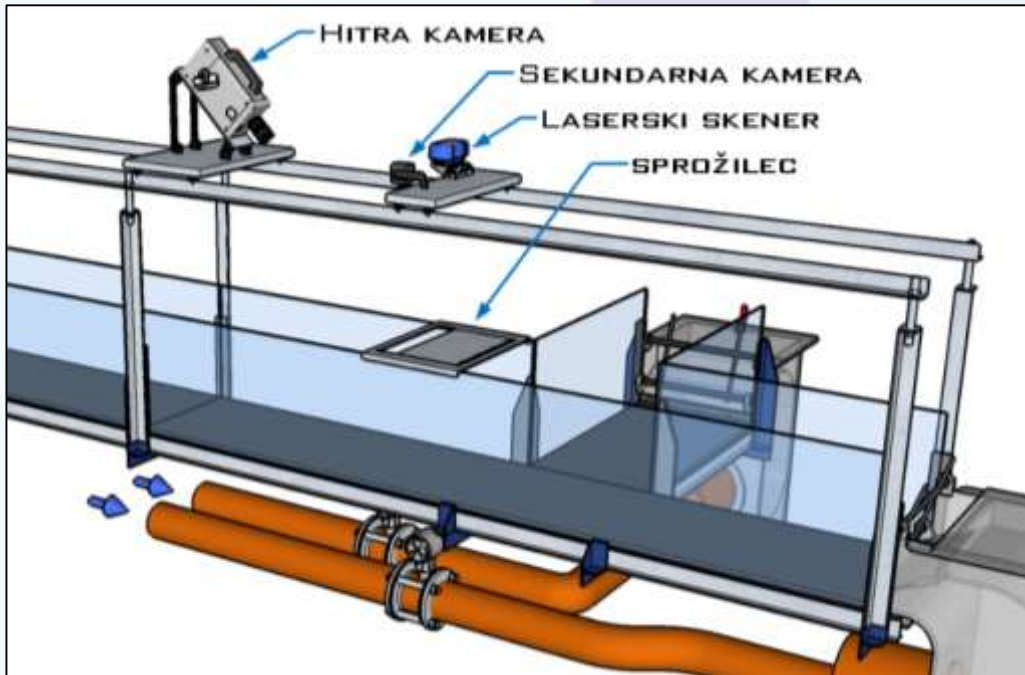


Primeri konstruirane topografije vodne gladine vzdolž sotočja.



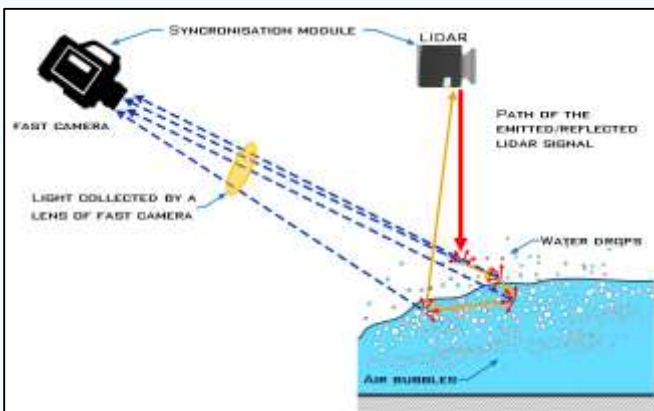
Verifikacija merilne metode

- Analiza odboja posameznega signala laserskega skenerja.
- Lidar meritve: 94500 meritev na sekundo (270 prerezov na sek. x 70 stopinjsko okno x 5 meritev na stopinjo - 0.2°).
- Hitra kamera delovala na principu triangulacije in sprejemom samo svetlobe laserskega skenerja.
- Zajem pojava s hitro kamero (Photron SA – Zs) s hitrostjo 100000 posnetkov/s z ločljivostjo 640 x 280 slikovnih točk.
- Sekundarna hitra kamera (Fastec Hispec 4) orientirana pravokotno na vodno gladino za vizualno oceno tokovnih razmer.



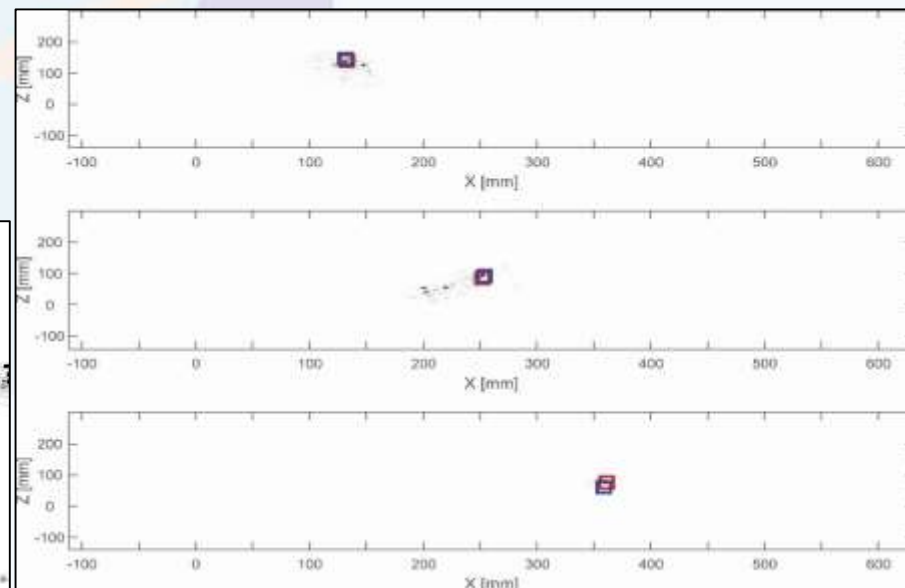
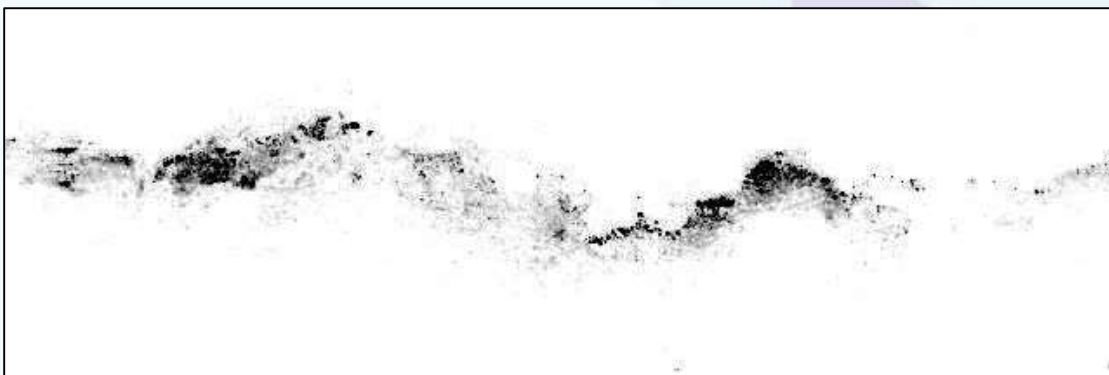
Verifikacija merilne metode

Odboji posameznega signala lidar naprave.



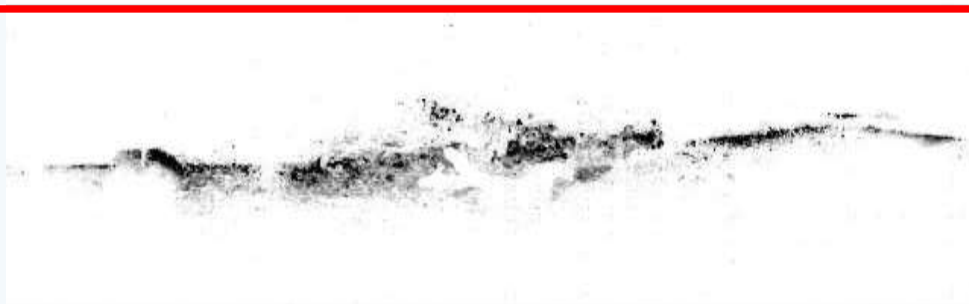
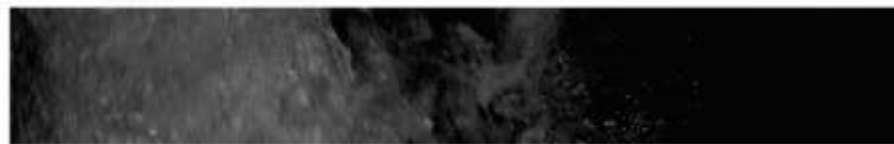
Kota gladine določena z lidar meritvijo in obdelavo slik hitre kamere.

Odboji preko celotnega prereza za en sken lidar naprave (350 meritev).



Verifikacija merilne metode

- Odboji preko celotnega prereza za en sken lidar naprave in prikaz tokovnih razmer na merjenem odseku.

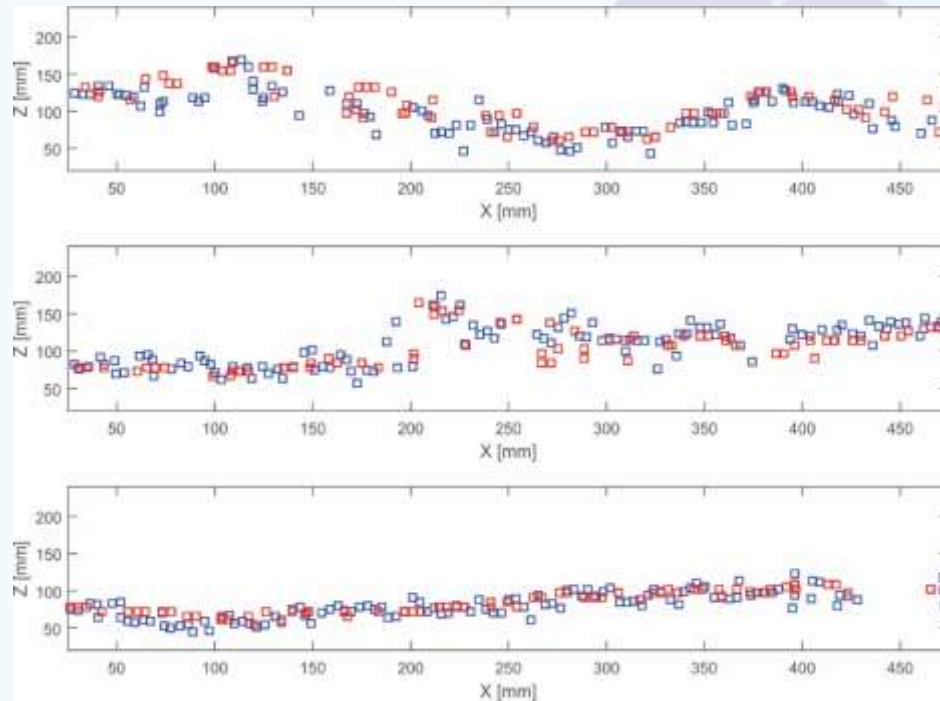


Verifikacija merilne metode

- Analiza odboja posameznega signala laserskega skenerja.

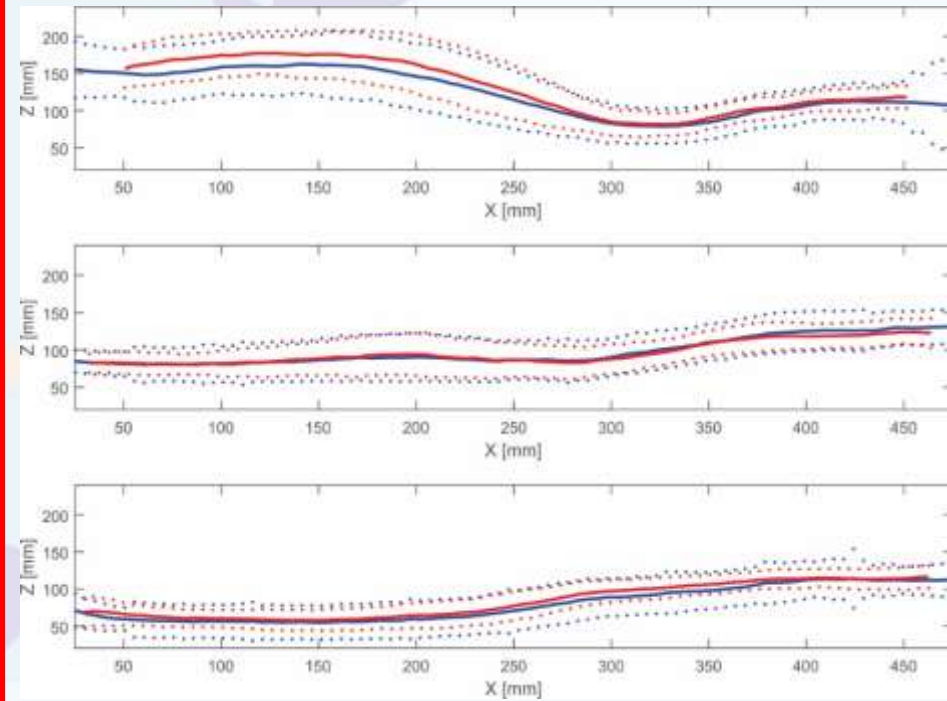
Kote gladine določene z lidar meritvijo in obdelavo slik hitre kamere

modra → lidar meritve
rdeča → slikovna triangulacija

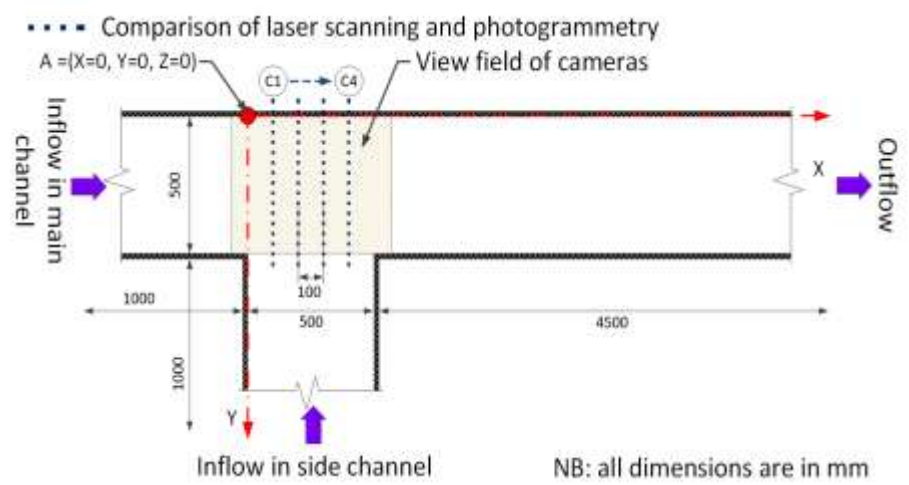
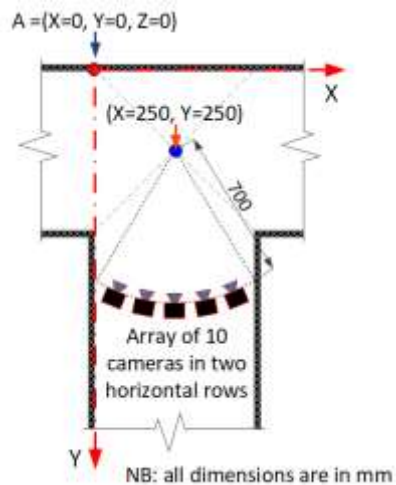
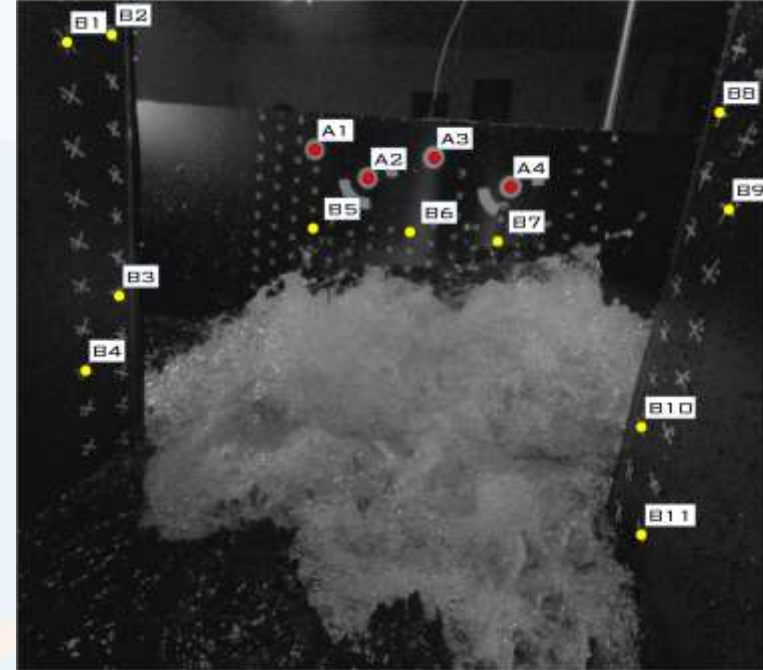


Potek gladine preko celotnega kanala

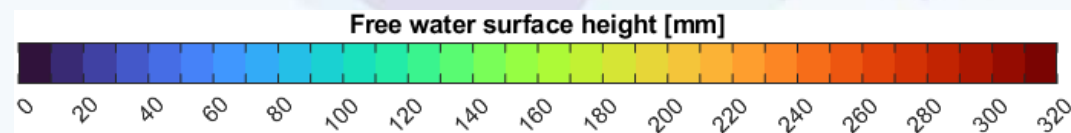
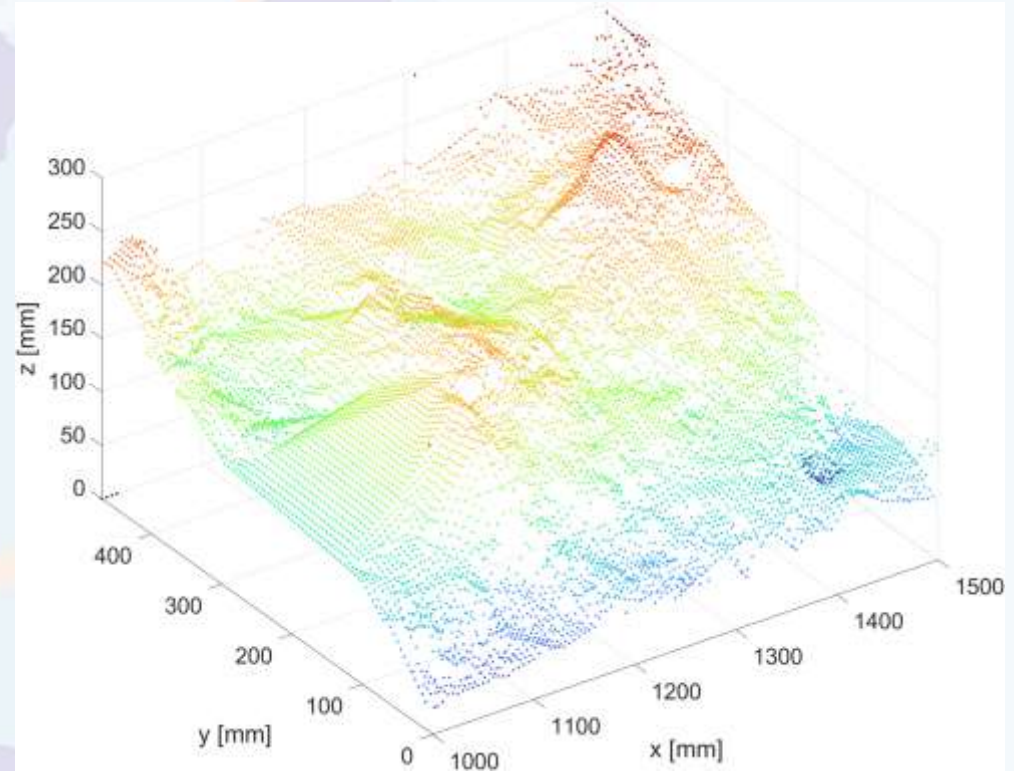
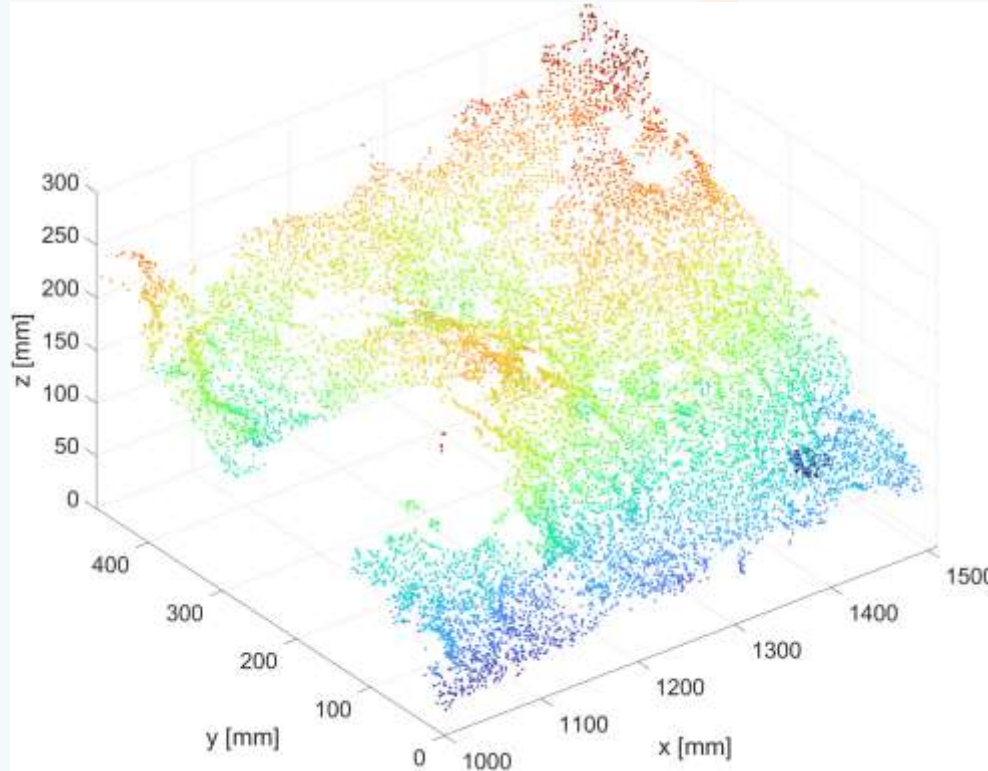
modra → lidar meritve
rdeča → slikovna triangulacija



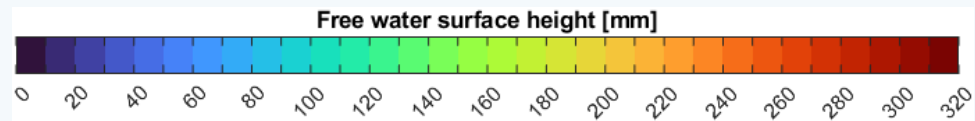
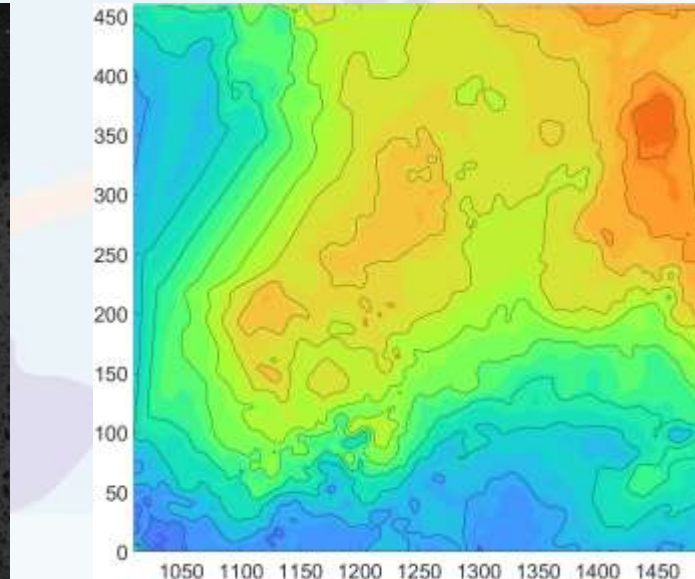
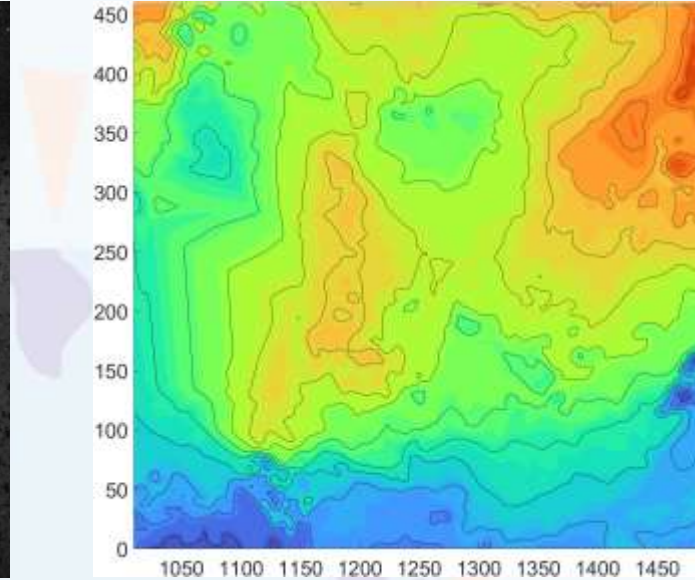
Zajem topografije vodne gladine s fotogrametrijo



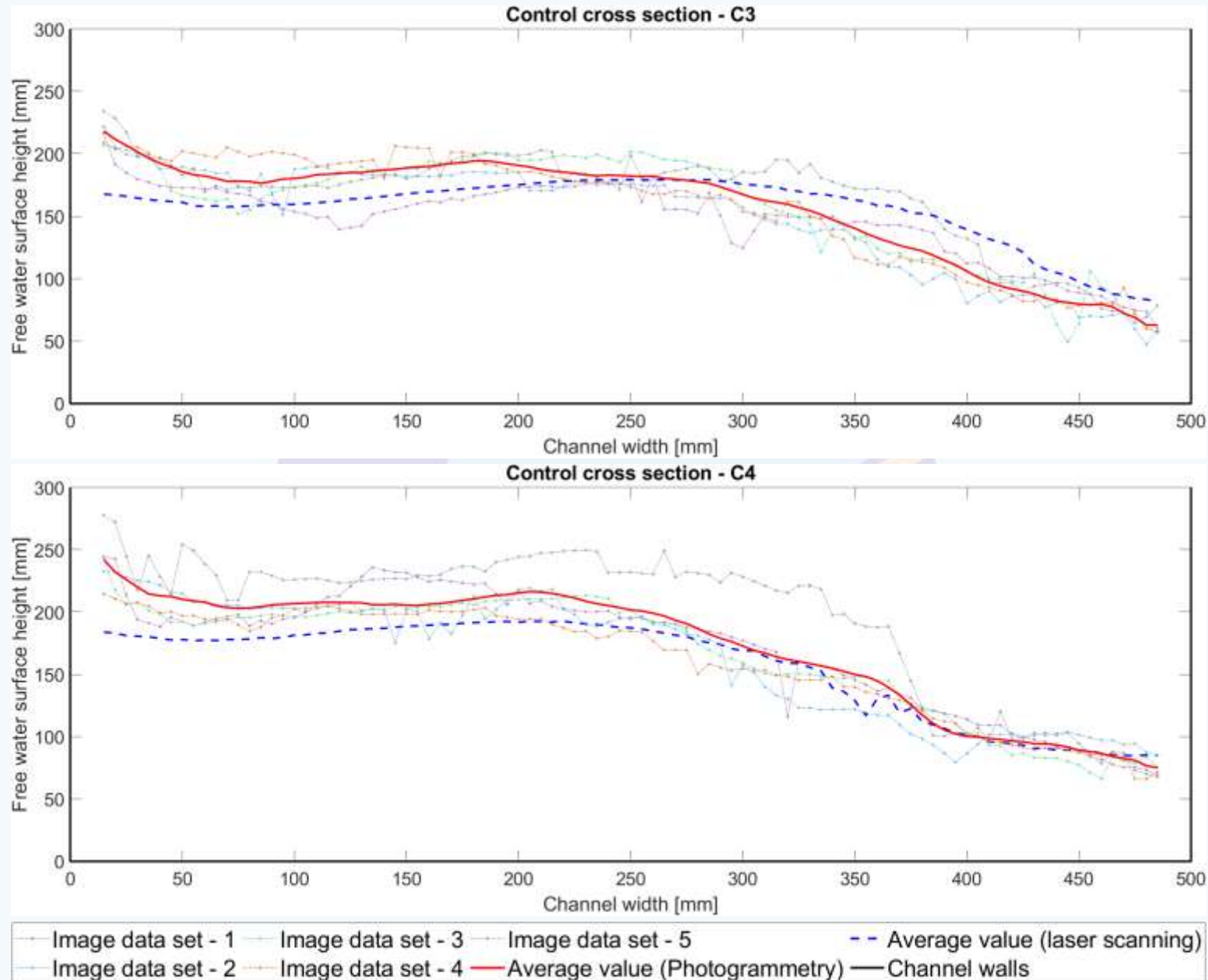
Zajem topografije vodne gladine s fotogrametrijo



Topografija gladine v celotnem vidnem polju



Primerjava meritev lidar in fotogrametrije



Zaključki

- Podane so možnosti uporabe lidar in fotogrametrije pri meritvah gladine čiste vode.
- Obe merilni metoda omogočata natančen zajem vodne gladine tudi v primerih, kjer druge kontaktne in brezkontaktne merilne metode ne dajejo zadovoljivih rezultatov (močno nehomogenem in nestacionaren tok).
- Uspešen zajem topografije vodne gladine kompleksnih primerov s turbulentnim tokom in močno vertikalno ter horizontalno dinamiko, in sicer z veliko časovno in krajevno ločljivostjo.
- Obdelava surovega oblaka točk obeh metod omogoča analizo in ovrednotenje fluktuacije vodne gladine.
- Lidar: robustnost merilne metode z razmeroma enostavno obdelavo podatkov.
- Fotogrametrija: razmeroma zahtevna izvedba in obdelava meritev, hkrati pa zajamemo topografijo vodne gladine v celotnem vidnem polju. Časovna ločljivost je pogojena z lastnostmi merilnega sistema.



HVALA ZA POZORNOST!
SLEDIJO

VPRAŠANJA/QUESTIONS

