



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



WINTER SCHOOL (on-line)

UNIVERSITY OF RIJEKA FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

TEACHING MATERIALS

2nd PART – 2nd WEEK

Project title: Winter school

Acronym: SWARM

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

Work package	Title
6	Dissemination & exploitation
Activity	Title
6.5	Winter/summer schools

Dates	15.11.2021. – 26.11.2021.
City	Rijeka
Meeting venue	University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering (UNIRIFCE) – ONLINE (MS Teams)
Address	Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Croatia



swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



OBALNO INŽENJERSTVO: UVOD

Nino Krvavica

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Nis



www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP



OBALNO INŽENJERSTVO: UVOD

Project title: Winter school

Acronym: SWARM

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

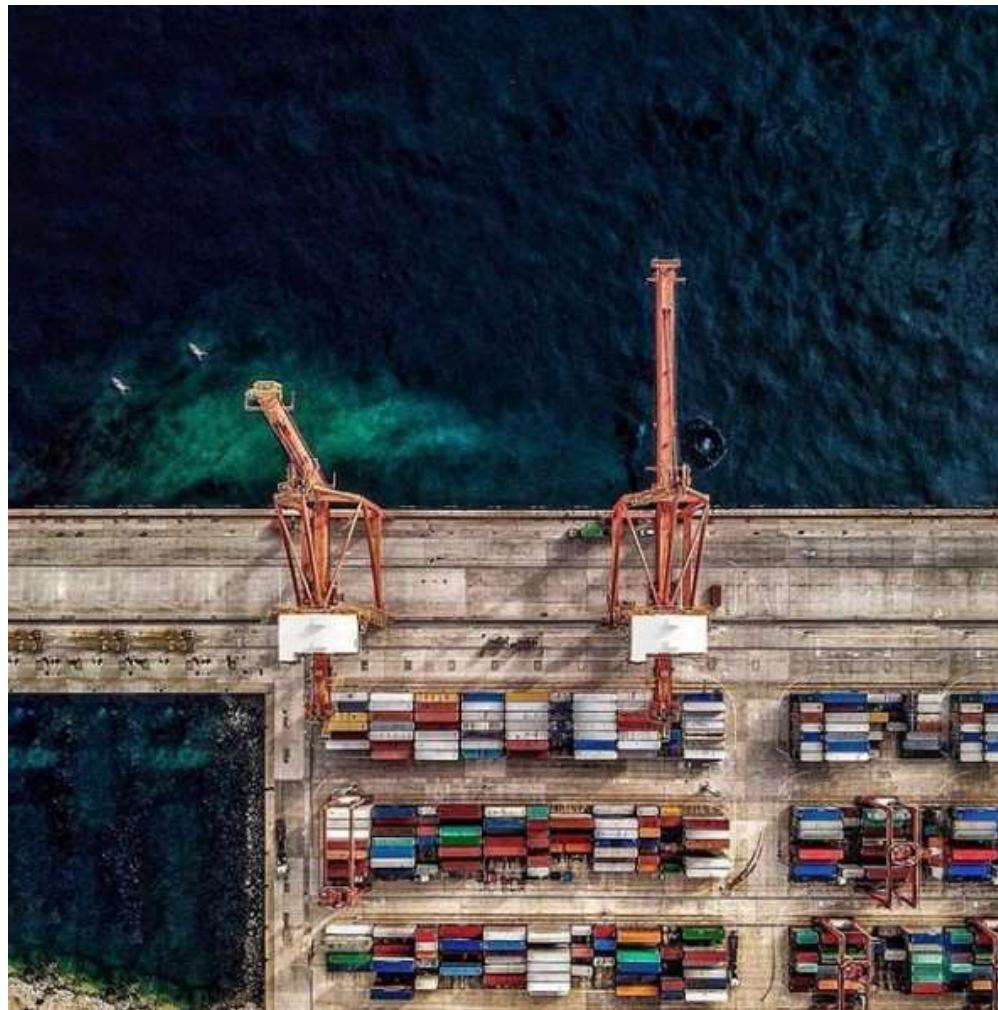
Work package	Title
6	Dissemination & exploitation
Activity	Title
6.5	Winter/summer schools

Dates	15.11.2021. – 26.11.2021.
City	Rijeka
Meeting venue	University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering (UNIRIFCE) – ONLINE (MS Teams)
Address	Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Croatia

Uvod u obalno inženjerstvo



Teretne luke



Trajektna pristaništa



Komunalne luke



(Marecon d.o.o.)

Marine

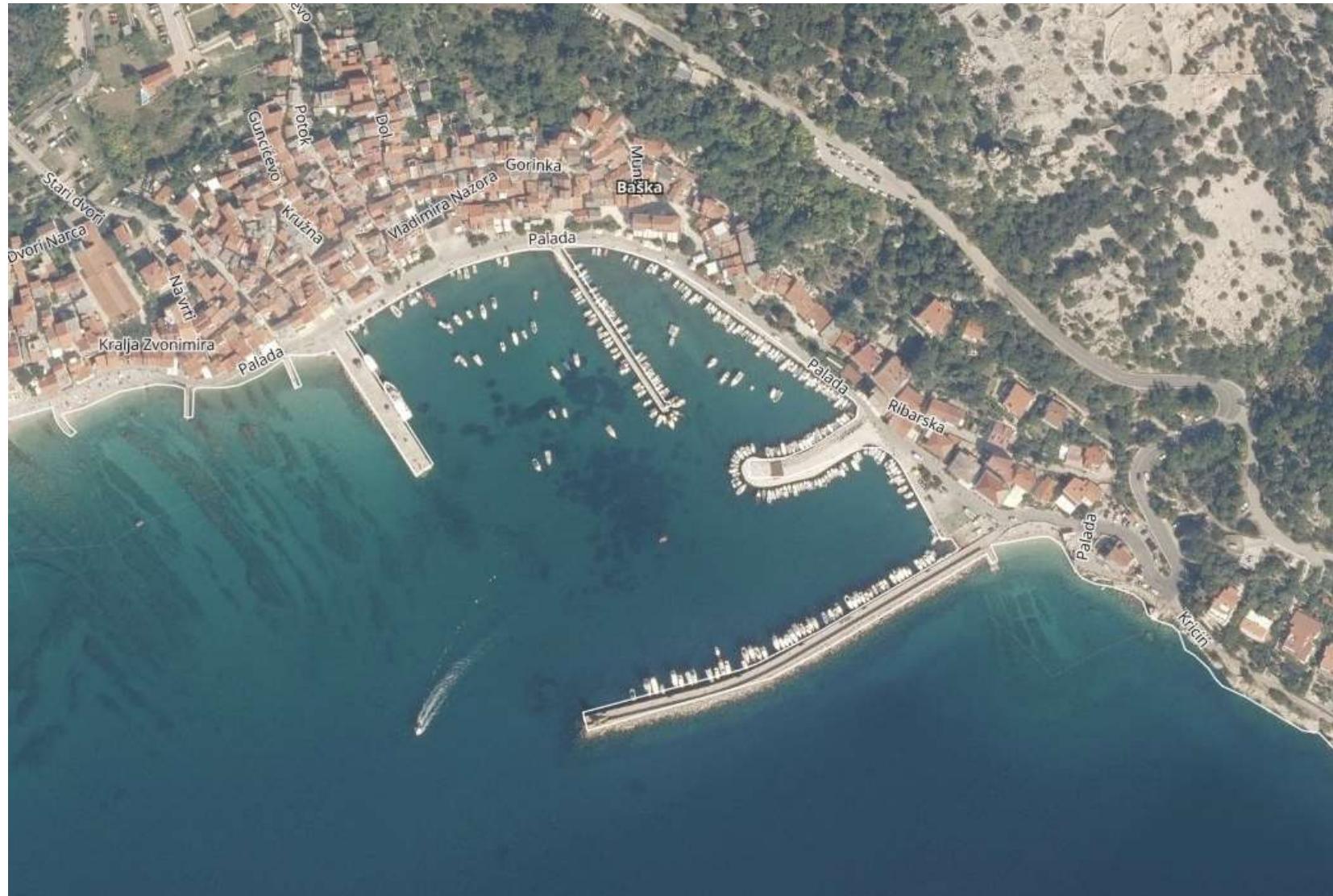


Arhitektura: Kostrenić i Krebel arhitekti d.o.o. Zagreb

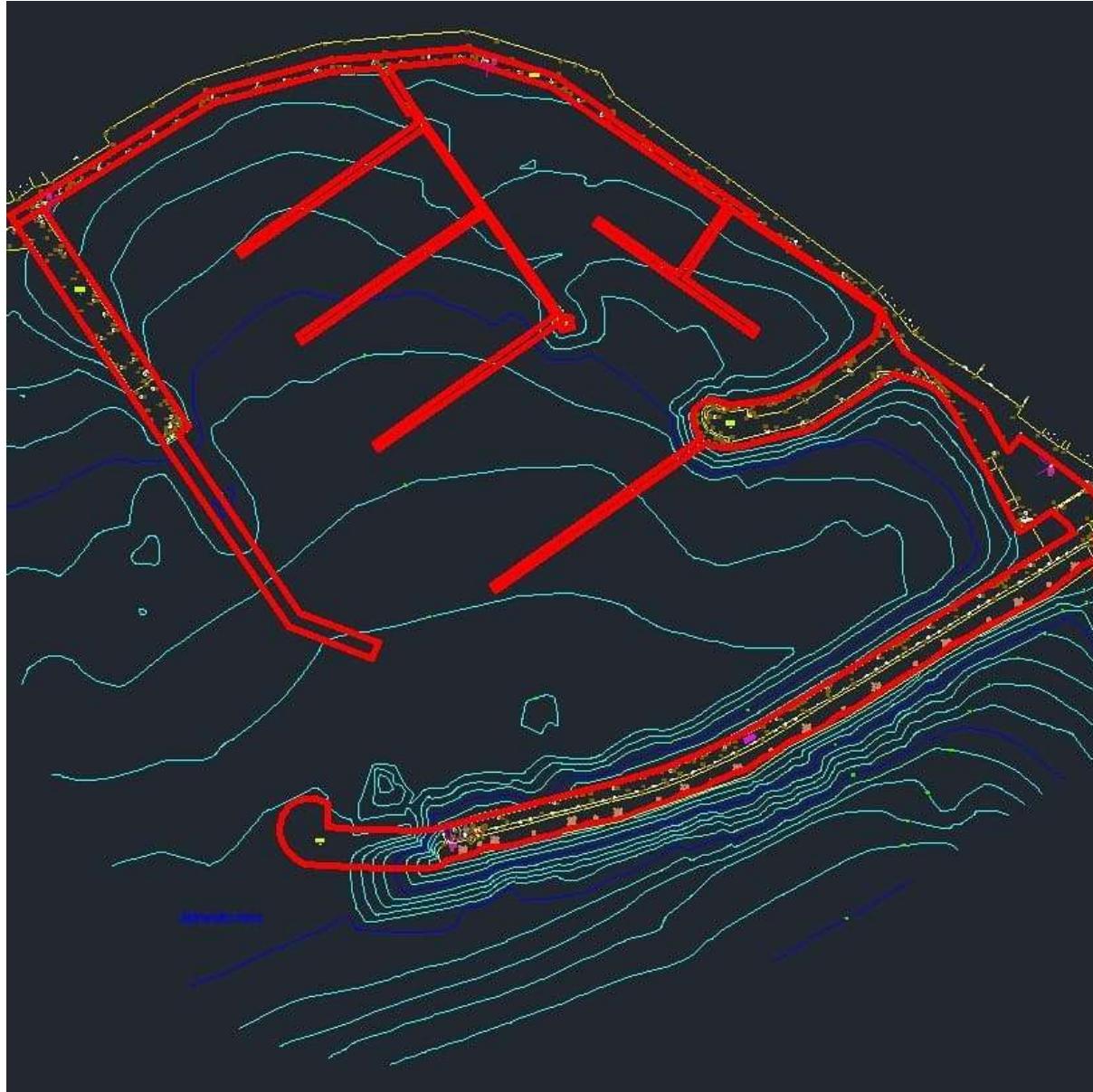
Plaže



Put vodi od postojećeg stanja...

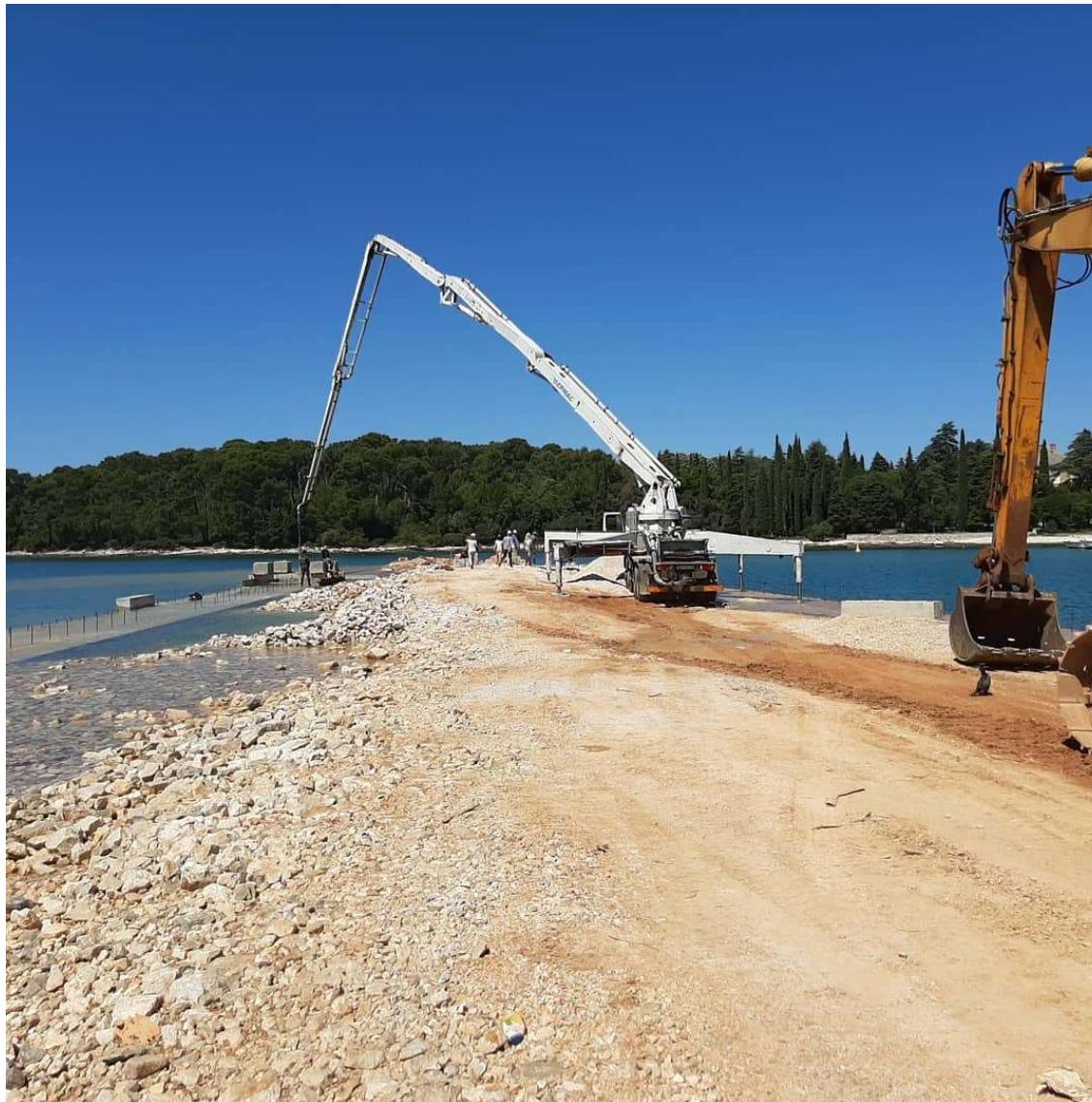


...preko projektne dokumentacije...



(Marecon d.o.o.)

...i izvođenja...



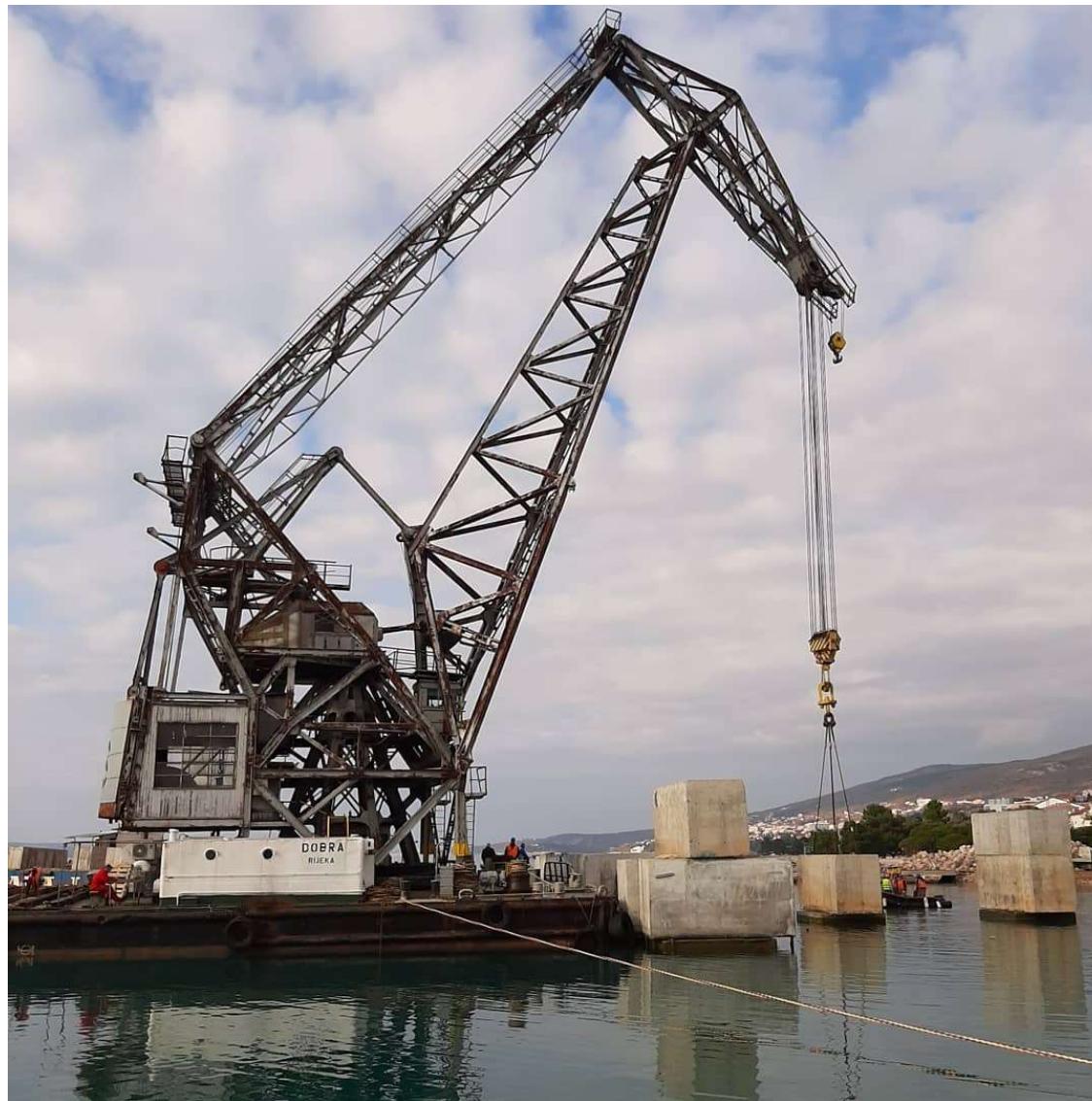
(Marecon d.o.o.)

...vrlo često u „mokrim” uvjetima...



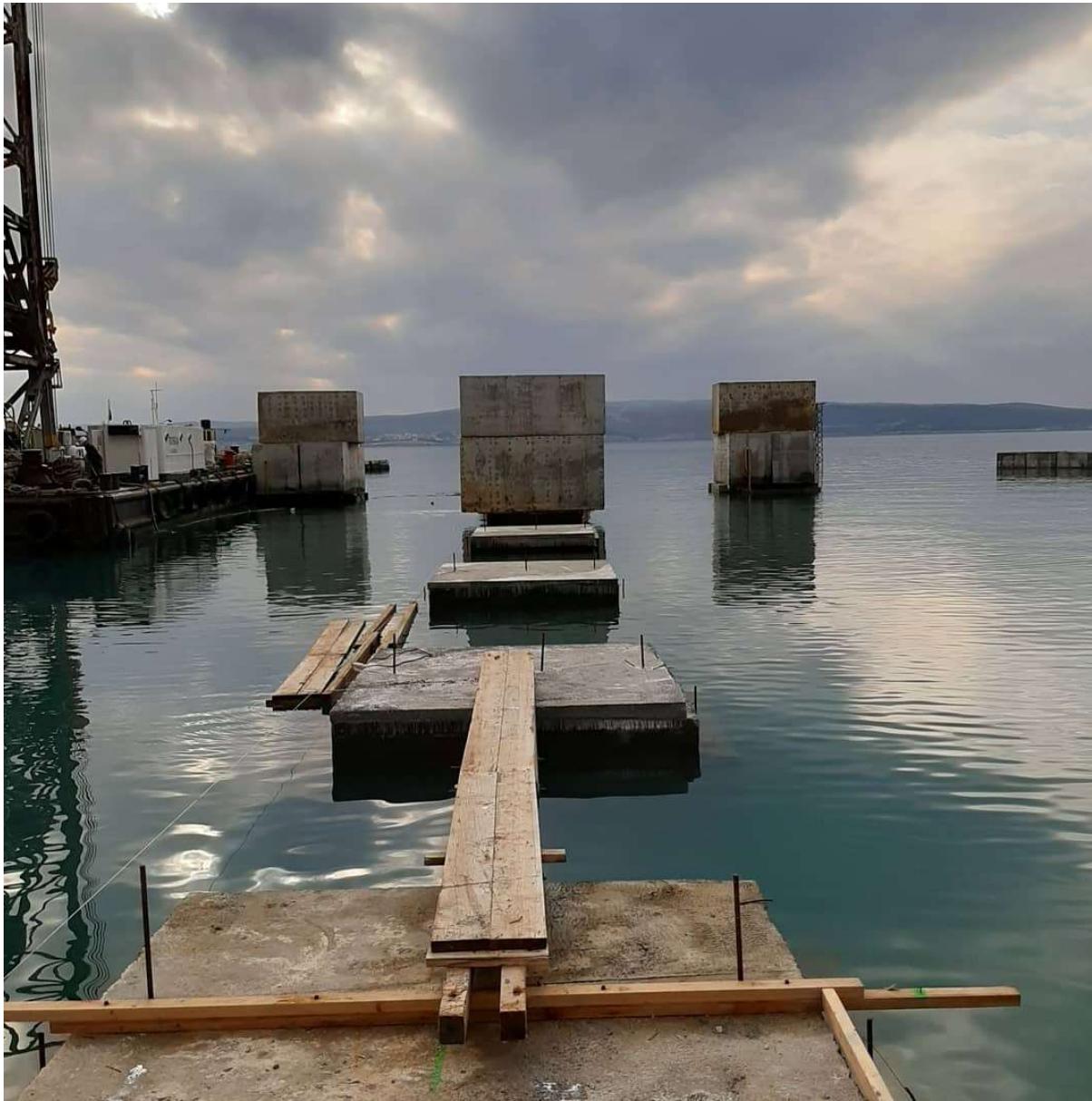
(Marecon d.o.o.)

...ugradnje pojedinih elemenata...



(Marecon d.o.o.)

...opterećenja i slijeganja...



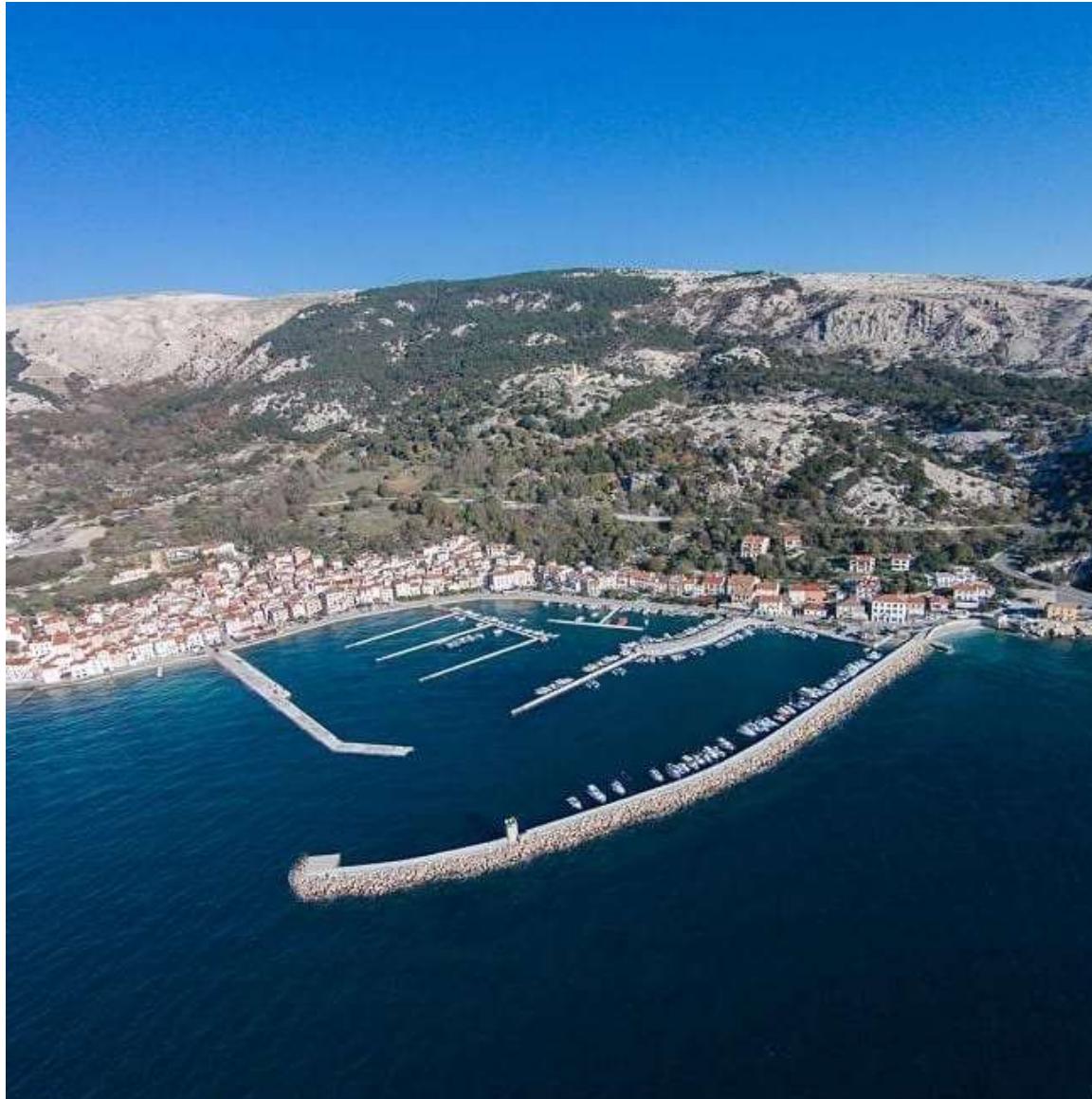
(Marecon d.o.o.)

...i instalacija...



(Marecon d.o.o.)

... do izgrađene luke!



(Marecon d.o.o.)

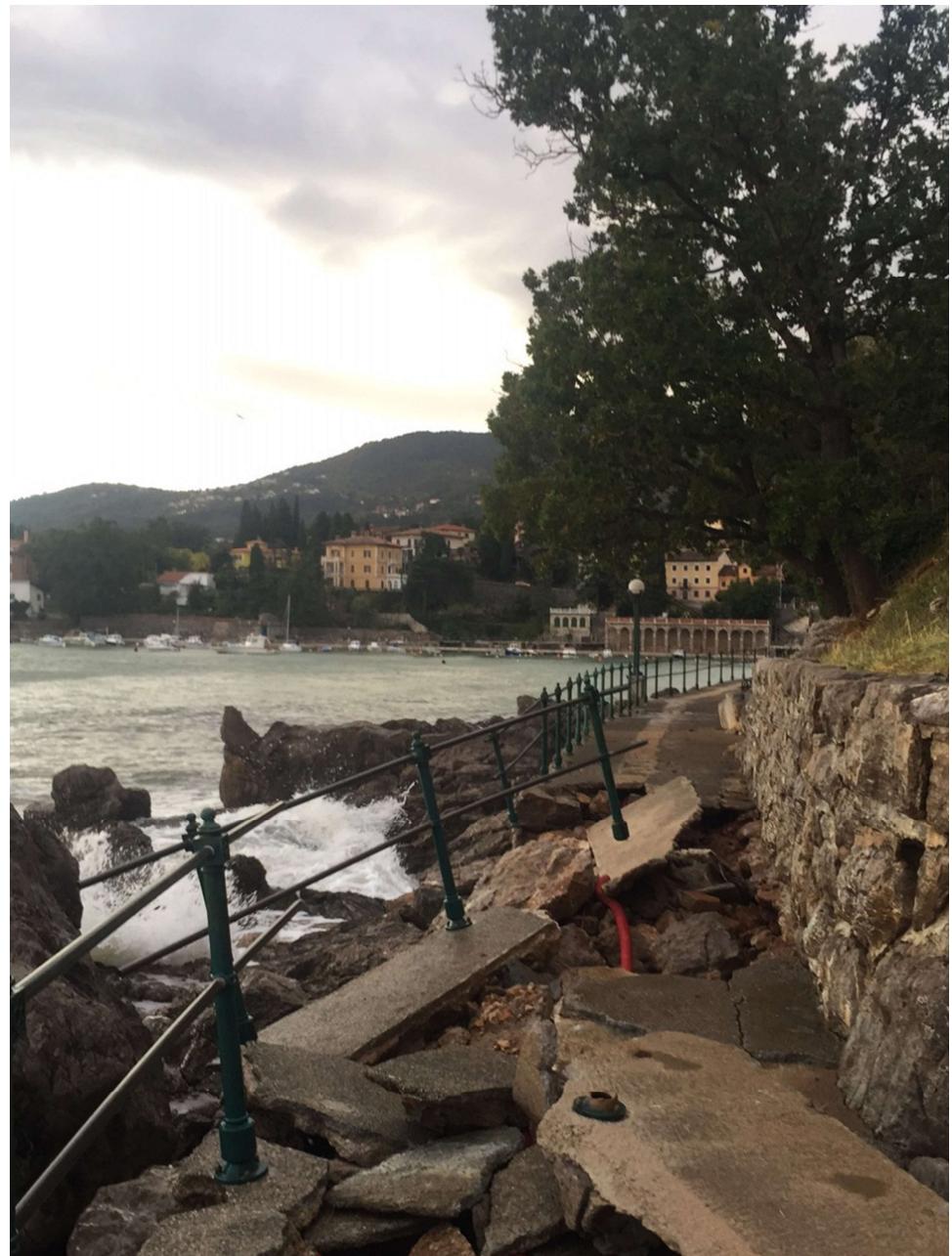
Međutim, treba znati da i u naizgled idiličnim mjestima uz more...



...izgrađeni objekti mogu biti izloženi izrazito snažnim prirodnim utjecajima!



A pritom treba izbjjeći...



i pružiti zaštitu od ...





swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



OBALNO INŽENJERSTVO: OBALNE GRAĐEVINE - Iukobrani

Nino Krvavica

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Nis



www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

OBALNO INŽENJERSTVO: OBALNE GRAĐEVINE - Iukobrani

Project title: Winter school

Acronym: SWARM

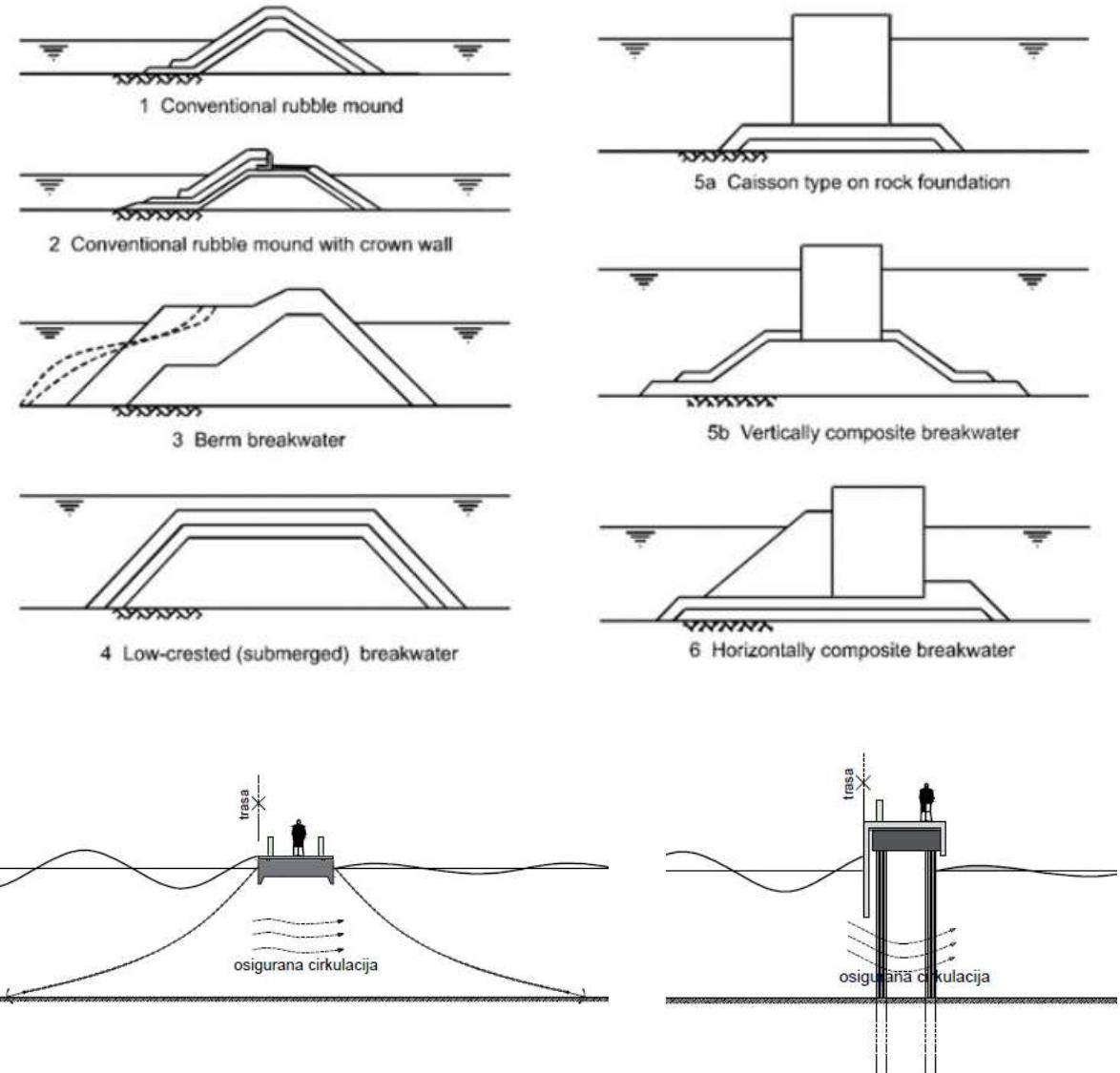
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

Work package	Title
6	Dissemination & exploitation
Activity	Title
6.5	Winter/summer schools

Dates	15.11.2021. – 26.11.2021.
City	Rijeka
Meeting venue	University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering (UNIRIFCE) – ONLINE (MS Teams)
Address	Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Croatia

Tipovi lukobrana

- Nasuti lukobrani
- Vertikalni lukobrani
- Kombinirani lukobrani
- Potopljeni lukobrani
- Plutajući lukobrani
- Raščlanjeni lukobrani

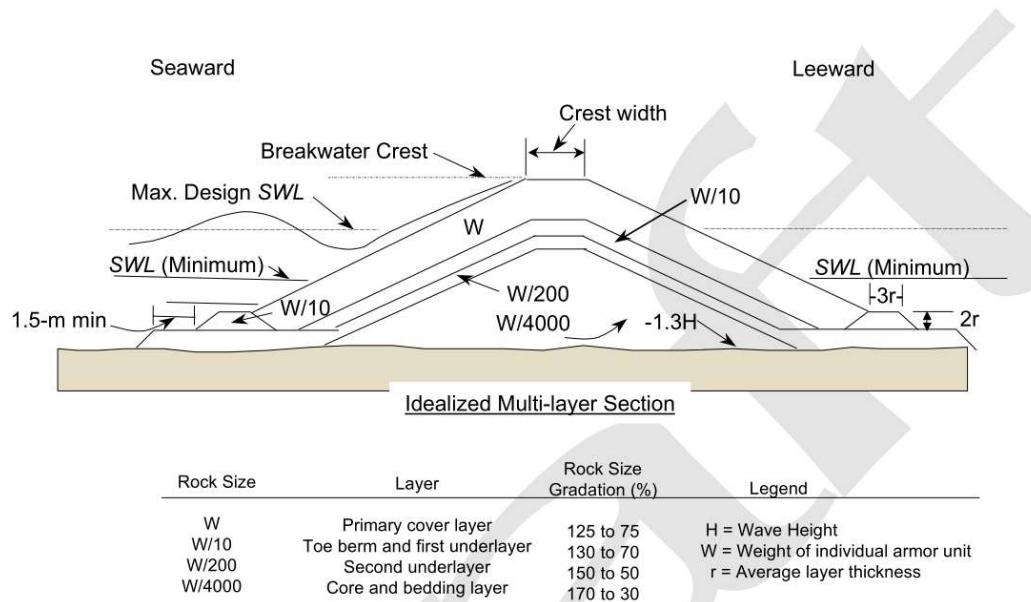


NASUTI LUKOBRANI



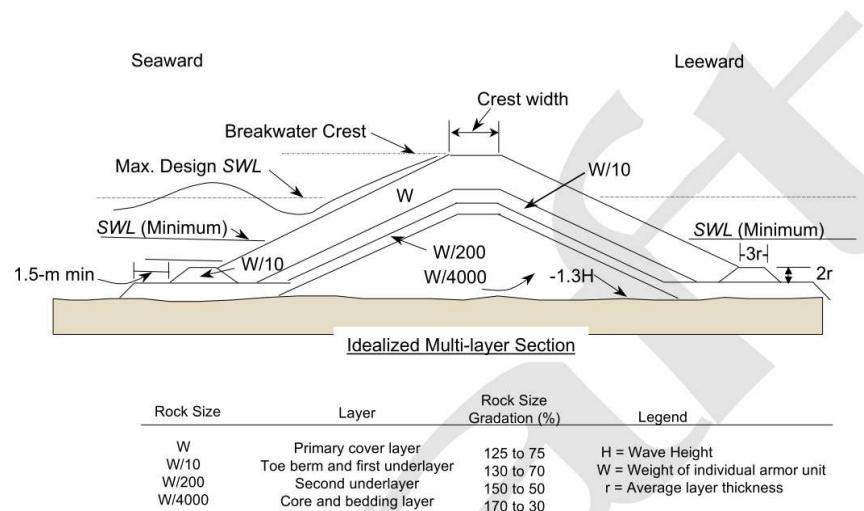
Nasuti lukobrani

- Najčešći tip lukobrana
- Sastoji se od slojeva nasutog materijala
- Klasični nasuti lukobrani trapeznog su oblika, a sastoje se od jezgre izvedene od sitnijeg kamenog materijala te više slojeva postepeno sve krupnijeg materijala



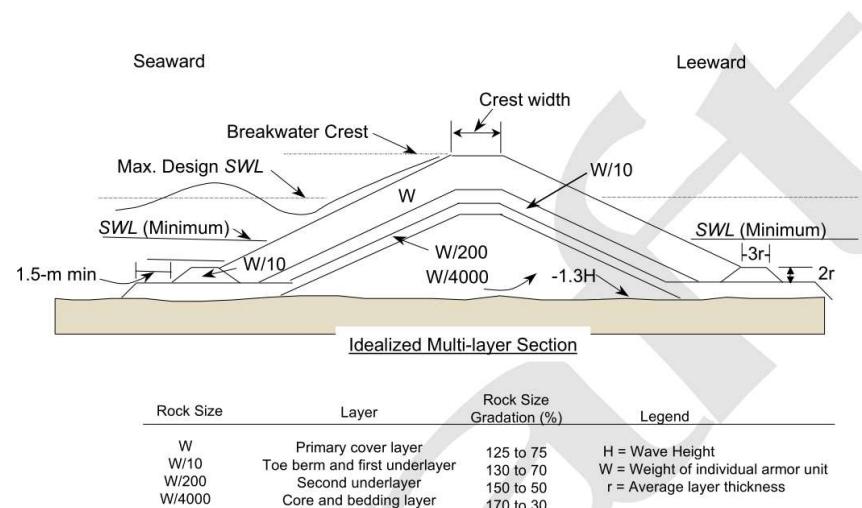
Prednosti izgradnje nasutih lukobrana

- Upotreba prirodnog materijala
- Niža cijena materijala
- Jednostavnija izvedba – manje složena mehanizacija
- Manje nepovoljan utjecaj na okoliš
- Jeftino i jednostavno popravljanje oštećenja
- Umjesto ekstremno velikih kamenih blokova mogu se koristiti predgotovljeni betonski elementi



Mane izgradnje nasutih lukobrana

- Relativno velika količina materijala
- Potrebno je redovno održavanje lukobrana
- Nemogućnost pristajanja plovila uz bok lukobrana
- Nije isplativ na velikim dubinama (>30 m)
- Nije prikladan za situacije kada je prostor unutar luke problem



Oštrobridni kamen – slučajno posložen



Oštrobridni kamen – specijalno posložen



Tetrapodi



Dolosi



Dolosi



Betonske kocke (eng. cube)



Betonske „antifer“ kocke



Akropodi



Cubipods



X-blokovi



VERTIKALNI LUKOBRANI



Vertikalni lukobrani

Vertikalni lukobrani se izvode kao betonski zidovi na morskome dnu ili podmorskom nasipu s ciljem zaštite luke od djelovanja valova

Prednosti:

- Ekonomičan s obzirom na materijal
- Brzo se gradi
- Zauzima malo prostora
- Omogućava pristajanje plovila

Mane:

- Znatna refleksija valova
- Velike sile od valova
- Nefleksibilan u slučaju slijeganja
- Zahtijeva tešku i skupu građevinsku mehanizaciju
- Mogu rezultirati velikim oštećenjima u slučaju premašenja projektnih pretpostavku (iznosa valnih opterećenja)



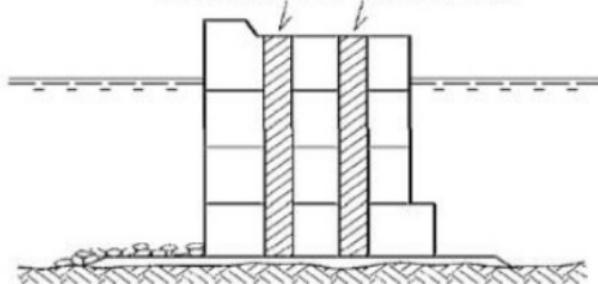
Vertikalni lukobrani od betonskih blokova

Grade se od monolitnih betonskih blokova koji se mogu, ali i ne moraju povezivati s armirano-betonskim serklažima

Mogu se izvoditi samo na vrlo dobroj/čvrstoj temeljnoj podlozi zbog velikih naprezanja ispod temelja te osjetljivosti na slijeganja

Klasični vertikalni lukobran od betonskih blokova

Armirano betonski vertikalni serklaž (opcionalno)



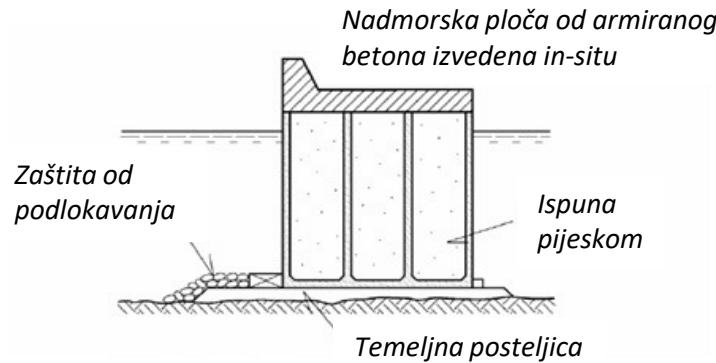


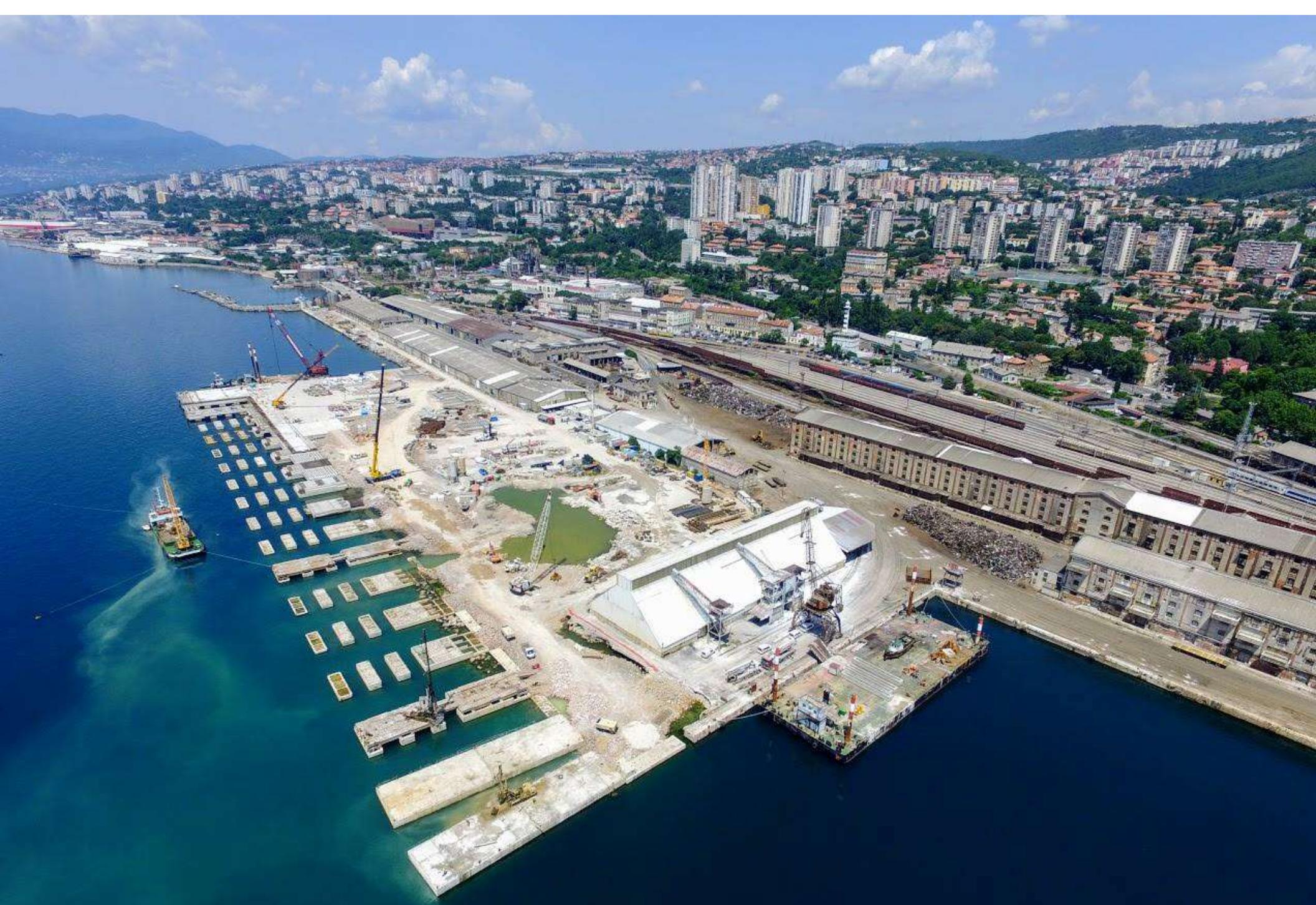
Luka Gaženica, Zadar

Vertikalni lukobrani - kesoni

Grade se kao kesoni od armirano-betonskih stijenki, čiji otvor se pune pijeskom. Najčešće se izvode kao plutajući kesoni koji se potapaju na mjestu ugradnje. Po završetku slijeganja dobetonira se nadmorski dio koji poravna i poveže različito slegnute dijelove montažnog lukobrana.

Klasični vertikalni lukobran tipa keson

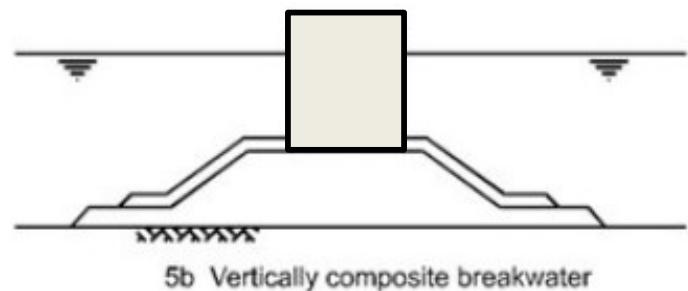




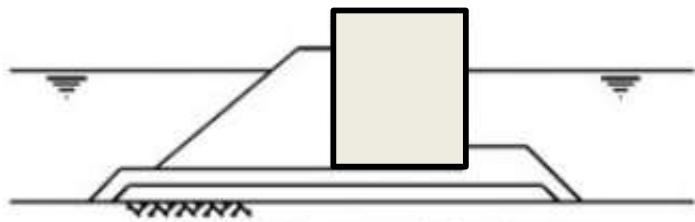
Zagrebačka obala, Rijeka

Kombinirani vertikalni lukobrani

- **Vertikalno kombinirani lukobrani** se izvode s ciljem uštede materijala – vertikalni lukobran izvode se na podmorskog nasipu, čija obloga se mora izvesti slično kao i kod nasutog lukobrana da zaštiti jezgru nasipa (ovisno o dubini)
- **Horizontalno kombinirani lukobrani** se izvode s ciljem umanjenja ukupnih opterećenja na lukobran i refleksije valova. Obloga nasutog dijela se izvodi analogno klasičnom nasutom lukobranu.



5b Vertically composite breakwater

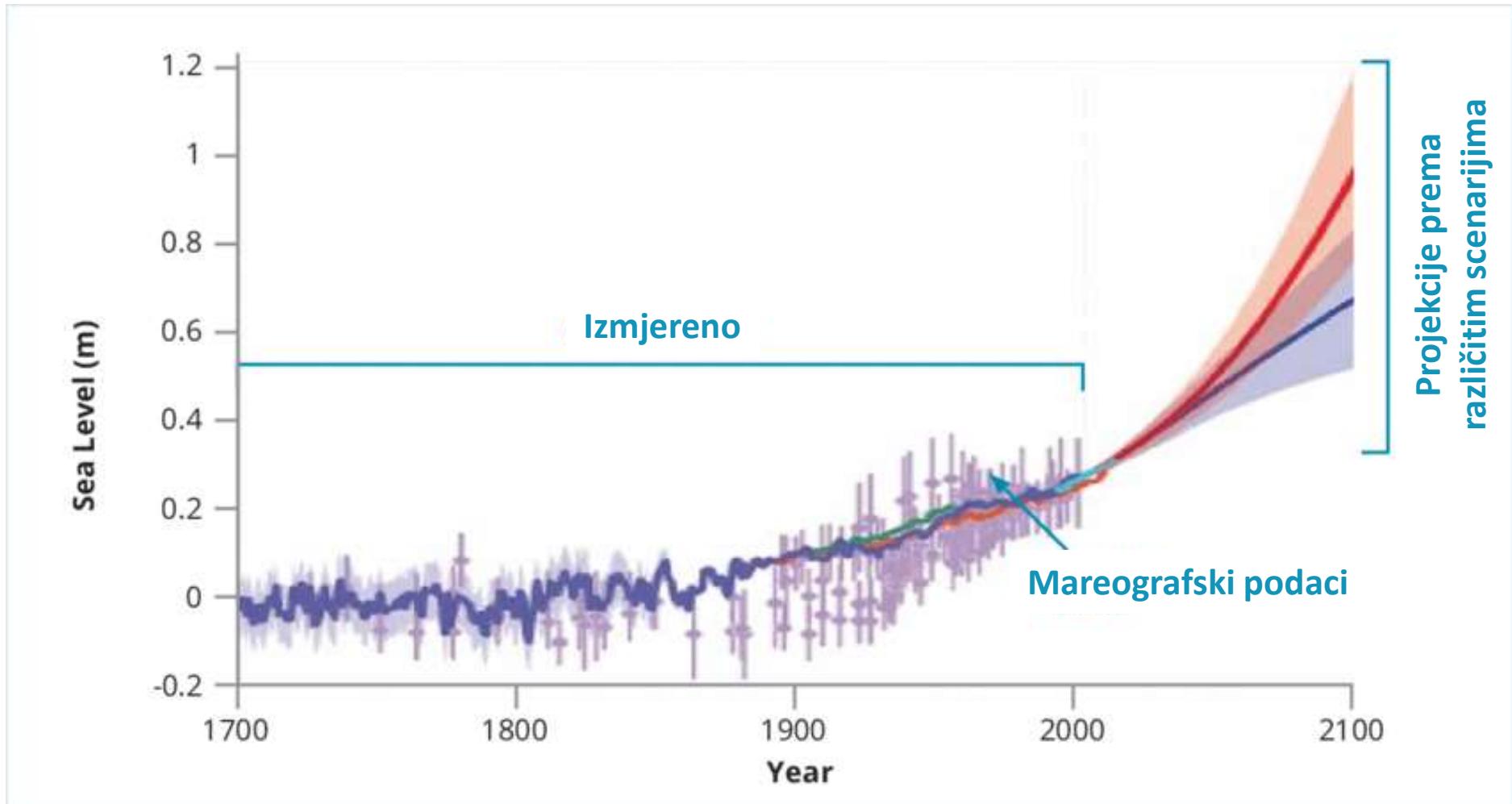


6 Horizontally composite breakwater

BUDUĆI IZAZOVI U OBALNOM INŽENJERSTVU



Podizanje razine mora



U Bakru zabilježena najveća plima od 1929. godine i početka mjerjenja!

⌚ Objavljeno: 30. listopada 2018. u 16:47h

U ponedjeljak 29. listopada 2018. godine na mareografskoj postaji u Bakru zabilježen je u 21 sat i 25 minuta vodostaj koji za 127 cm premašuje srednju morsku razinu.

To je najveći vodostaj zabilježen od 1929. godine, kad je utemeljena postaja u Bakru, poručili su sa Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, prenosi [Novi List](#).

– Nekoliko je mogućih čimbenika koji su doprinijeli ovako visokoj morskoj razini. Prve analize jasno ukazuju na važnost tzv. olujnog uspora, tj. uzdignuća morske razine povezanog s djelovanjem niskog tlaka zraka i olujnog južnog vjetra. Dodatni su čimbenik plimne oscilacije, koje su u navedeno vrijeme podržavale brzo podizanje morske razine.

Još jedan mogući čimbenik su stojni valovi Jadranskog mora, koji su mogli biti pobuđeni prije opaženog maksimuma i tako mu pridonijeti, ali o njihovoj važnosti znat ćemo više nakon što se provede detaljna analiza.

Pojava rekordno visokih vodostaja pridonosi i porast morske razine vezan uz klimatske promjene, poručuju sa Geofizičkog odsjeka.

U Splitu ekstremna razina mora, najviša od 1955. i početka mjerjenja; oluja zamutila Jadro - vodu prokuhavati

Autor: V. P. P./Hina • Zadnja izmjena 13.11.2019 16:28 • Objavljeno 13.11.2019 u 16:27

Na mareografskim postajama u Splitu i Pločama u srijedu je izmjerena ekstremna razina mora, priopćeno je iz Hrvatskoga hidrografskog instituta.

Mareografska postaja u Splitu izmjerila je u 4,02 sata razinu mora od 1.515 metara iznad mareografske nule, to jest 91.1 centimetar iznad srednje razine mora.

'To je **najveća razina mora izmjerena od 1955. godine**, od kada je ta postaja počela s kontinuiranim mjerjenjima. Mareografska postaja Ploče je u 3,29 sati izmjerila razinu mora od 2.128 metara iznad mareografske nule, to jest 88.7 centimetara iznad srednje razine mora. To je najveća razina mora izmjerena od 2002. godine, od kada je ta postaja započela s kontinuiranim mjerjenjima', priopćili su iz Hrvatskoga hidrografskog instituta.



swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



OBALNO INŽENJERSTVO: **Primjena daljinskih istraživanja**

Igor Ružić

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Niš



www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

OBALNO INŽENJERSTVO: Primjena daljinskih istraživanja

Project title: Winter school

Acronym: SWARM

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

Work package	Title
6	Dissemination & exploitation
Activity	Title
6.5	Winter/summer schools

Dates	15.11.2021. – 26.11.2021.
City	Rijeka
Meeting venue	University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering (UNIRIFCE) – ONLINE (MS Teams)
Address	Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Croatia

Nacionalni park Plitvička jezera



Devastirane sedrene barijere Plitvičkih jezera:

<https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/devastirane-sedrene-barijere-plitvickih-jezera-20120214/print>

MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA POTVRDILO: Sedrene barijere na Plitvicama devastirane "ljudskom rukom,,

<http://www.novilist.hr/Vijesti/Hrvatska/Sedrene-barijere-na-Plitvicama-devastirane-ljudskom-rukom>

"Plitvice uništavaju, isušili su sedam jezeraca!„

<https://www.vecernji.hr/vijesti/plitvice-unistavaju-isusili-su-sedam-jezeraca-378271>



**PLITVIČKA
JEZERA**
Nacionalni park
National Park

JAVNA USTANOVA 'NACIONALNI PARK PLITVIČKA JEZERA'
A Znanstveno-stručni centar Dr. Ivo Pevalek, 53231 Plitvička Jezera,
Josipa Jovića 19, Hrvatska/Croatia • W www.np-plitvicka-jezera.hr
IBAN HR923240009100146480 • OIB 91109303119 • MB 3310850



SLUŽBA ZAŠTITE, ODRŽAVANJA, OČUVANJA, PROMICANJA I
KORIŠTEЊA NACIONALNOG PARKA
T +385 (0)53 751 132 • F +385 (0)53 751 728
E strucna-sluzba@np-plitvicka-jezera.hr



Europska unija
Ulaganje u budućnost

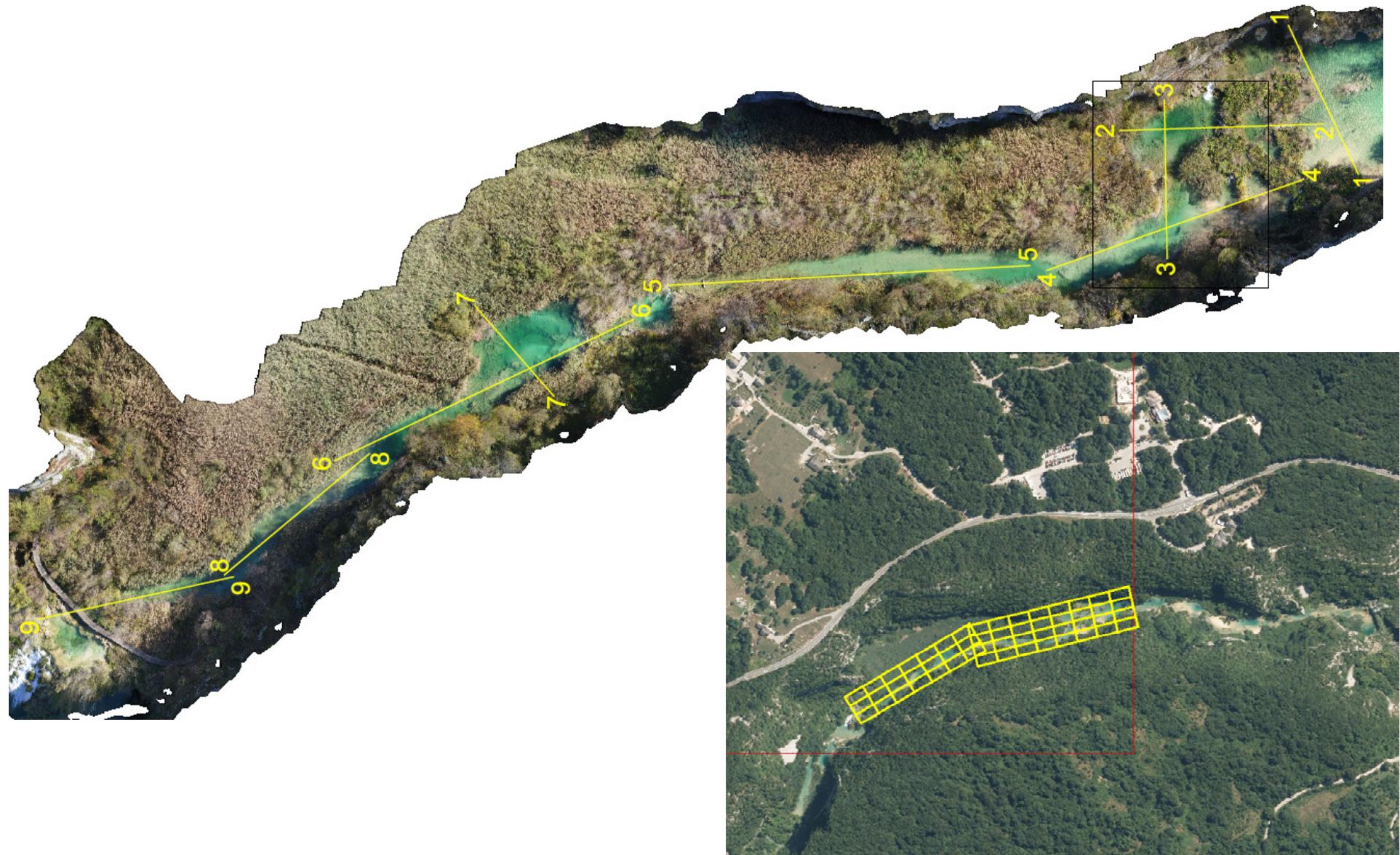


Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.
Sadržaj ove publikacije iskorištava je odgovornost Sveučilišta u Rijeci.

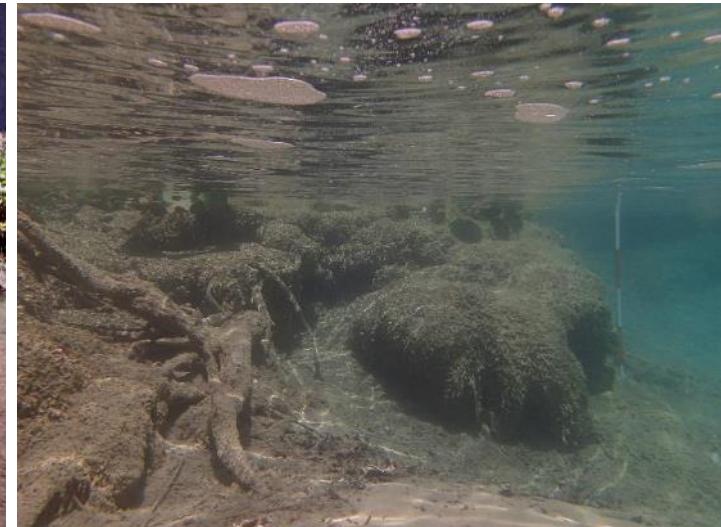


Korištenje laboratorijske opreme Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci koja je dopremljena kroz europski projekt „Razvoj istraživačke infrastrukture na Kampusu Sveučilišta u Rijeci“.

Nacionalni park Plitvička jezera



- Istraživanja morfoloških promjena toka rijeke Korane unutar područja NP Plitvička jezera.
- Monitoring: 3D oblaka točaka generiranih iz niza fotografija, snimljenih bespilotnom letjelicom korištenjem *Structure-from-Motion* fotogrametrije.
- Snimljeno je više od 400 m morfološki složenog korita Korane.
- Morfologija toka Korane promijenjena je zbog prokapanja sedrenih barijera. Time su promijenjeni i uvjeti otjecanja.



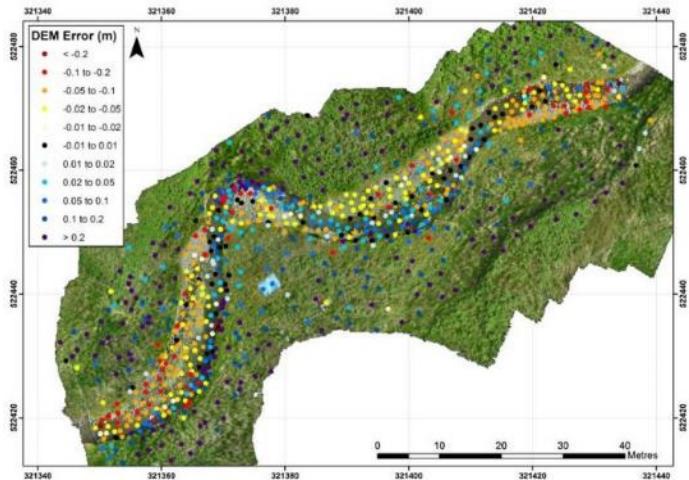
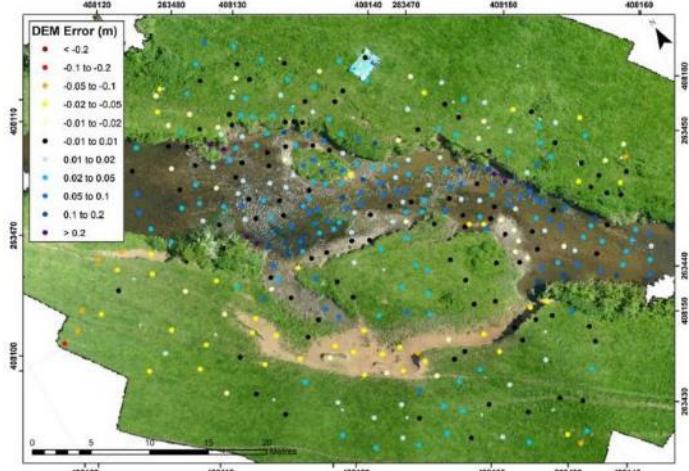


Usporedba mogućnosti različitih metodologija daljinskih istraživanja za mjerjenje ispod razine vode (Woodget i drugi., 2014)

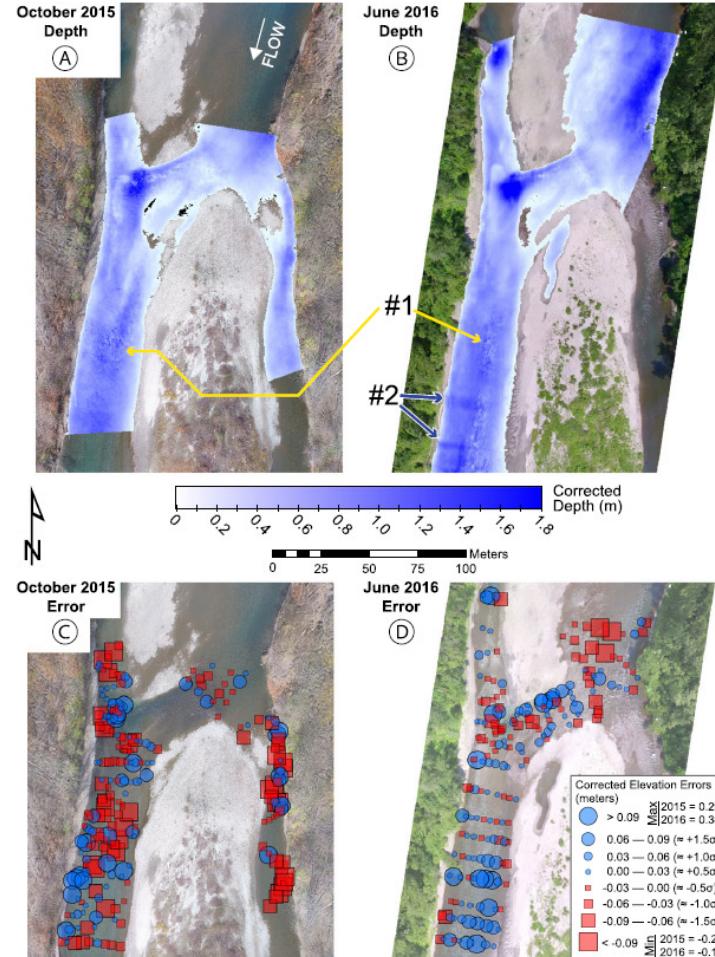
Table I. Comparison of topographic products obtained using remote sensing techniques during field tests. Values for submerged areas are shown in italics

Approach	Typical mean error (m)	Typical spatial resolution (m)	Typical mean water depth (m)	Typical max. water depth (m)	References
Spectral-depth relationship	0.10	0.05 – 4.00	<1.00	1.00	Winterbottom and Gilvear, 1997; Westaway <i>et al.</i> , 2003; Carboneau <i>et al.</i> , 2006; Lejot <i>et al.</i> , 2007; Legleiter, 2012, 2013
Digital photogrammetry	0.05-0.17 0.10	0.05 – 1.00 0.09	N/a <0.60	N/a 0.60	Westaway <i>et al.</i> , 2001; Westaway <i>et al.</i> , 2003; Lejot <i>et al.</i> , 2007; Feurer <i>et al.</i> , 2008; Lane <i>et al.</i> , 2010
Bathymetric LiDAR	0.10-0.30	1.00	<1.00	3.90	Kinzel <i>et al.</i> , 2007; Feurer <i>et al.</i> , 2008; Bailly <i>et al.</i> , 2010, 2012
TLS	0.004-0.03 0.01-0.10	<0.05 1.00	N/a 0.10	N/a 0.50	Heritage and Hetherington, 2007; Bangen <i>et al.</i> , 2014; Smith and Vericat, 2013

Nacionalni park Plitvička jezera

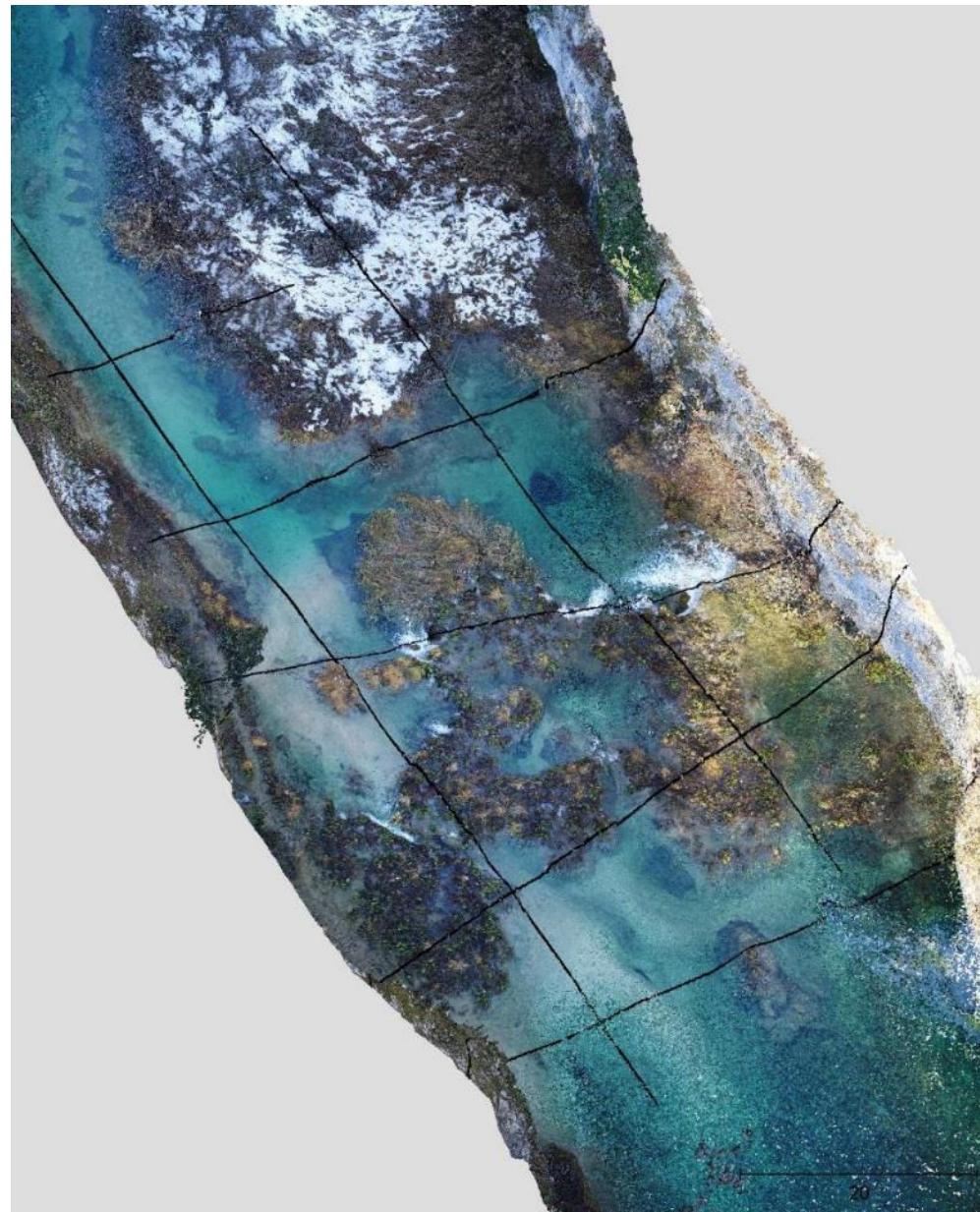
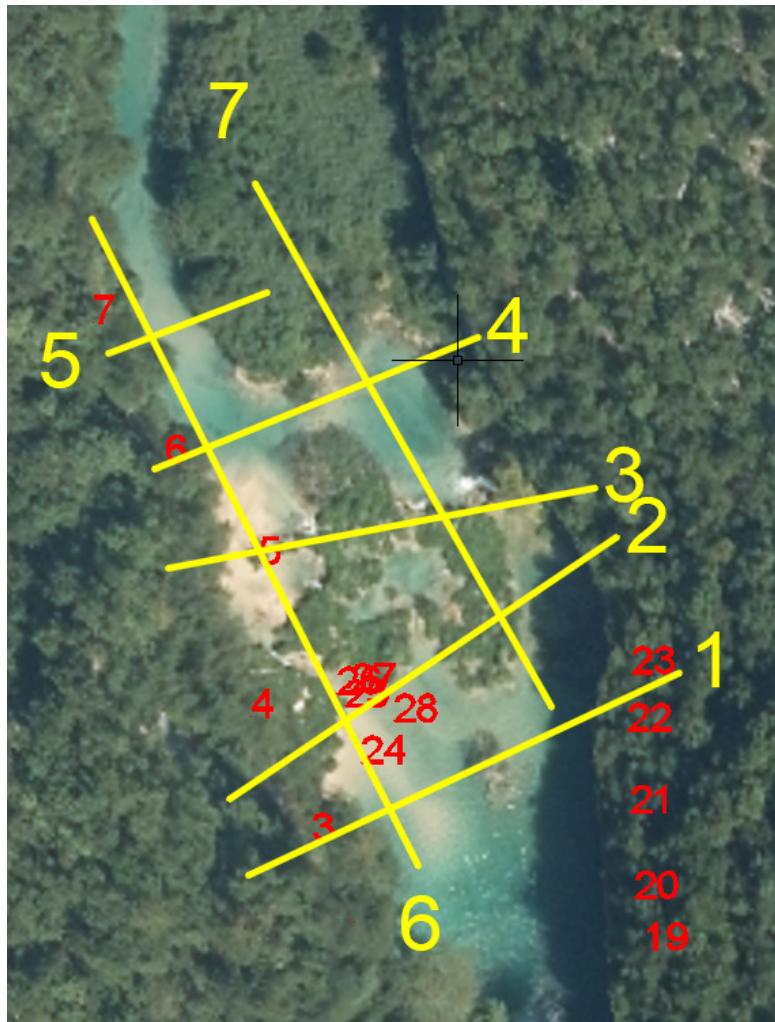


Woodget i drugi, 2015

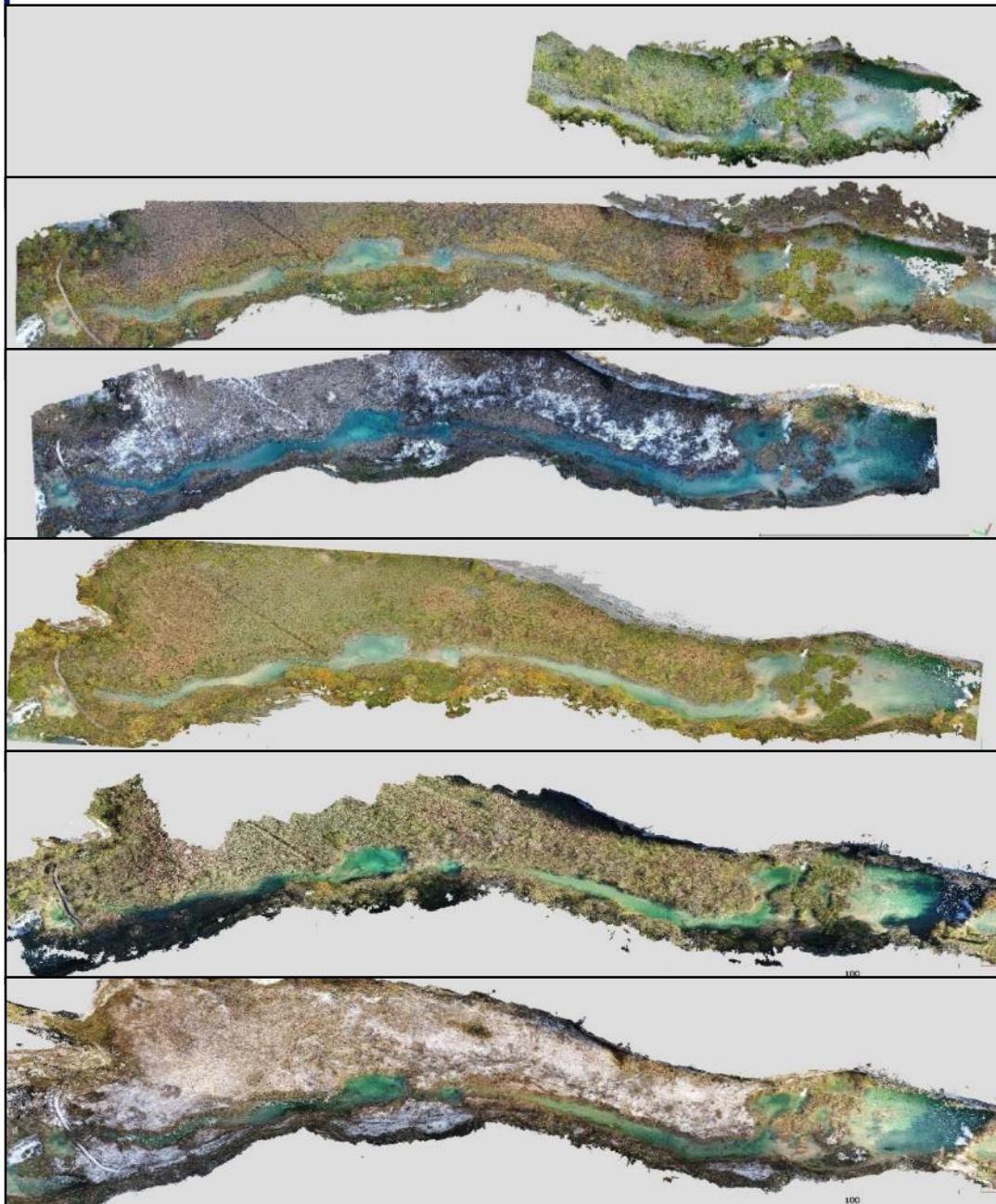


Dietrich i drugi, 2015

Nacionalni park Plitvička jezera

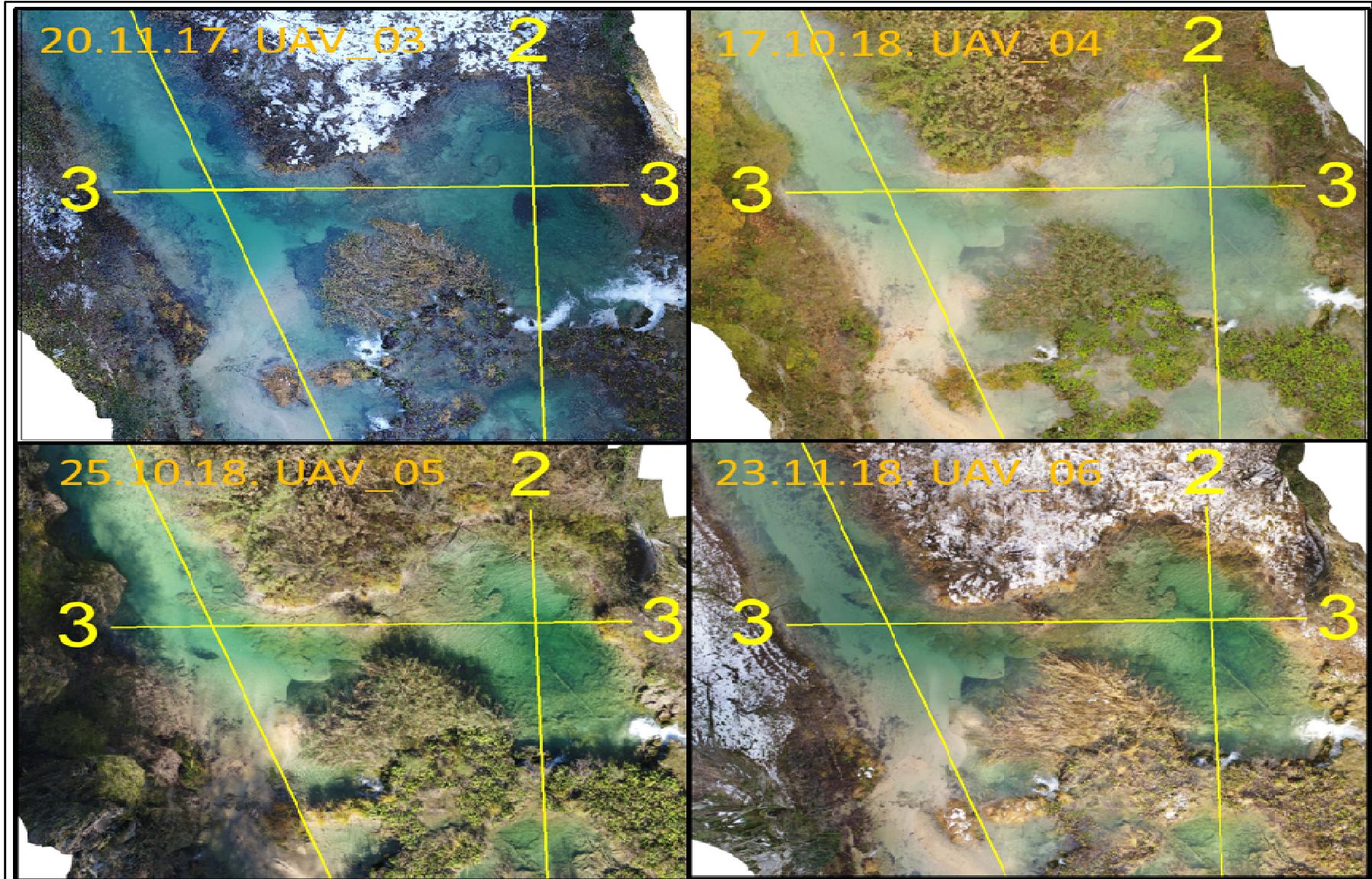


Nacionalni park Plitvička jezera

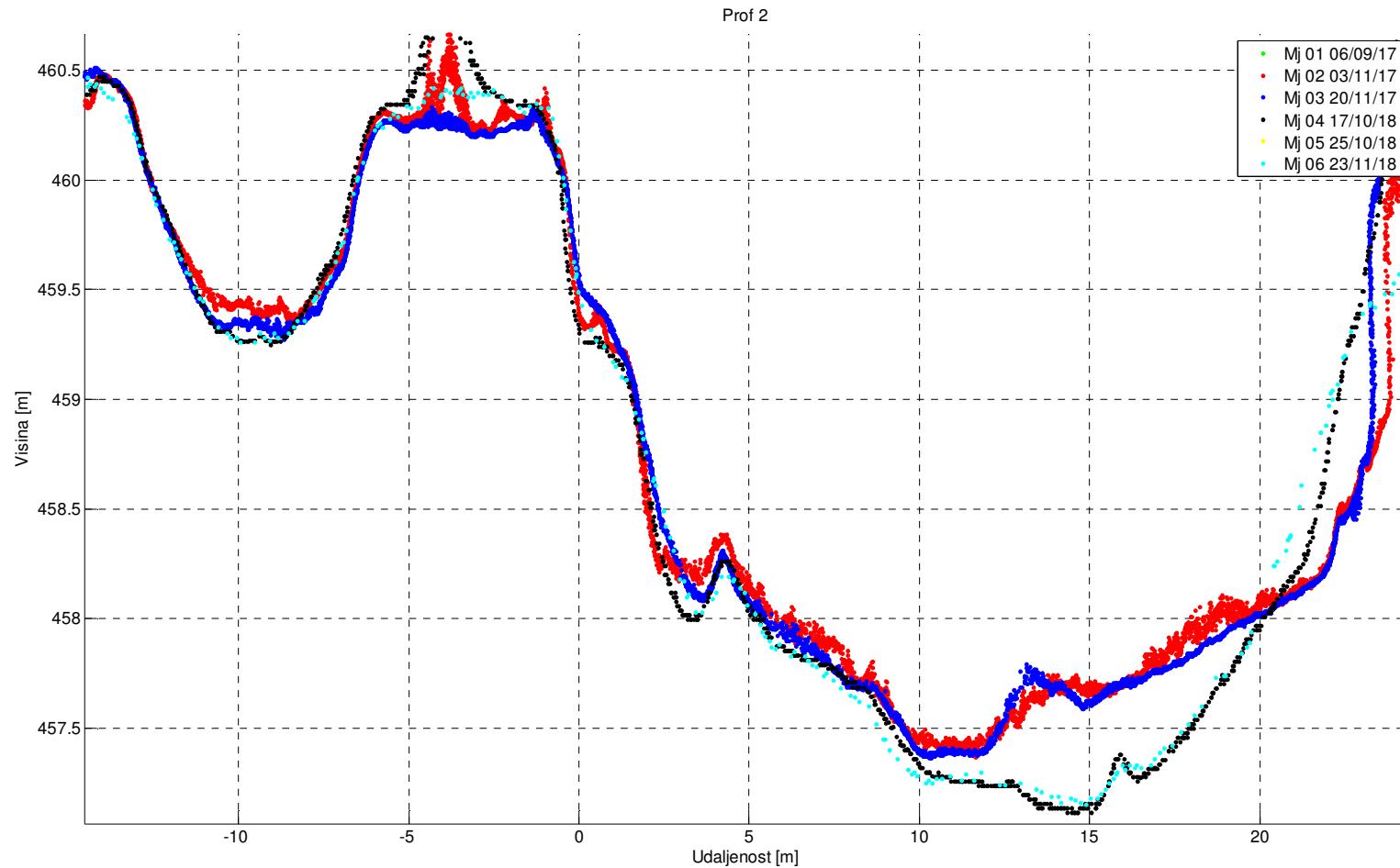


R. Br.	Datum snimanja	Oznaka mjerjenja
1	06.09.17.	UAV_01
2	03.11.17.	UAV_02
3	20.11.17.	UAV_03
4	17.10.18.	UAV_04
5	25.10.18.	UAV_05
6	23.11.18.	UAV_06

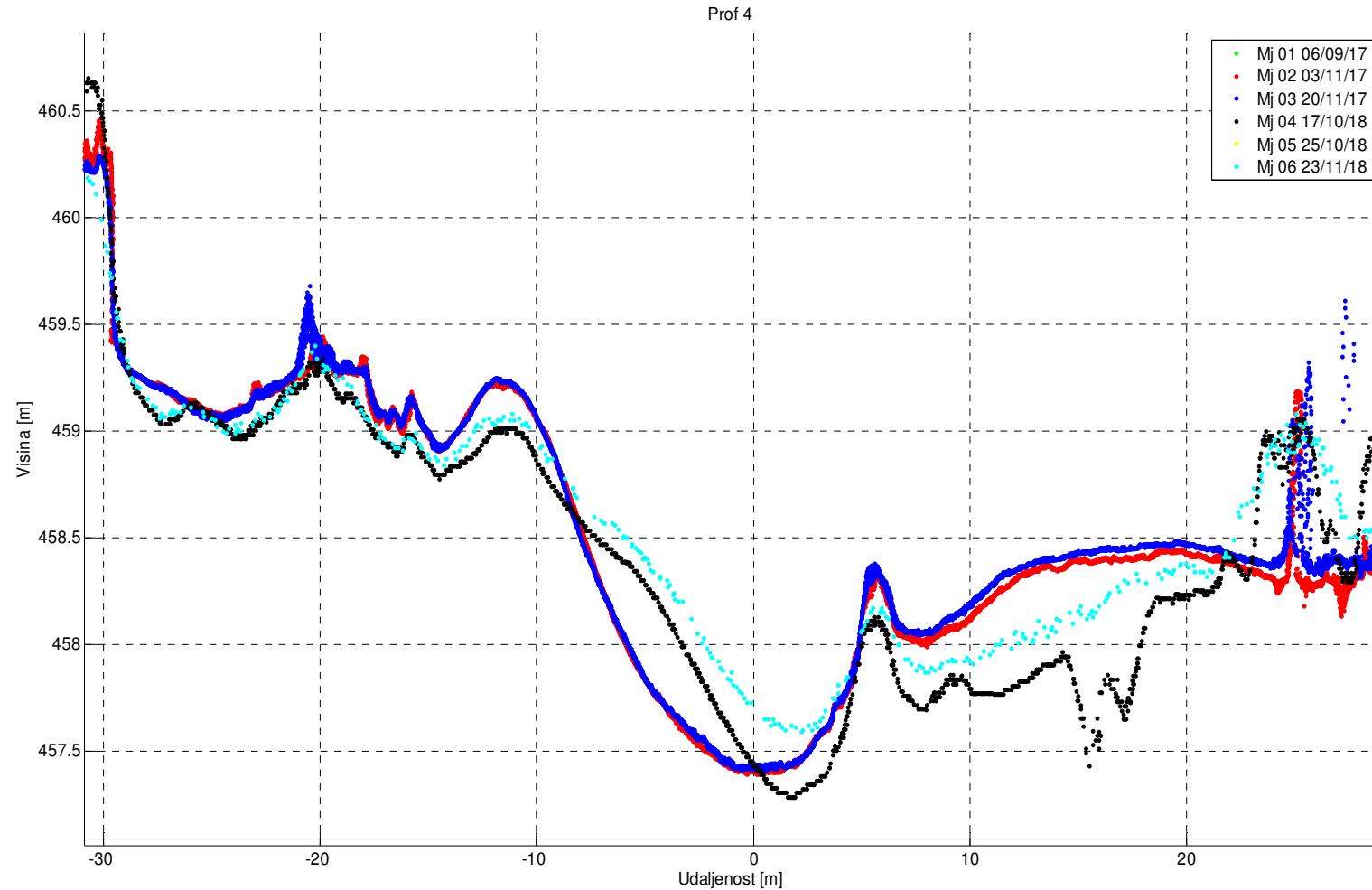
Nacionalni park Plitvička jezera



Nacionalni park Plitvička jezera



Nacionalni park Plitvička jezera





MONITORING I ANALIZA DINAMIKE EROZIJE SEDRENE BARIJERE MILINOG JEZERA

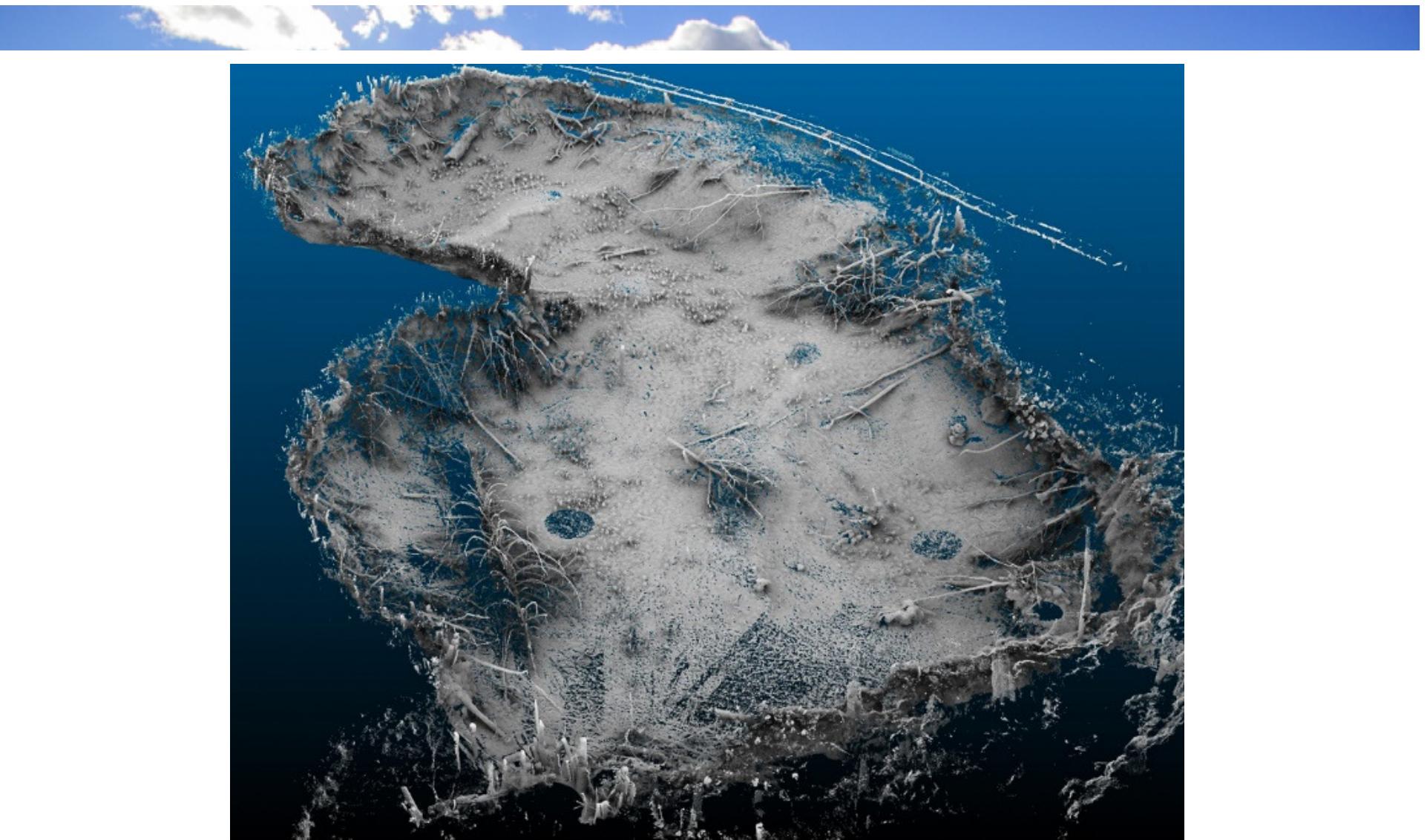
Snimanje morfologije toka i jezera na utjecajnom prostoru odlomljene sedrene barijere

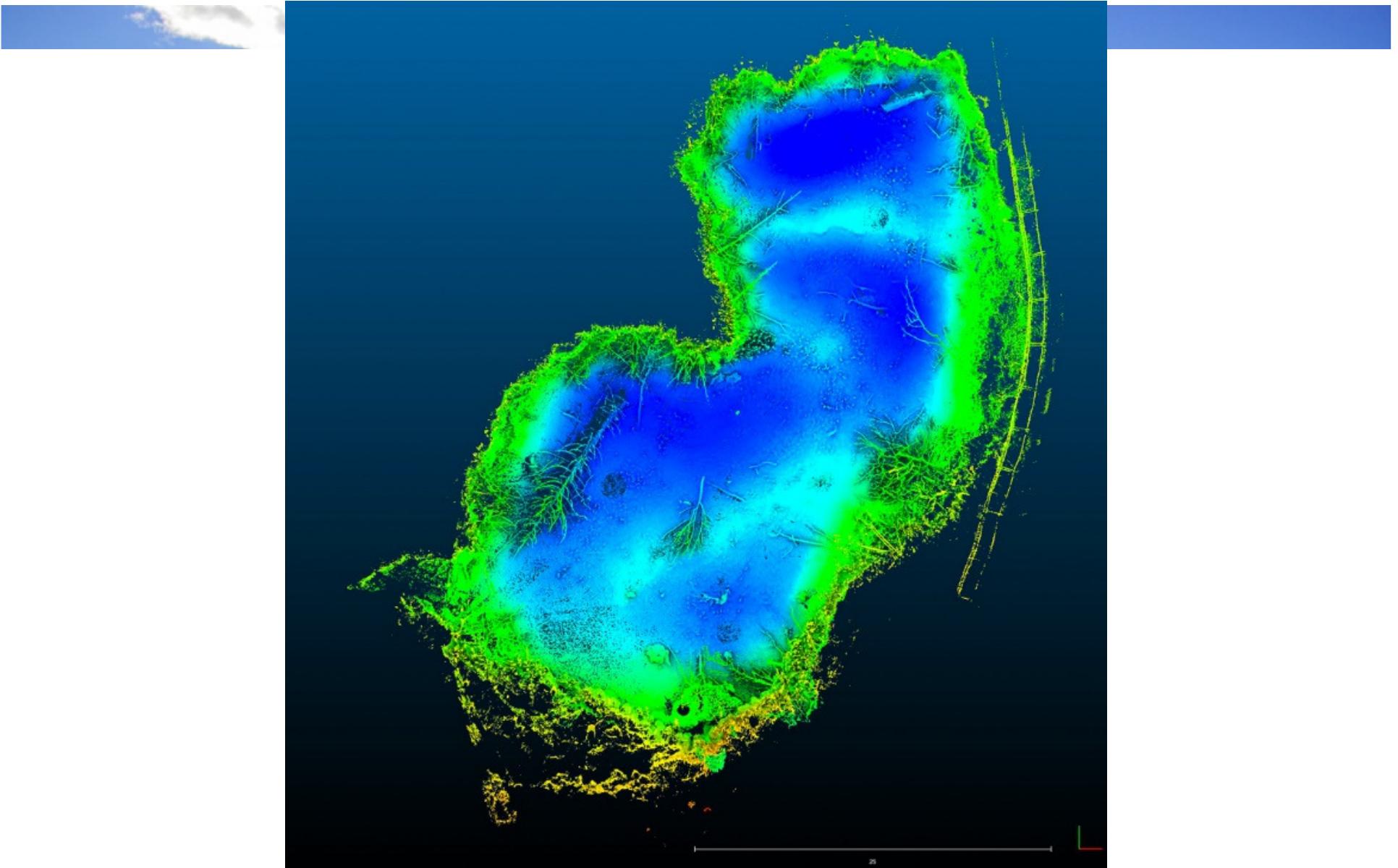
Oprema:

3D laserski skener Faro Focus 3D-X130,
RTK-GPS uređaj, bespilotna letjelica i foto-
oprema











- 3D snimak i analiza geometrije i stanja podmorskog dijela konstrukcije Gornjeg i Donjeg mosta u Ninu nakon poplave i oštećenja mosta 2017. godine
UNIRI-GRADRI 2017: Ružić, Krvavica, Kalajžić:
 - **TRODIMENZIONALNI SNIMAK DONJEG MOSTA U NINU NAKON POPLAVE I OŠTEĆENJA MOSTA 2017. GODINE**
 - **TRODIMENZIONALNI SNIMAK GORNJEG MOSTA U NINU NAKON POPLAVE I OŠTEĆENJA MOSTA 2017. GODINE**
 - **ANALIZA GEOMETRIJSKIH PARAMETARA I STANJA PODMORSKE KONSTRUKCIJE DONJEG MOSTA U NINU NAKON POPLAVE I OŠTEĆENJA 2017. GODINE**
 - **ANALIZA GEOMETRIJSKIH PARAMETARA I STANJA PODMORSKE KONSTRUKCIJE GORNJEG MOSTA U NINU NAKON POPLAVE I OŠTEĆENJA 2017. GODINE**



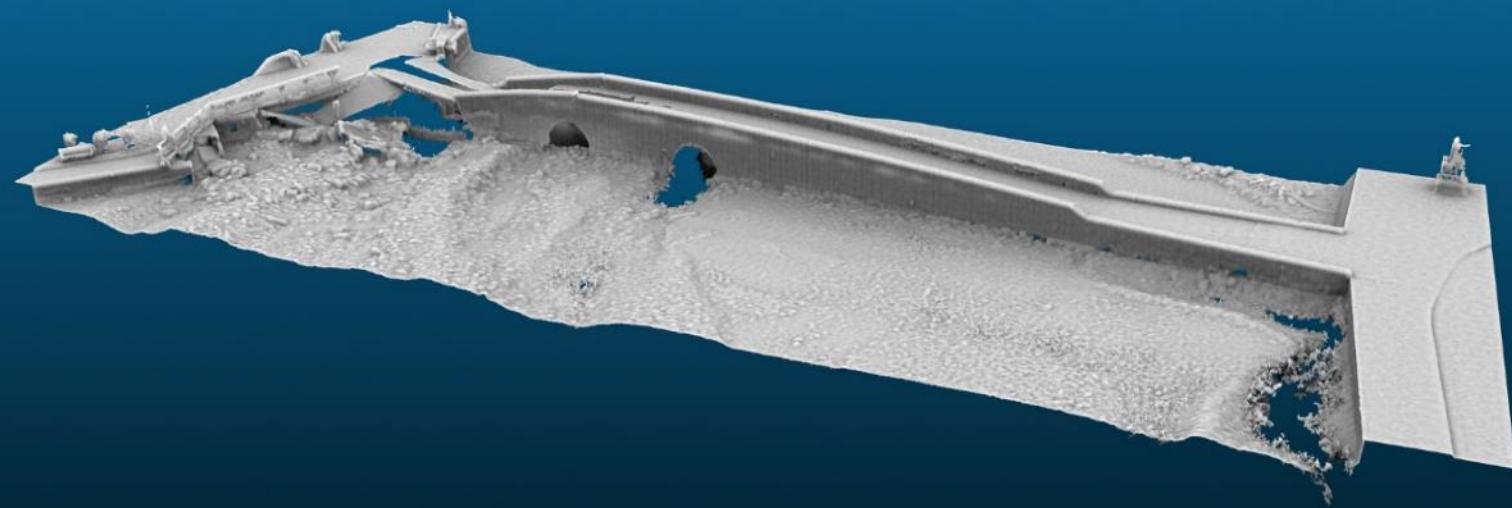
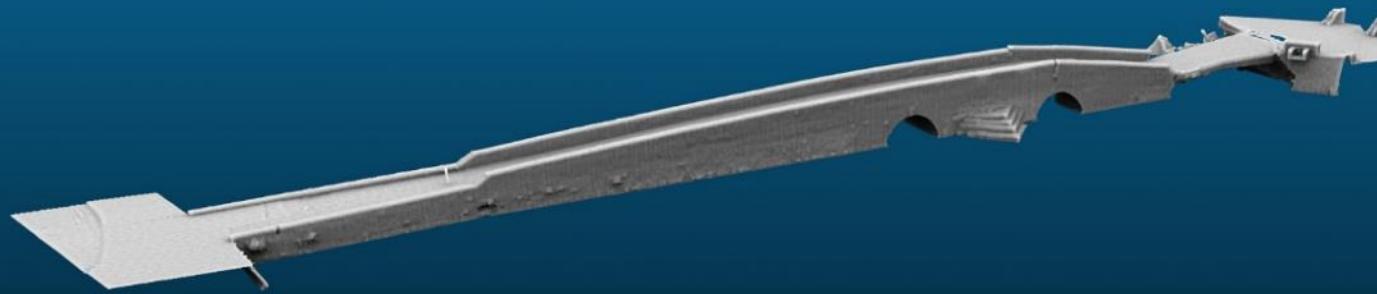
Europska unija
Ulaganje u budućnost



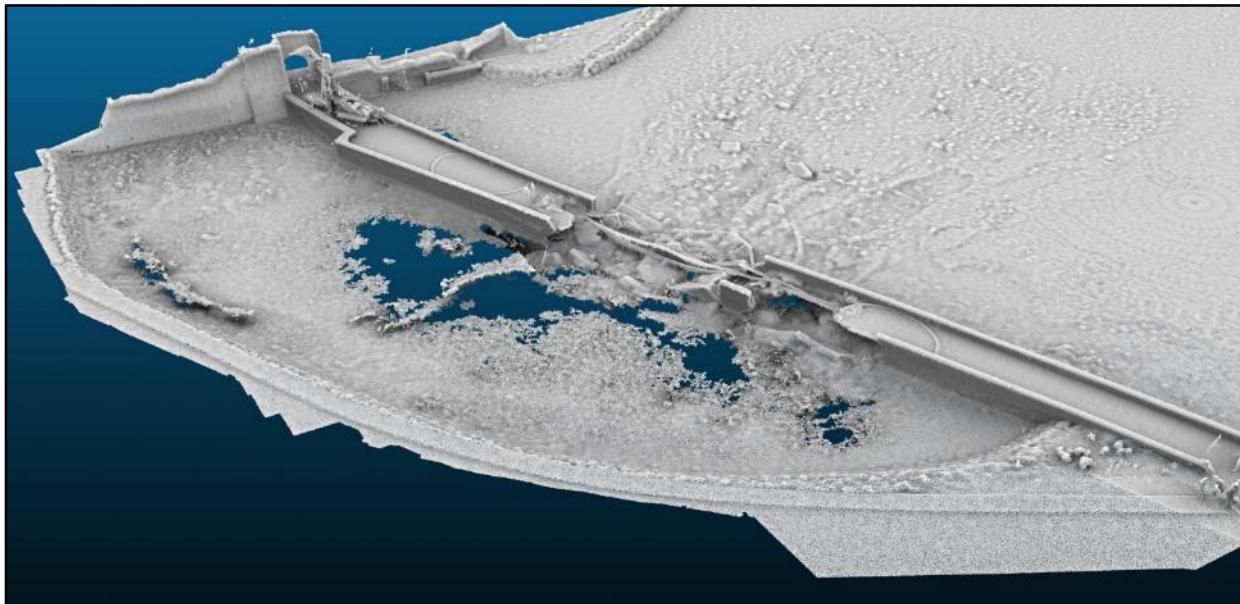
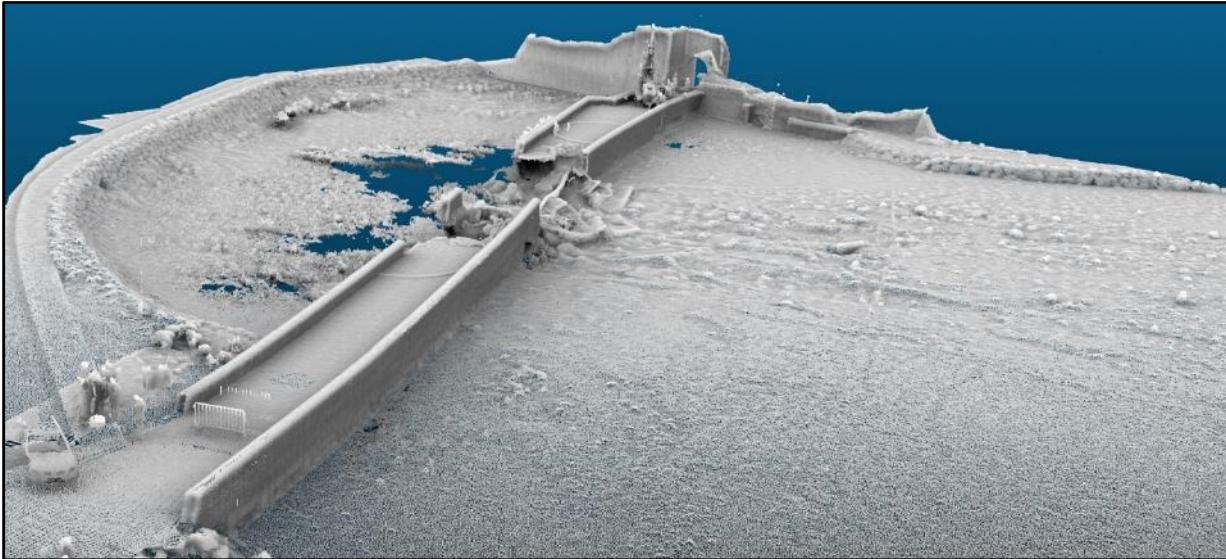
Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.
Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Sveučilišta u Rijeci.



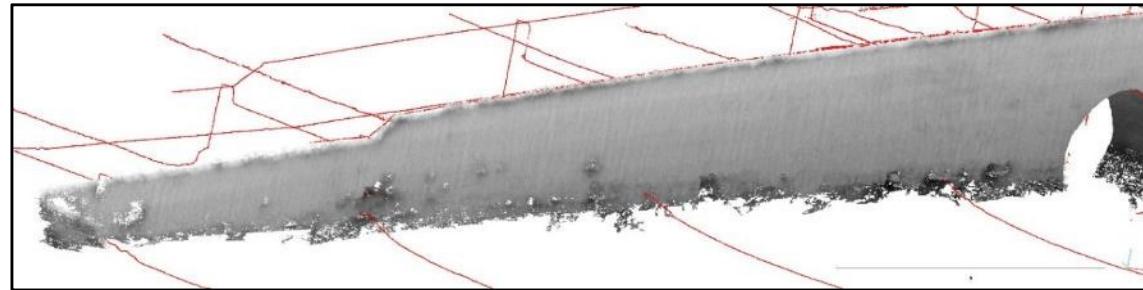
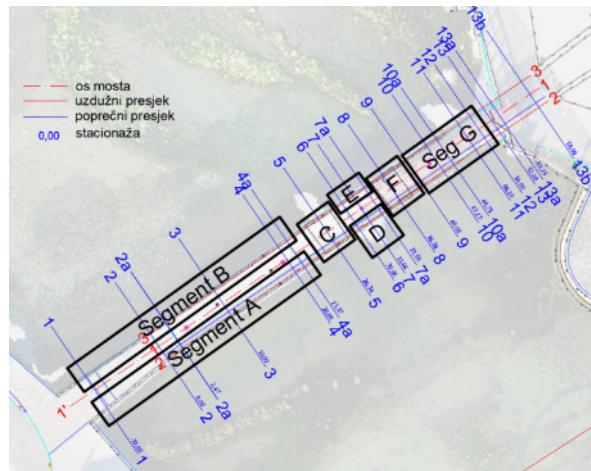
Grad Nin – Gornji i Donji most



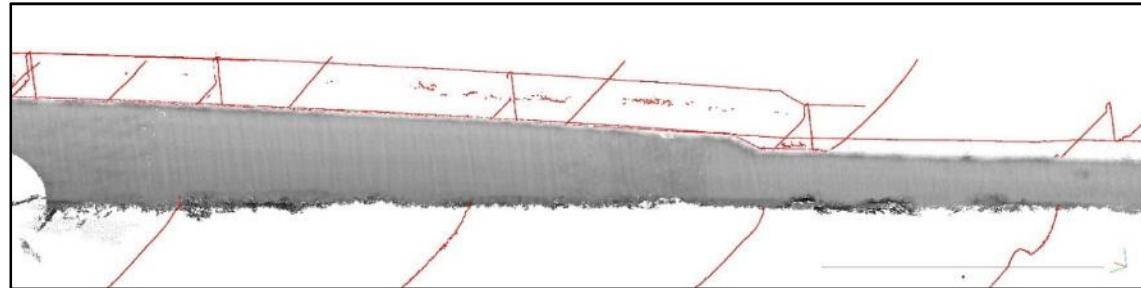
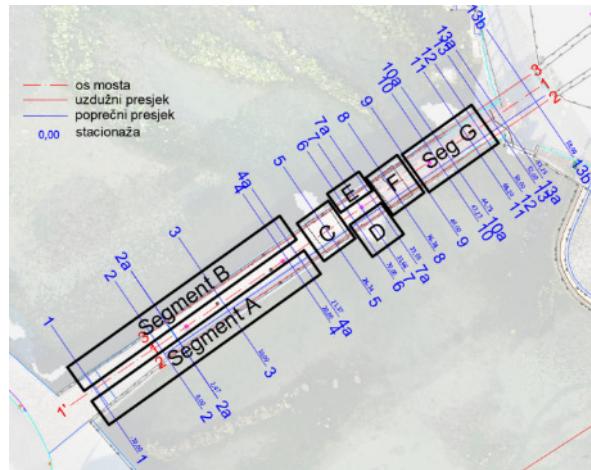
Grad Nin – Gornji i Donji most



Grad Nin – Gornji i Donji most



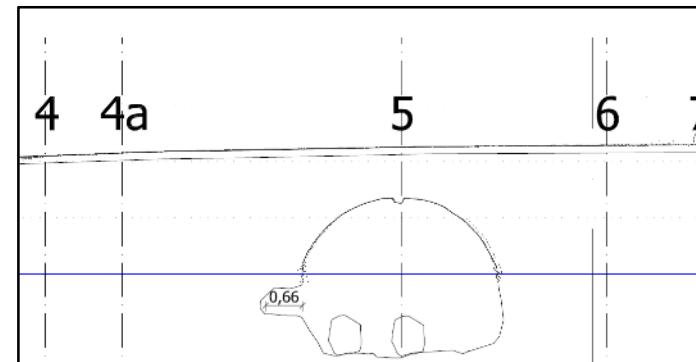
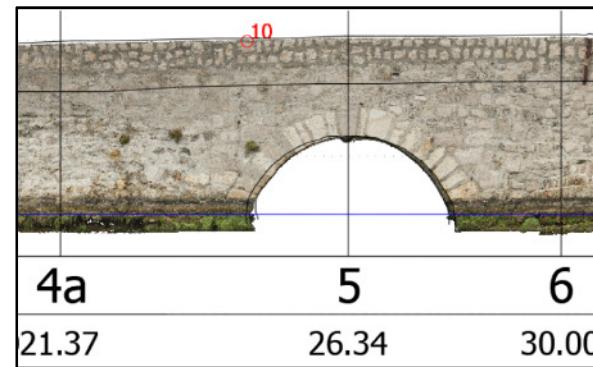
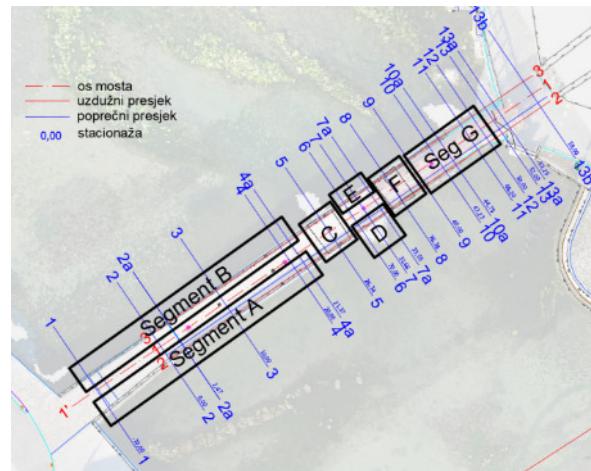
Grad Nin – Gornji i Donji most



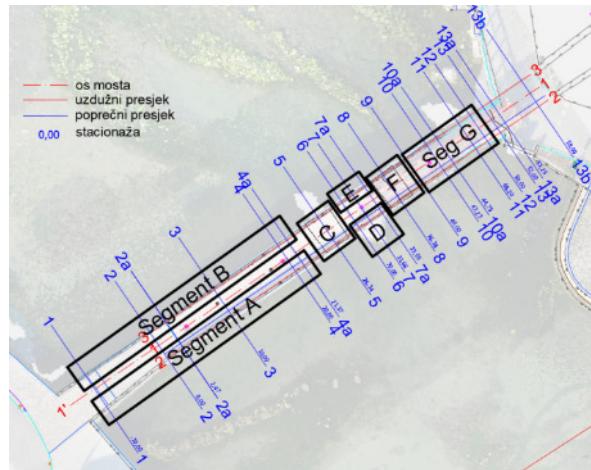
Grad Nin – Gornji i Donji most



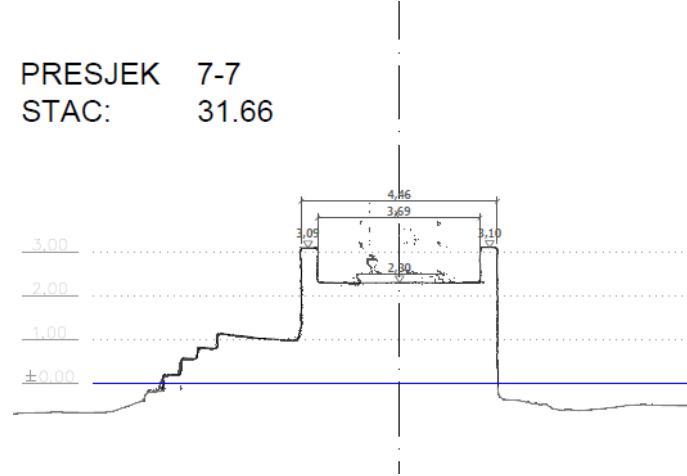
GF



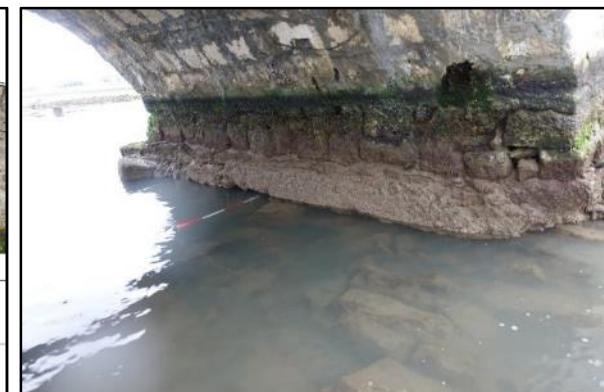
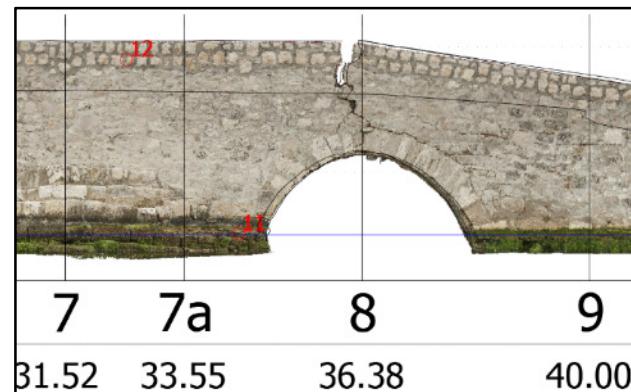
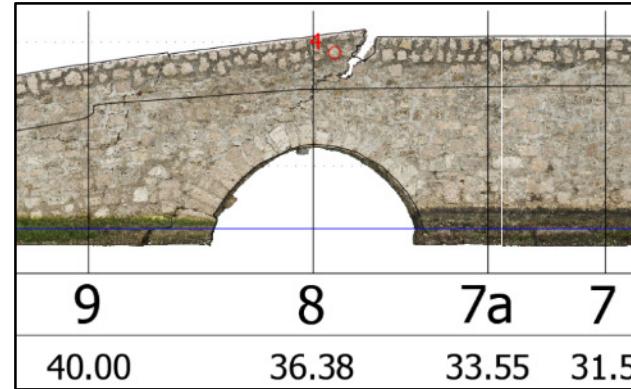
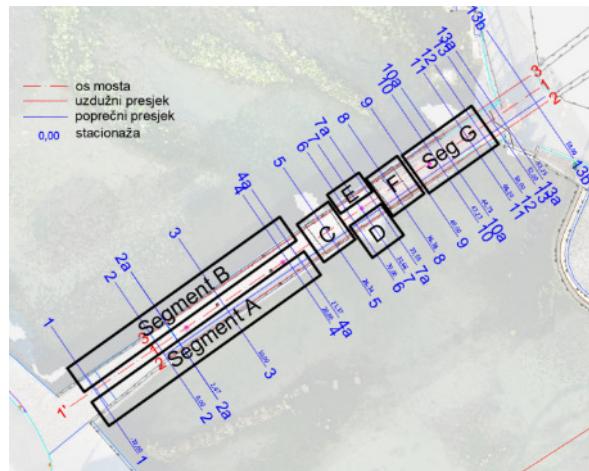
Grad Nin – Gornji i Donji most



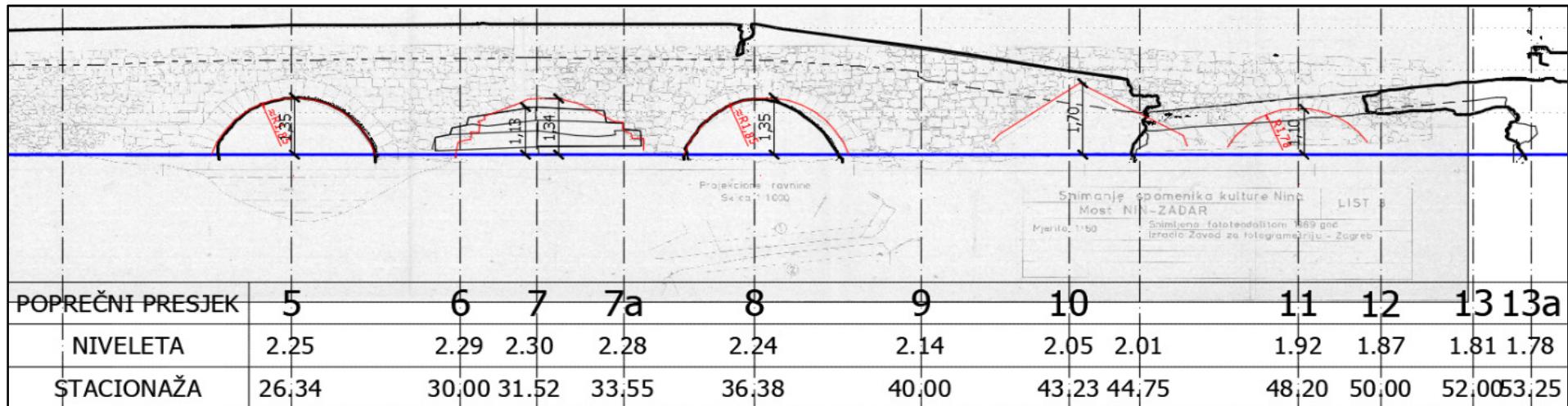
PRESJEK 7-7
STAC: 31.66



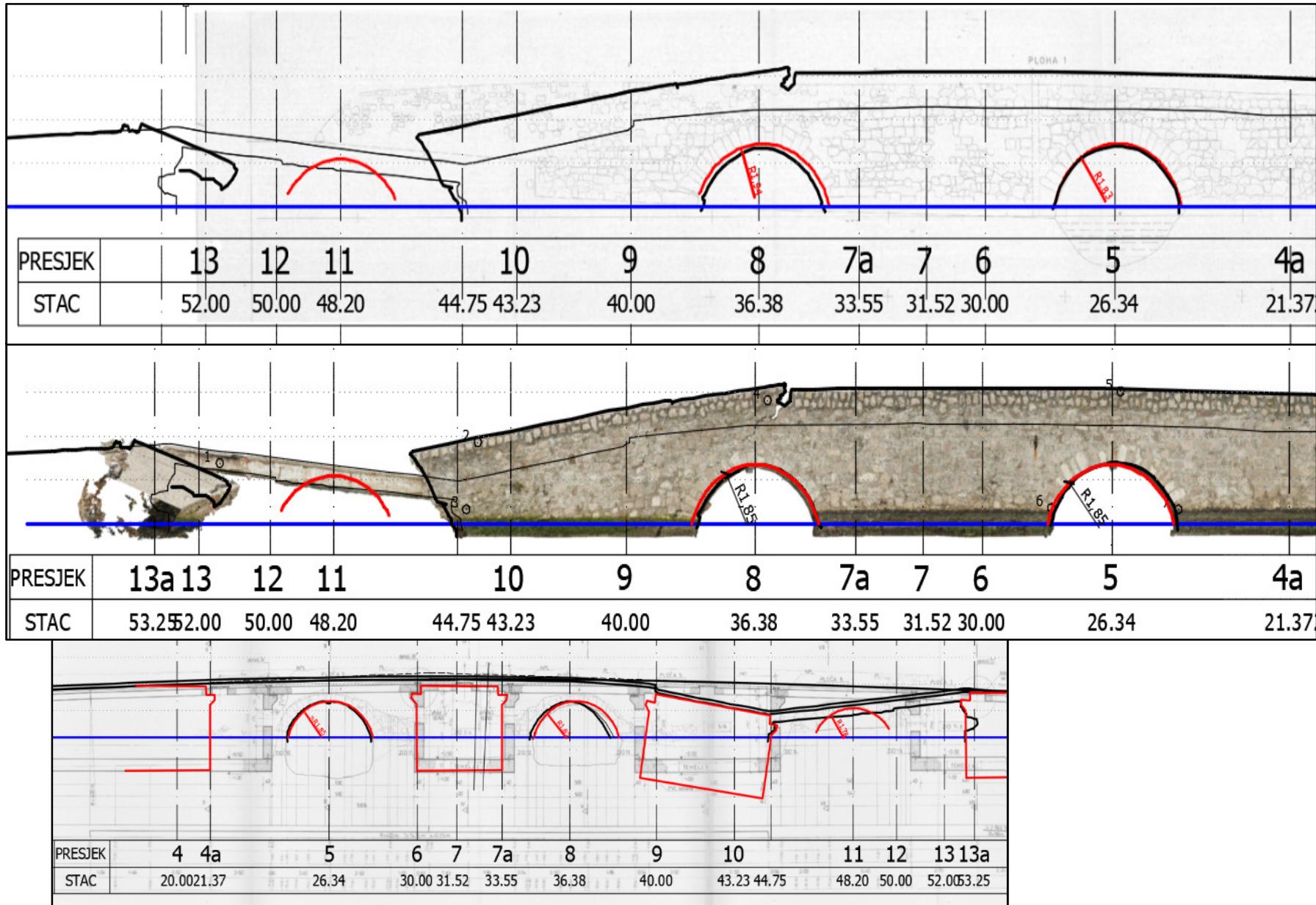
Grad Nin – Gornji i Donji most



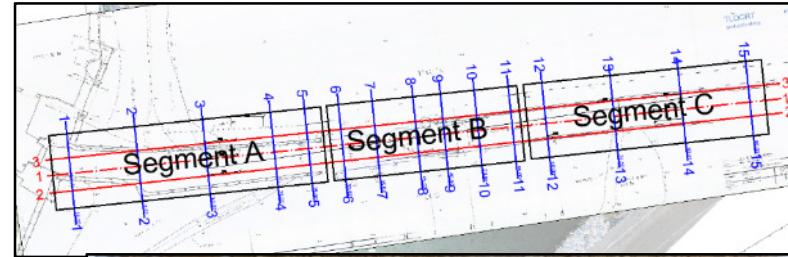
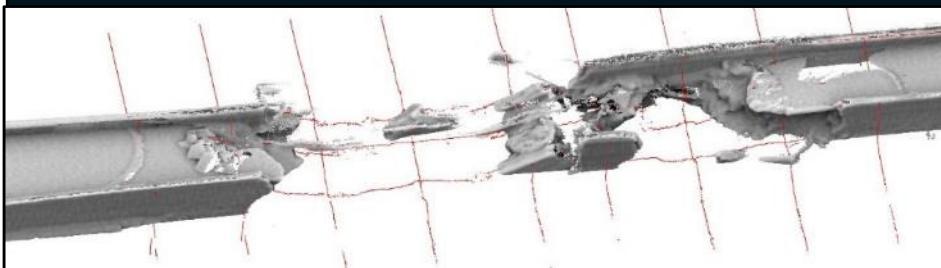
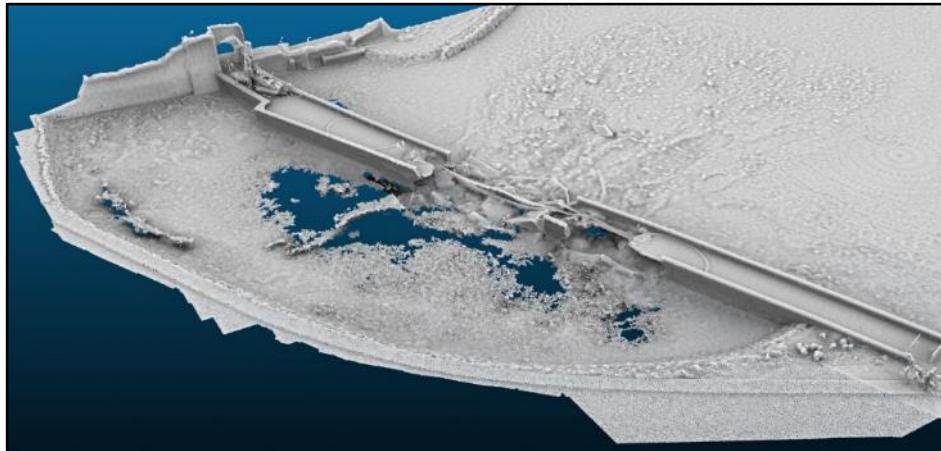
Grad Nin – Gornji i Donji most



Grad Nin – Gornji i Donji most



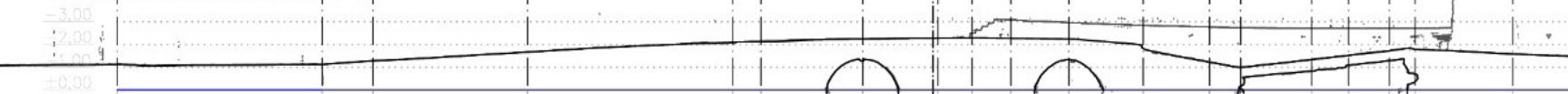
Grad Nin – Gornji i Donji most



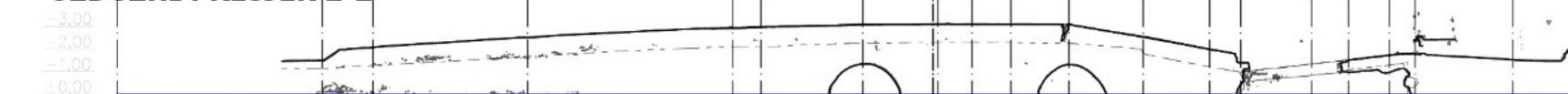
Grad Nin – Gornji i Donji most



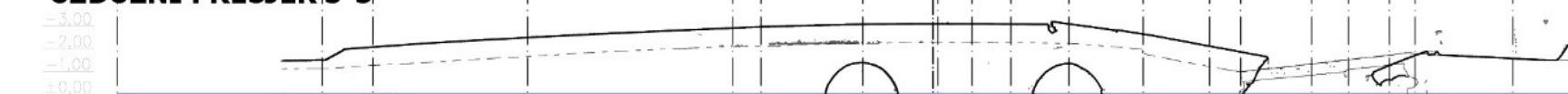
UZDUŽNI PRESJEK 1-1



UZDUŽNI PRESJEK 2-2

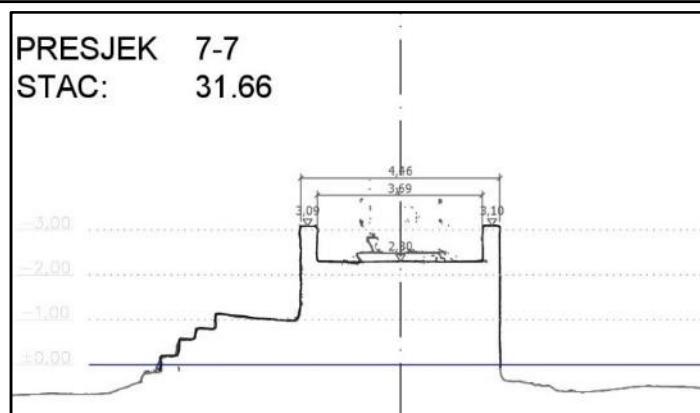


UZDUŽNI PRESJEK 3-3

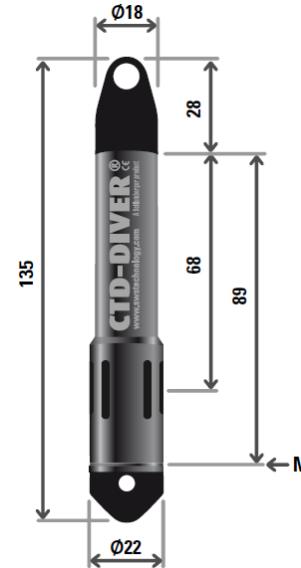


POPREČNI PRESJEK	1	2	2a	3	4	4a	5	6	7	7a	8	9	10	11	12	13	13a	13b
NIVELETA	1.13	1.13	1.28	1.67	2.11	2.15	2.25	2.29	2.30	2.28	2.24	2.14	2.05	2.01	1.92	1.87	1.81	1.78
STACIONAŽA	-10.00	0.00	2.47	10.00	20.00	21.37	26.34	30.00	31.52	33.55	36.38	40.00	43.23	44.75	48.20	50.00	52.00	53.25

PRESJEK 7-7
STAC: 31.66



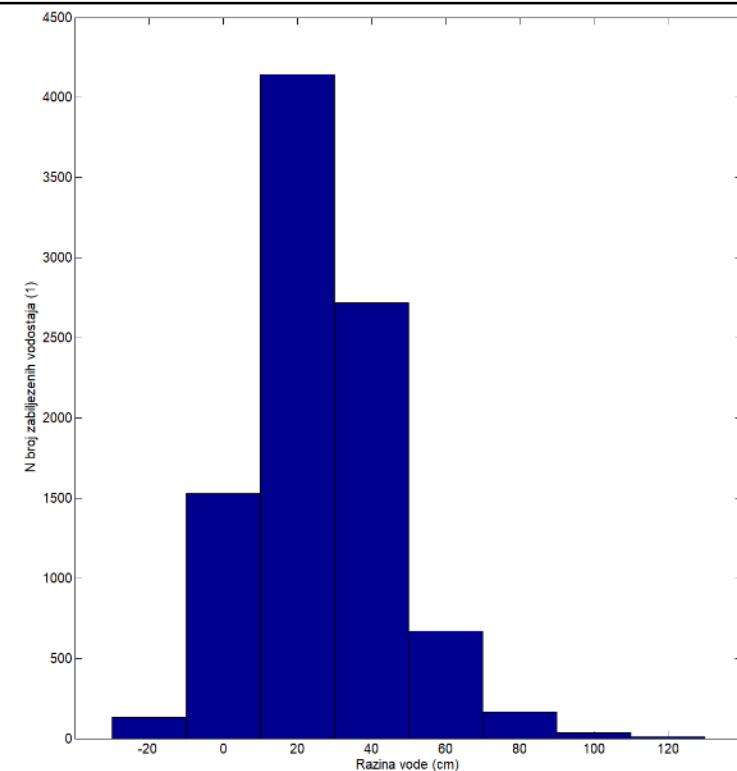
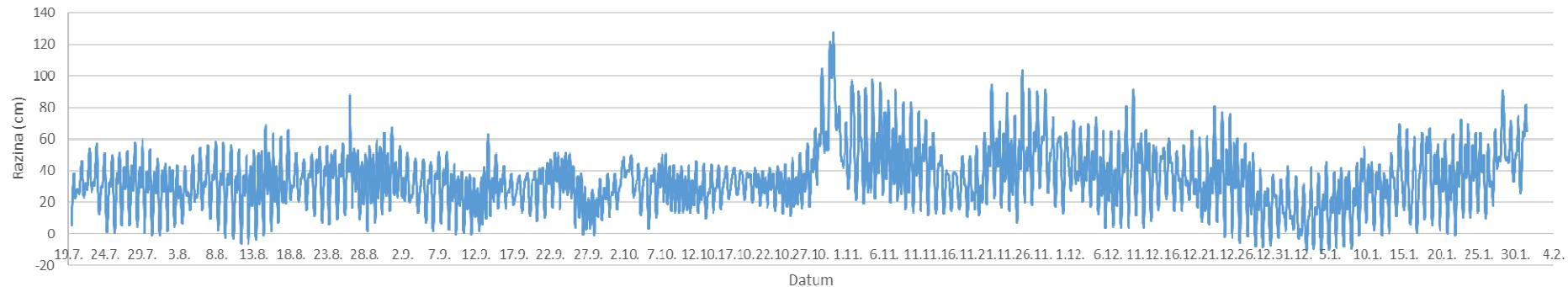
Mjerenje oscilacija razina podzemnih voda i mora u kompleksu Eufrazijske bazilike u Poreču



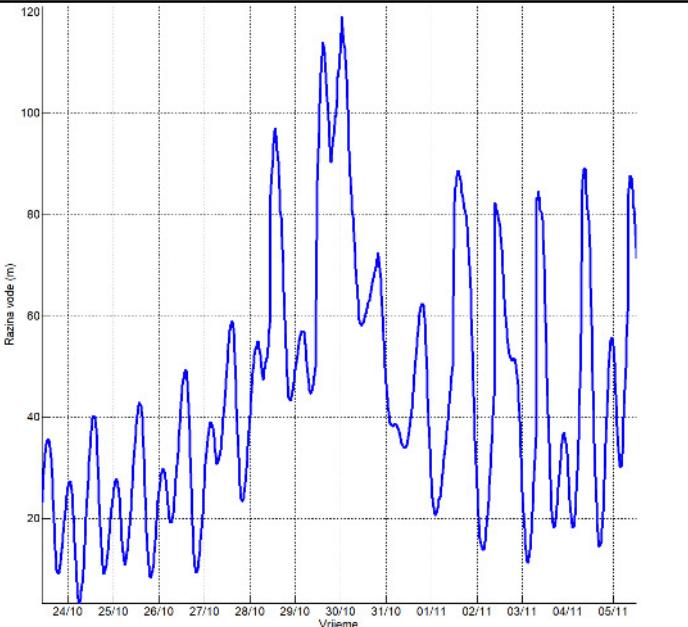
Eufrazijeva bazilika u Poreču



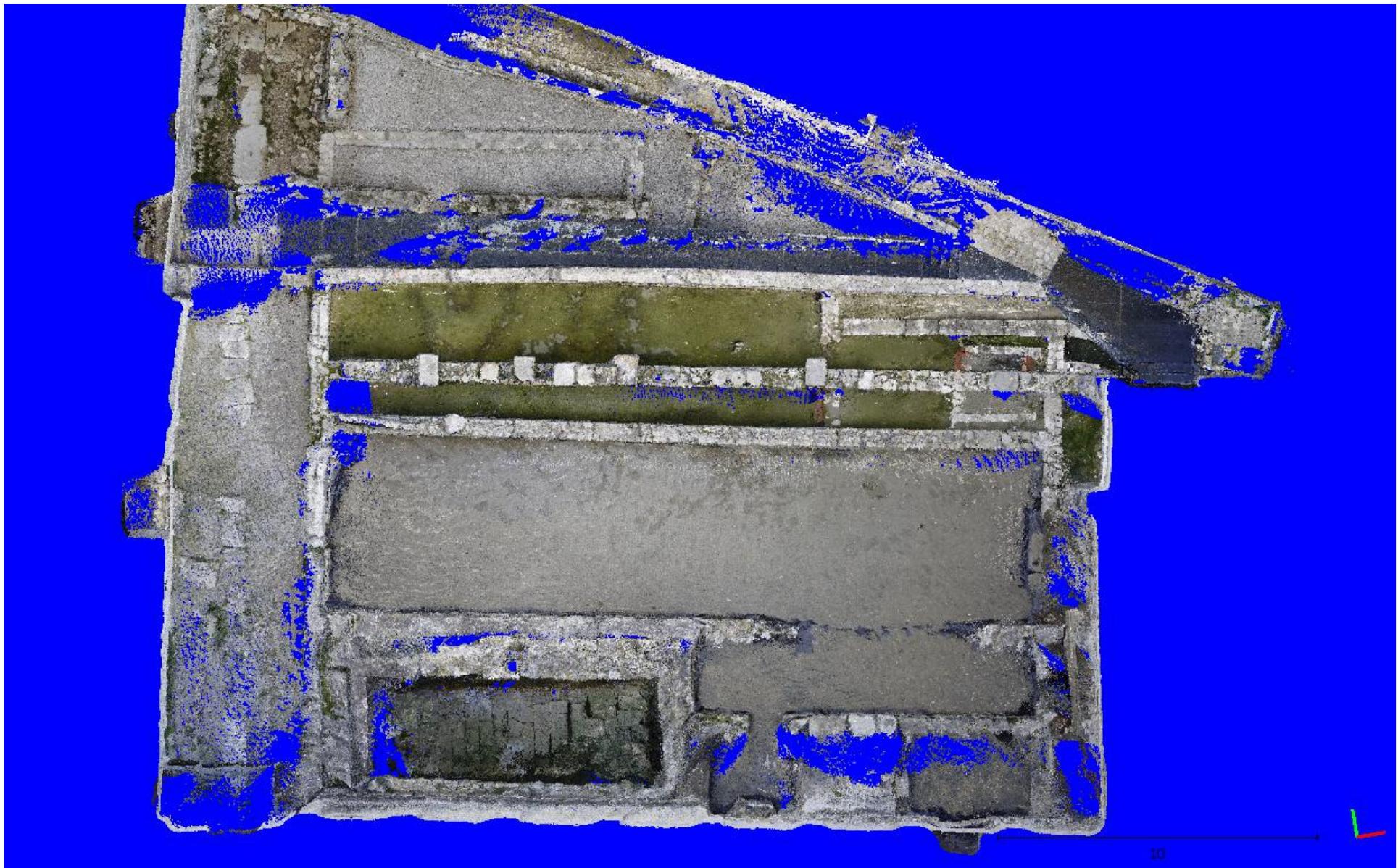
Razina vode - absolutna



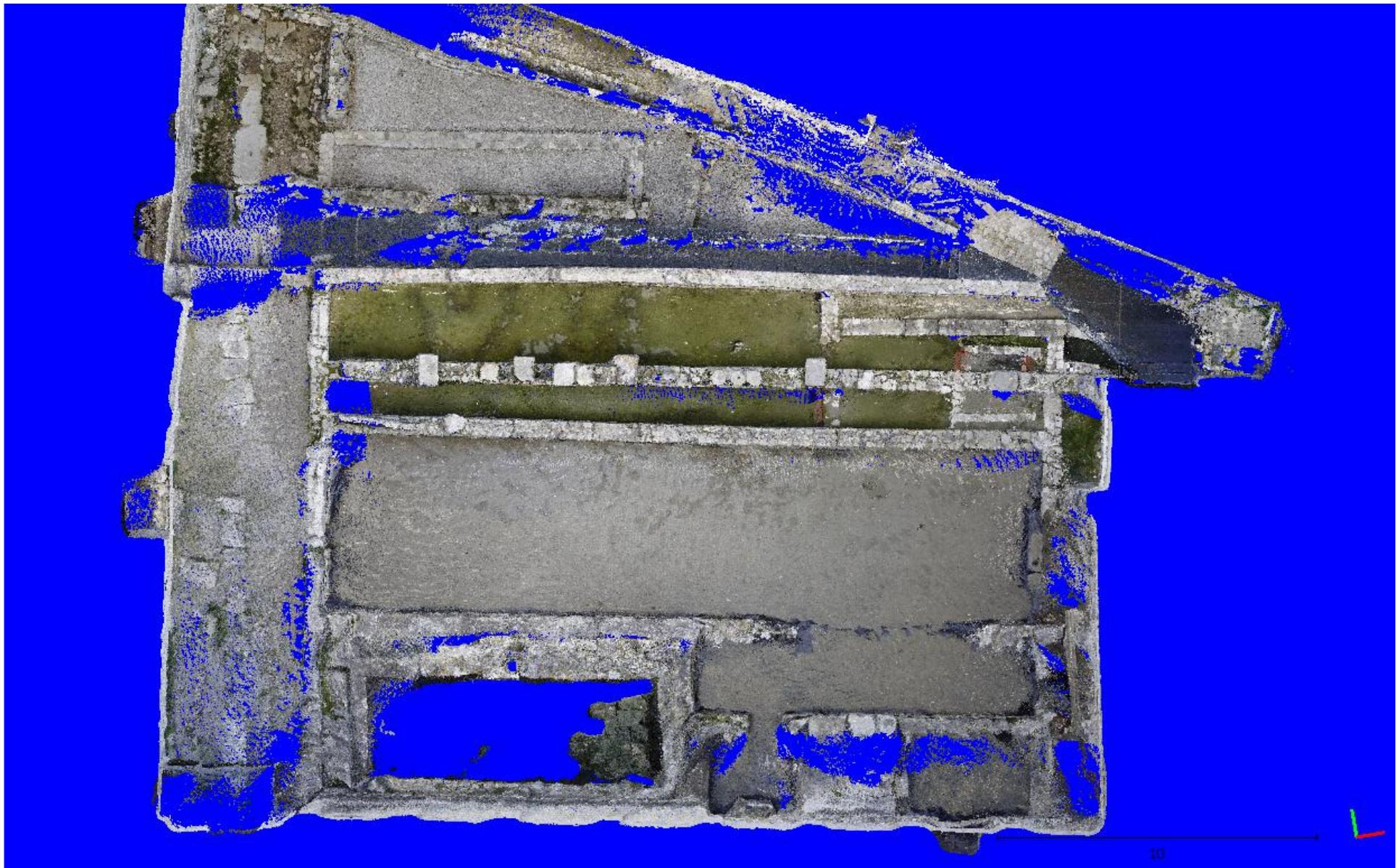
Maksimalna zabilježena razina: +119,0 cm n.m.



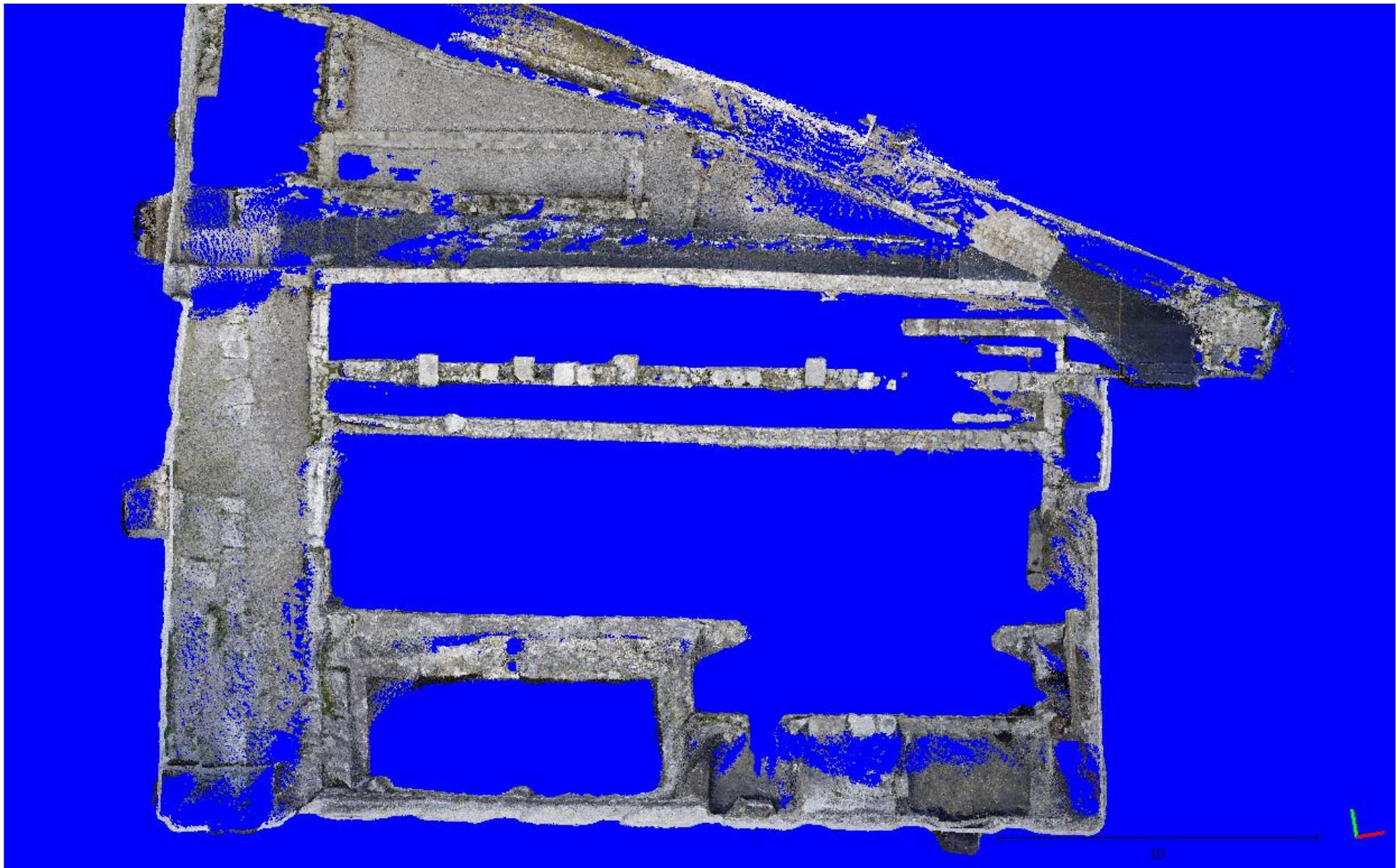
Simulacija plavljenja za razinu vode: 0325 mm



Simulacija plavljenja za razinu vode: 0,50 mm



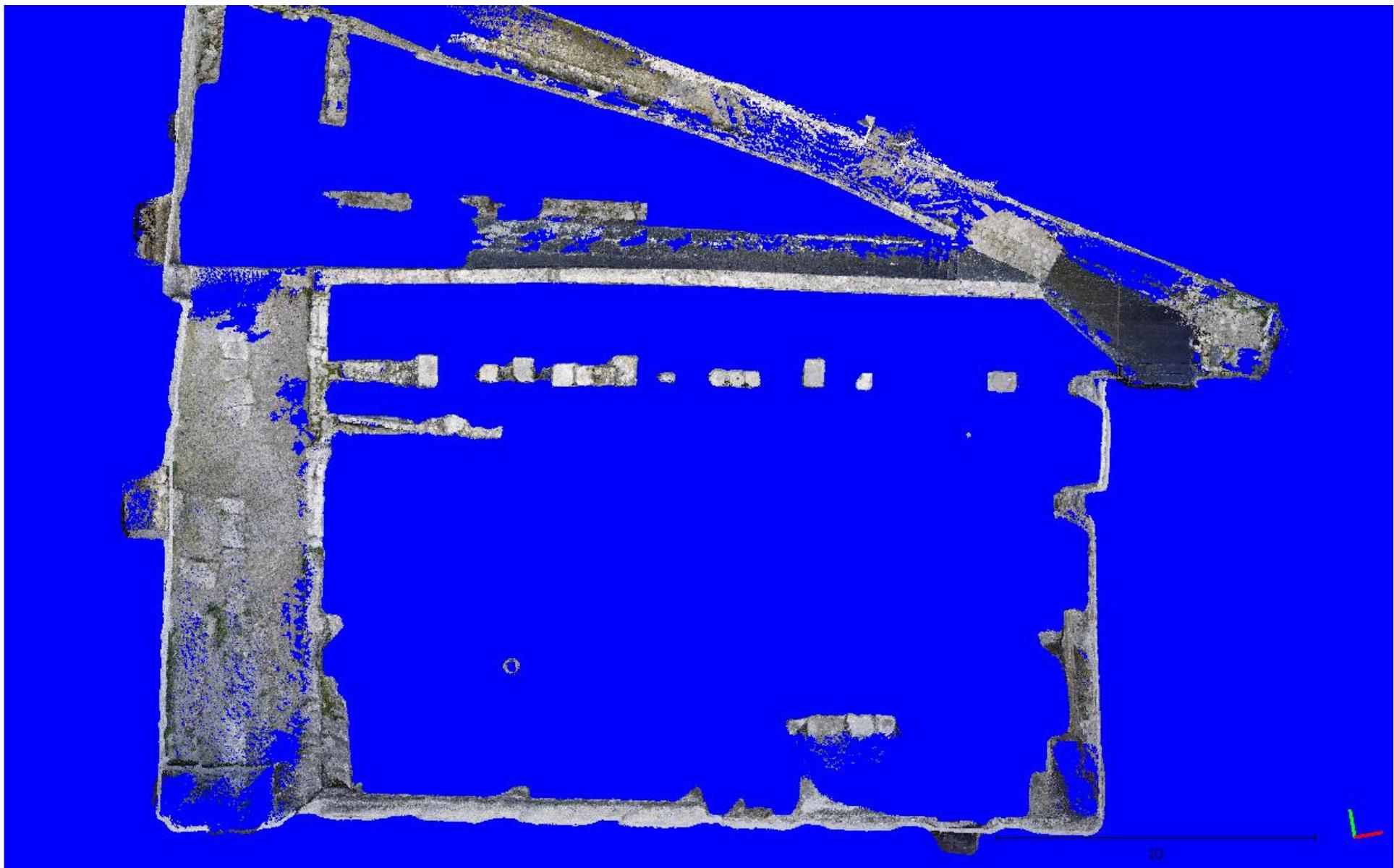
Simulacija plavljenja za razinu vode: 0,75 mm



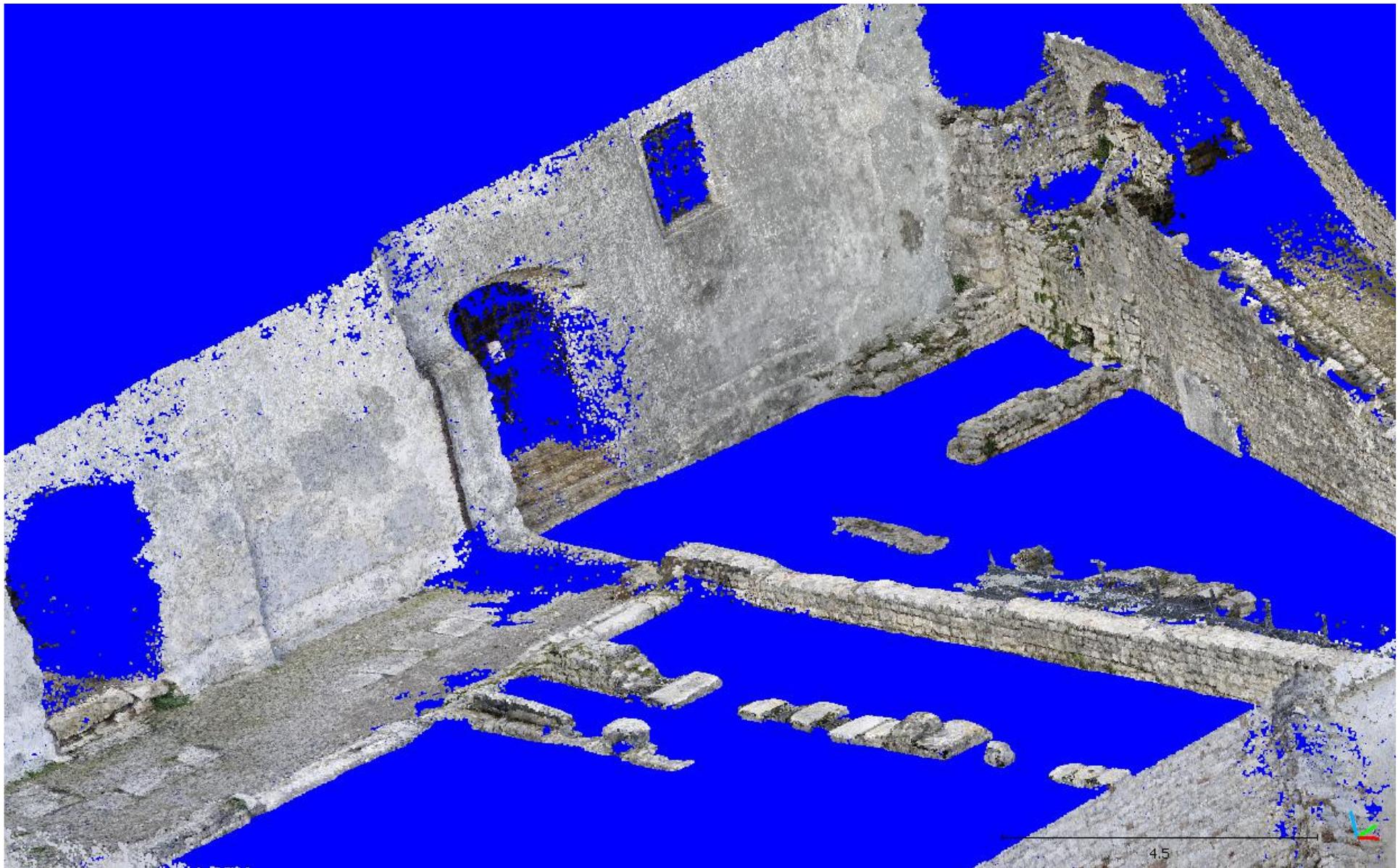
Simulacija plavljenja za razinu vode: 1,25 mm



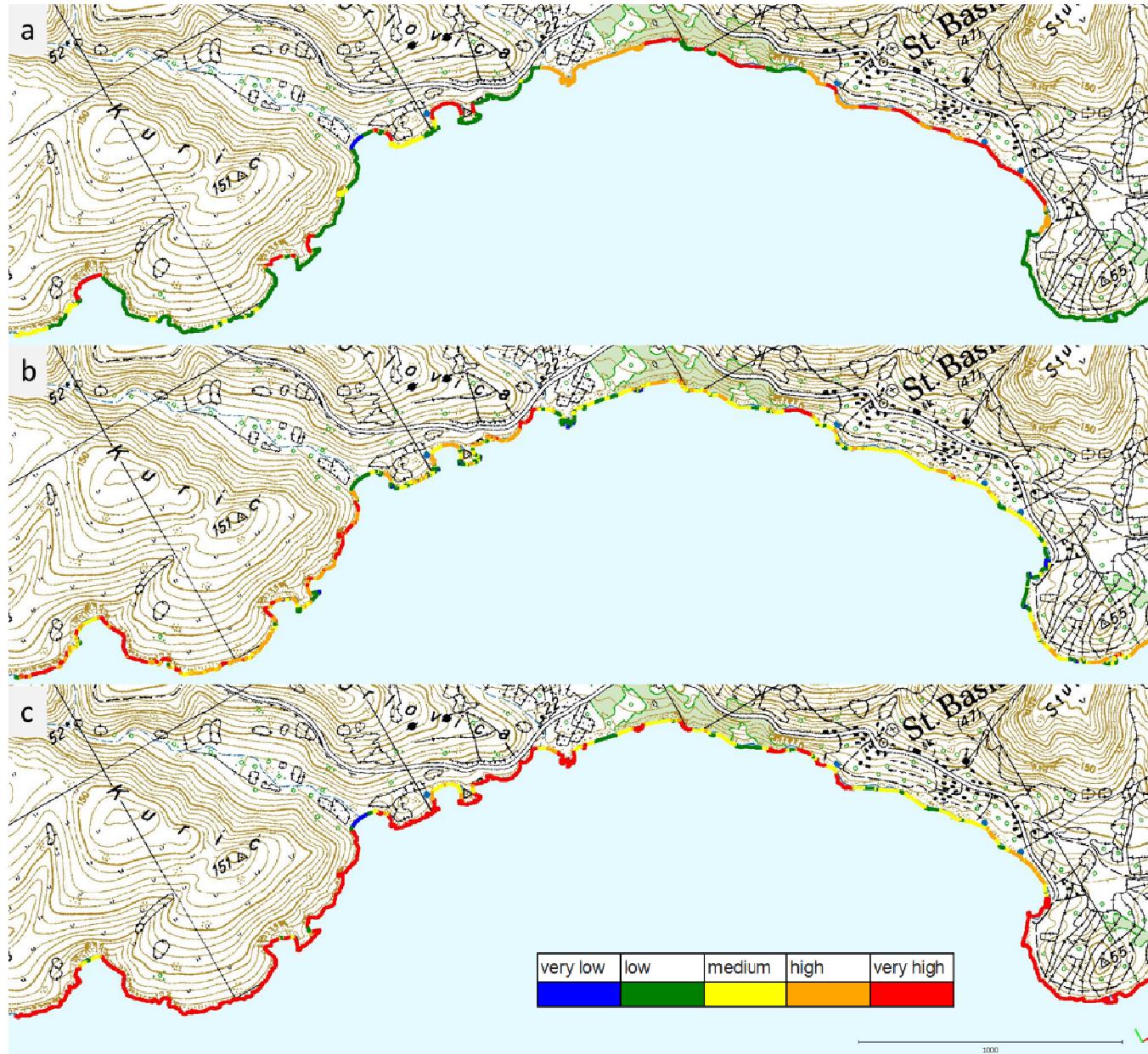
Simulacija plavljenja za razinu vode: 1,35 mm

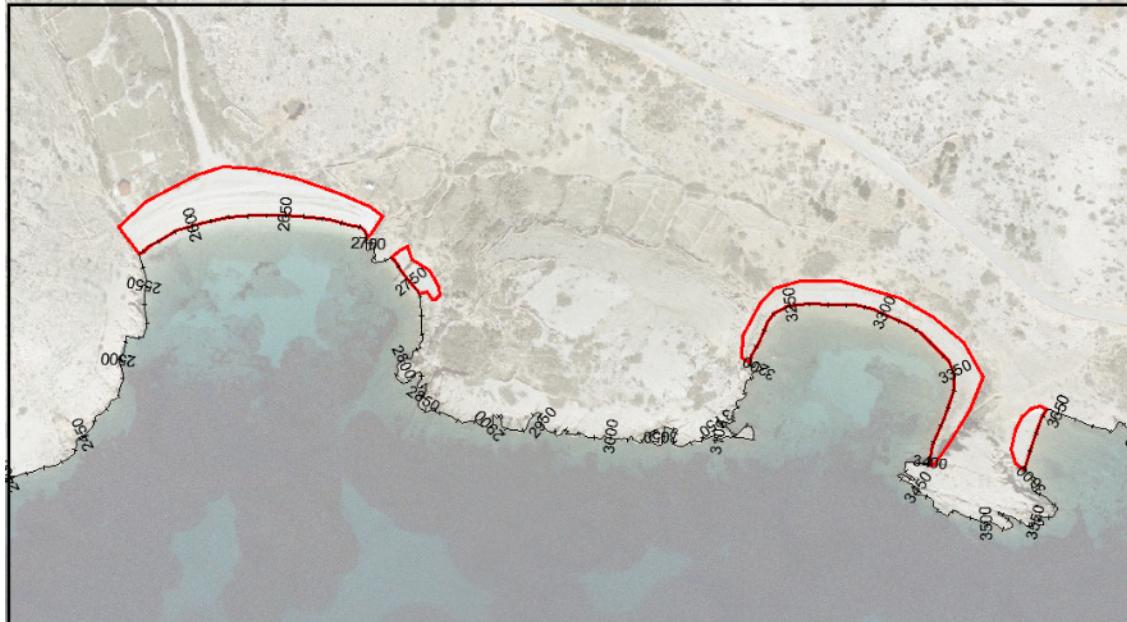


Simulacija plavljenja za razinu vode: 1,35 mm

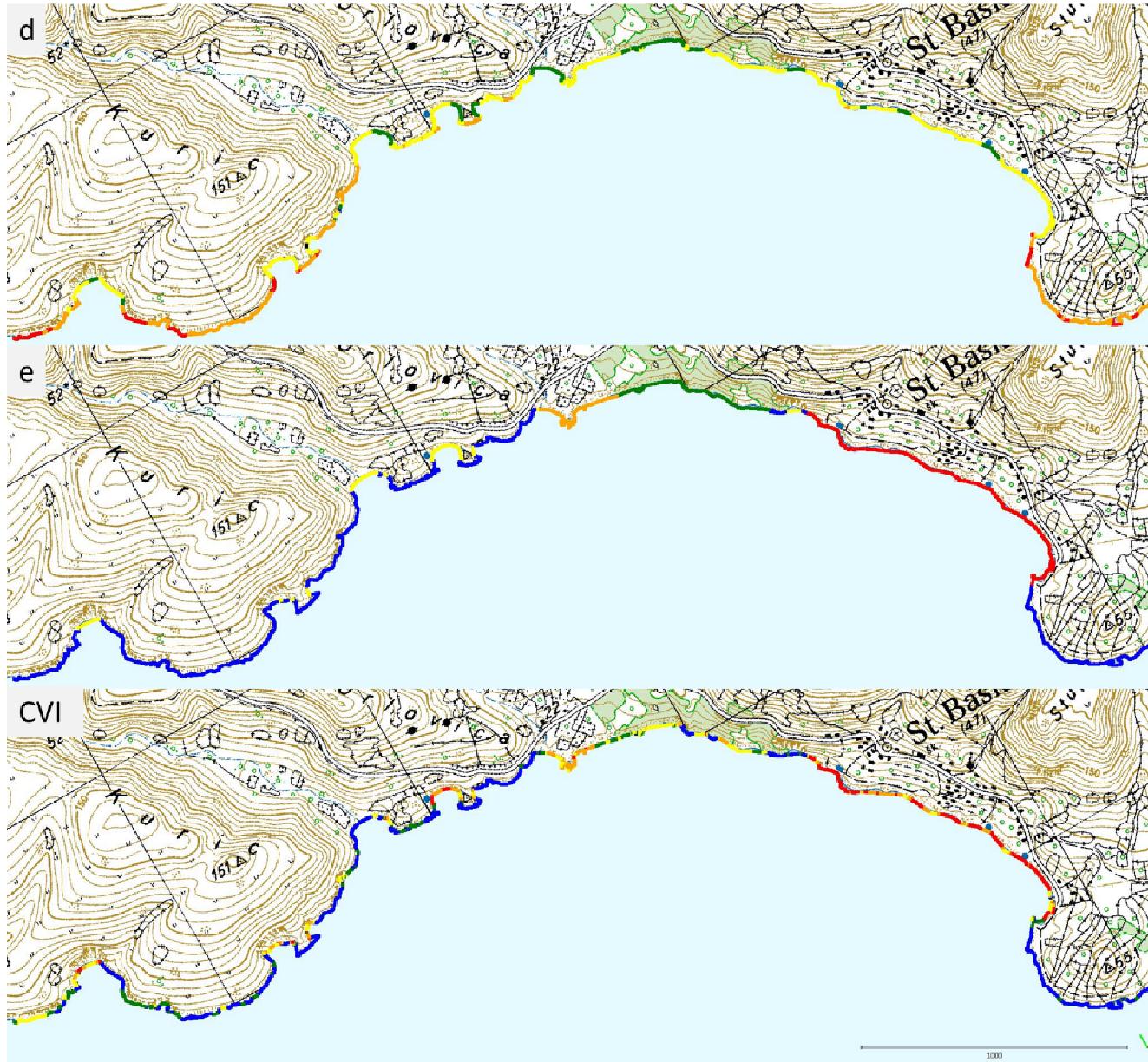


Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije

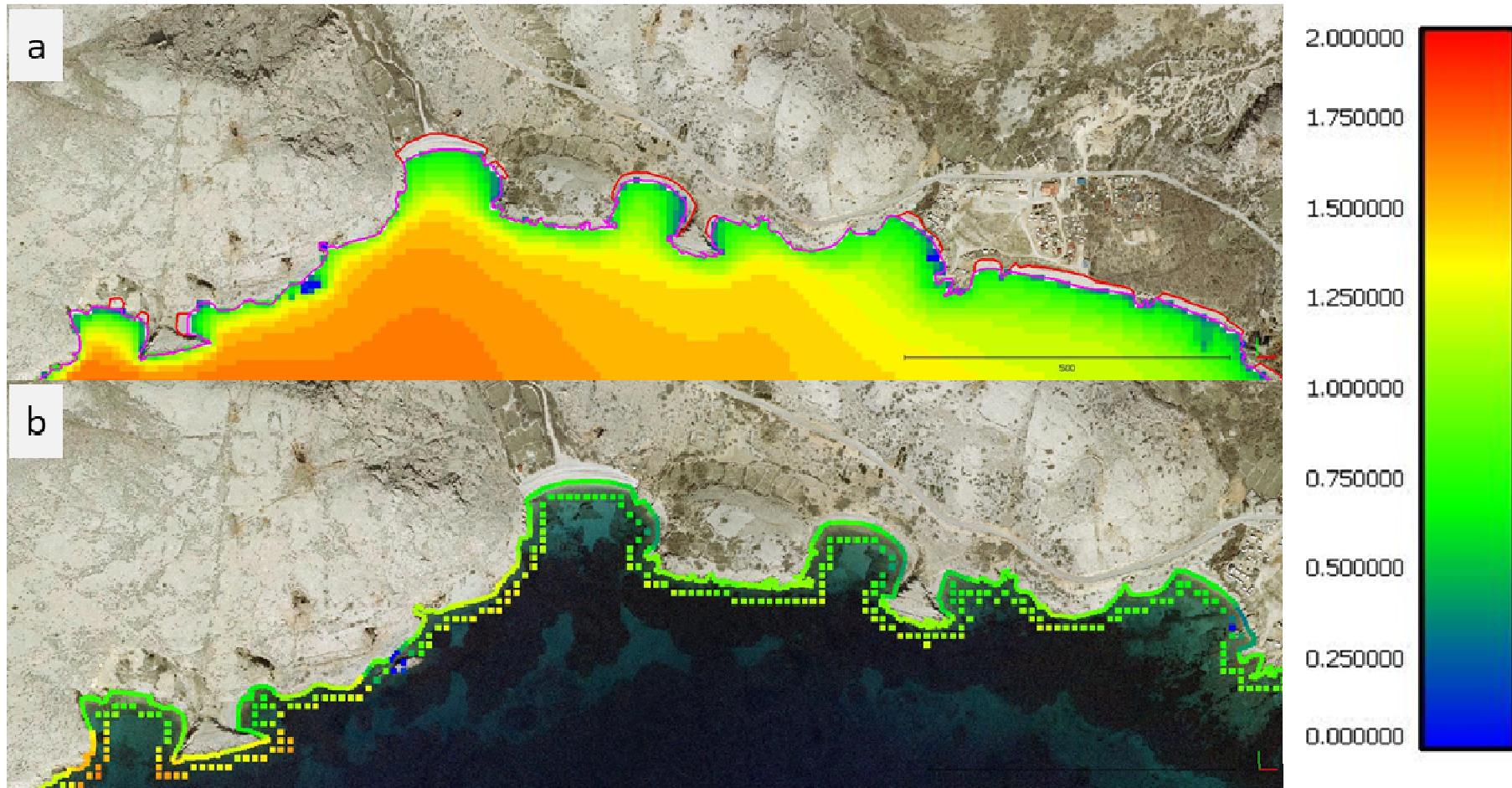




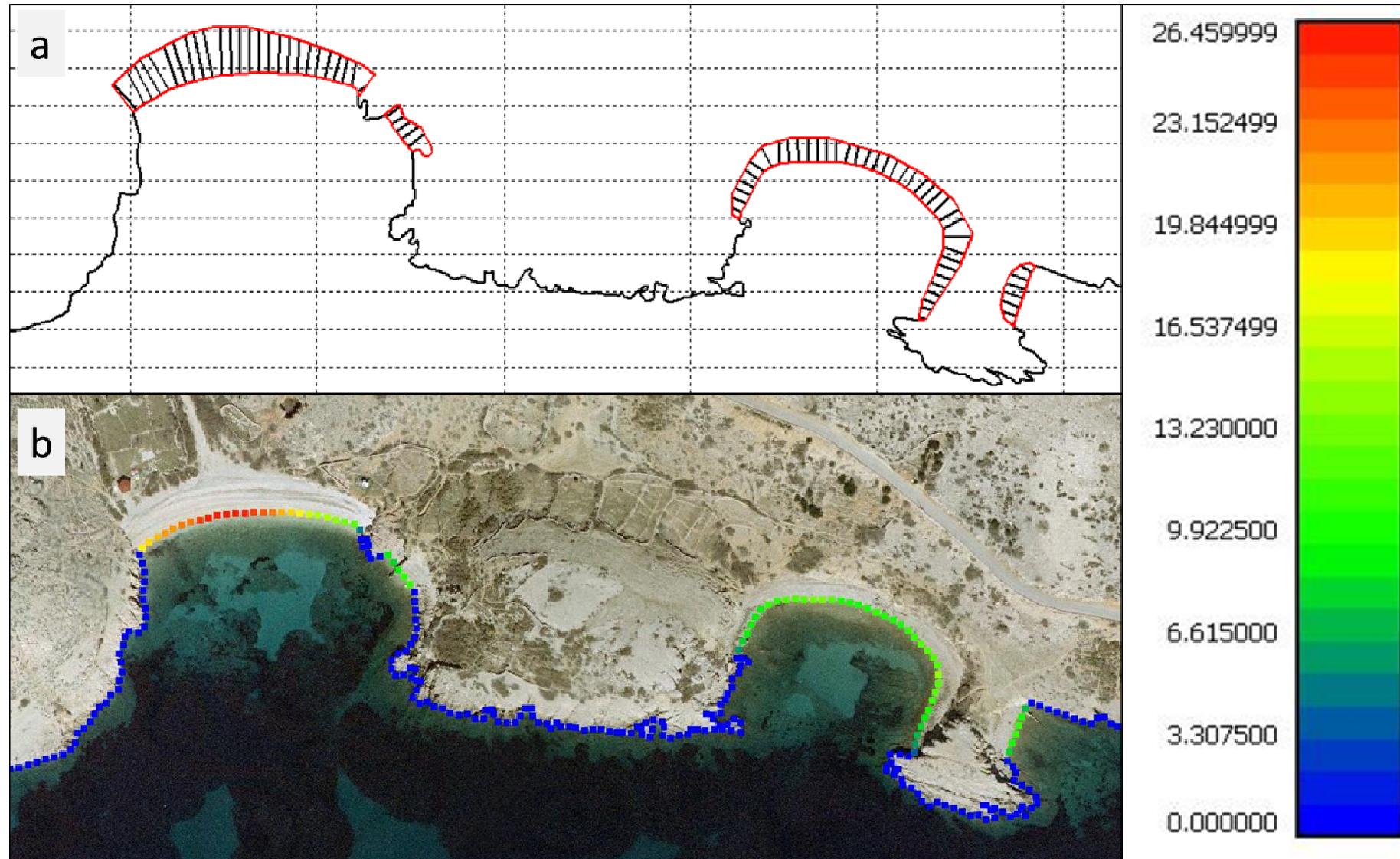
Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije



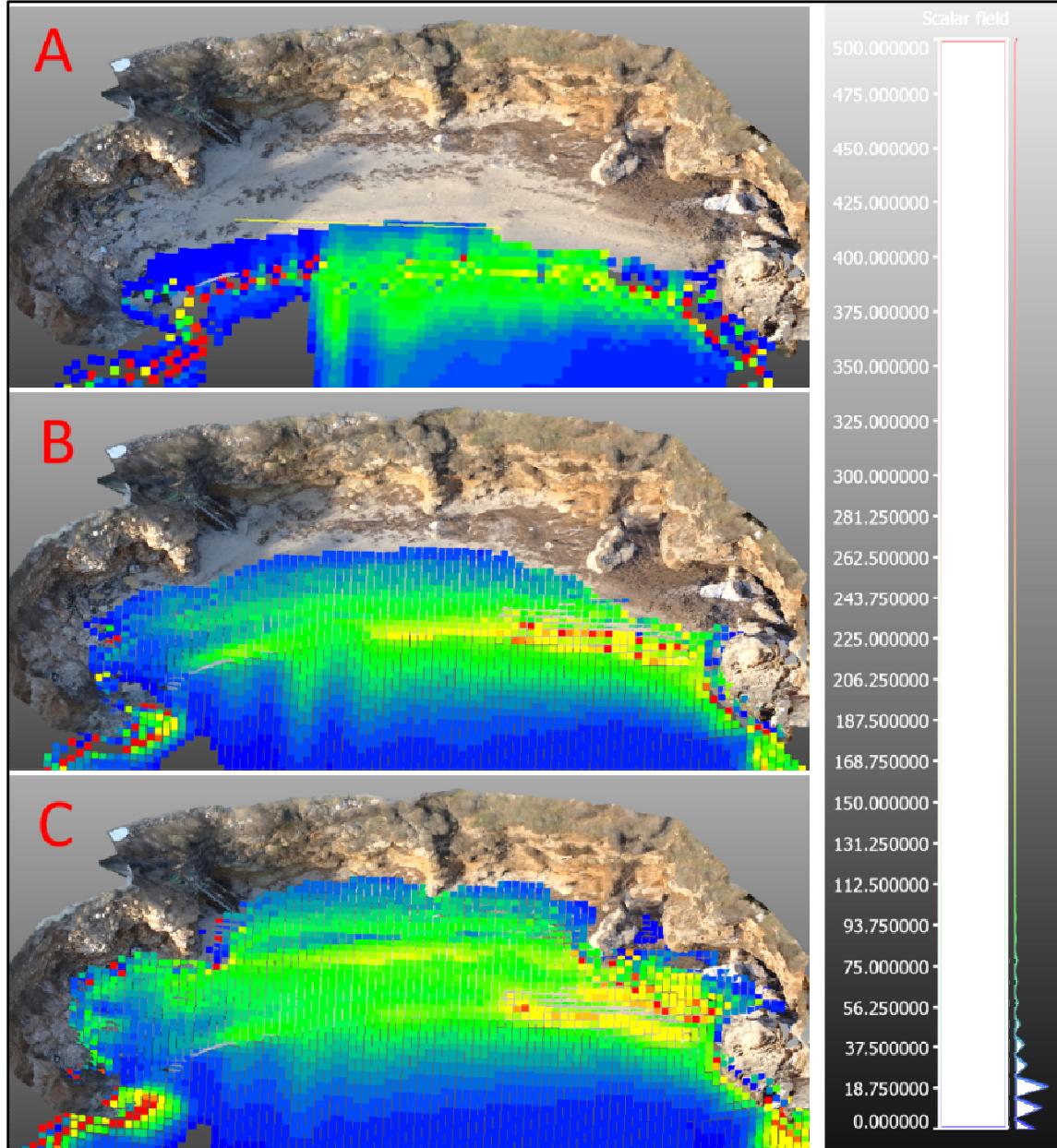
Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije



Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije

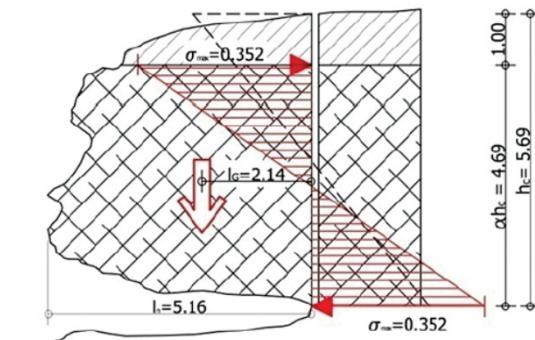
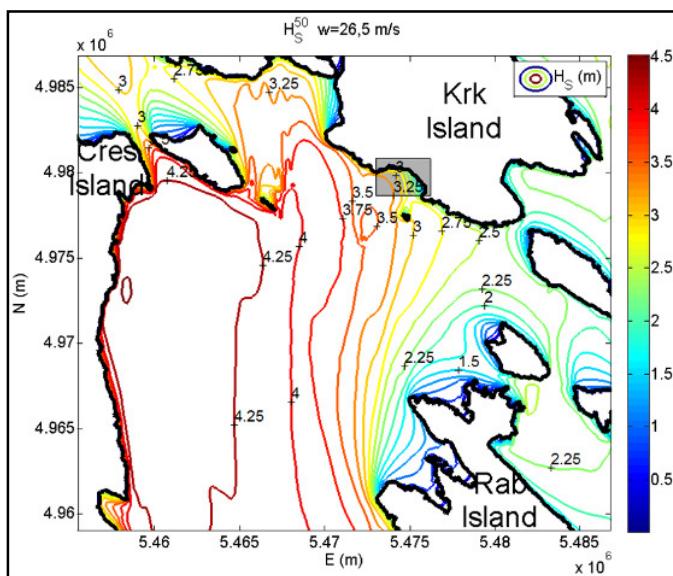
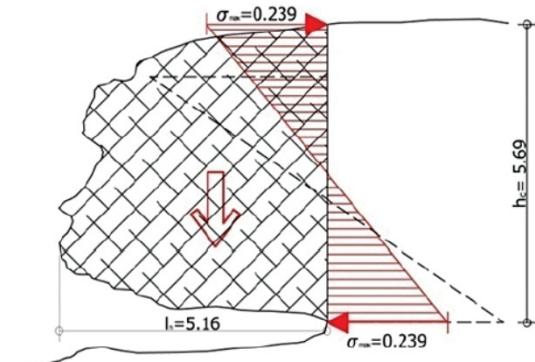
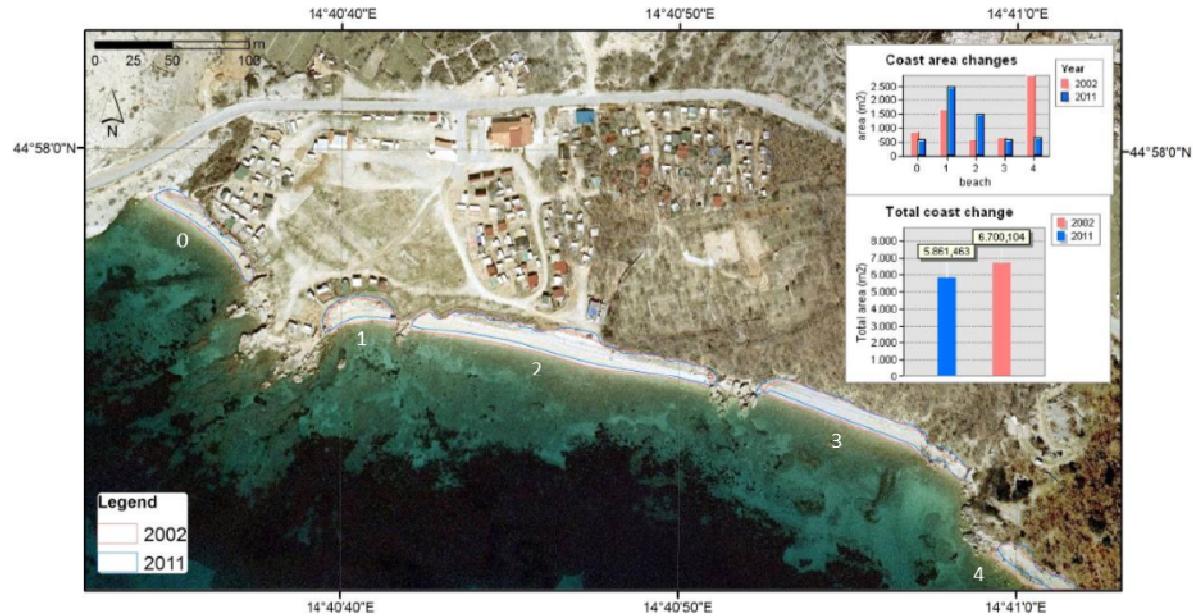


Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije



Djelovanje valova na obalu u slučaju povećanja morske razine
A) MR=0,50 m
B) MR=1,00 m
c) MR=1,30 m

Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije



Na plaži Sablićevo (Pećine, Rijeka) dolazi do odrona stjenske mase – opasnost za korisnike plaže



PEĆINE

FOTO ODRON NA PLAŽI SABLICEVO

Oprez! Odlomili se veliki komadi stijene

Autor: P. N.

Objavljeno: 1. prosinac 2018. u 14:13

A+ A- E-mail Print

Veliki komadi stijene pali su na plažu, na kojoj srećom u tom trenutku nije bilo nikoga

Na plaži Sablićevo na riječkim Pećinama došlo je do odrona, kako nam javlja jedan od čitatelja.

Veliki komadi stijene pali su na plažu, na kojoj srećom u tom trenutku nije bilo nikoga.

Riječka plaža Sablićevo na Pećinama uvrštena je proteklog ljeta na popis 40 najljepših hrvatskih plaža, prema izboru vodećega portala o Hrvatskoj na engleskom jeziku Croatia Week.



Foto Staša Sobolevski / Facebook

Pogledaj sve iz: Rijeka >

Pogledaj sve vijesti >

Tweetaj

0
Sviđa mi se

Podjeli

VEZANO

ČLANCI

- > Vozaci oprez: Ogromna stijena odronila se na Kupskoj magistrali i polomila stabla
- > Hrvatska vojska pet dan pomaže u obrani od poplava, angažirano više od stotinu vojnika
- > Dvoje mrtvih, tisuće evakuiranih zbog poplava i odrona u južnoj Kaliforniji

ČITATE KOMENTIRATE SVIDA VAM SE

24 sata

7 dana

Preko noći zapalili "Otvoreni ormar", odjeću za siromašne: Ljudi, srce mi je puklo i ne mogu se više boriti

DESETLJEĆE OD VELIKE TRAGEDIJE
Riječani se prisjećaju Simke: 'Da se više nikad ne ponovi'

Hrvatska voditeljica oduševila obožavatelje objavom: 'Jest da sam zaboravila hlače, al...'

Isti dan kad i Matanićev, objavljen "alternativni" spot za EPK 2020, ali više nije dostupan na YouTubeu

AKO OVO NE URODI PLODOM... Ministar otkrio uvjete pod kojima će za dva mjeseca zatvoriti Marisciću

ULJANIK IPAK IDE U STEČAJ? Ovo bi mogao biti kraj. Premijer Plenković odbio Debeljakovu ponudu za restrukturiranje

FAUSTO BUDICIN: Nitko sretniji od mene ako uđemo u Drugu HNL

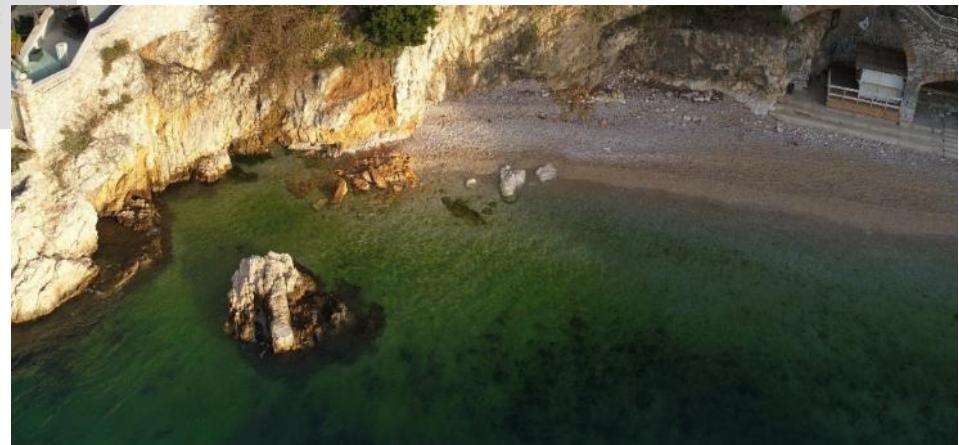
Pretraži članke >



Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije



Analiza ugroženosti obale – Cosatal Vulnerability Index (CVI) – korištenje 3D tehnologije



**Gradjevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu &
Lancaster University Environment Centre**

Održiva gradnja plaža – gradnja novih i povećanje kapaciteta postojećih plaža (BEACHEX 2019-2023)

GEODETSKO PRAĆENJE EROZIJE PLAŽE PLOČE (KANTRIDA, RIJEKA) U PERIODU SIJEČNJ- OŽUJAK 2020.

**doc.dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.grad.
Gradjevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci**

Projekt financiran iz Programa „Znanstvena suradnja“ Hrvatske zaklade za znanost, koji je financirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda u sklopu Operativnog programa Učinkoviti ljudski potencijali 2014.-2020.

Uvod

- U prvom kvartalu 2020. provedeno je:
 - devet mjerena plaže Ploče pomoću bespilotne letjelice
 - jedno mjerenje 3D skenerom (verifikacija modela)
 - jedno mjerenje batimetrije pomoću plovila
- Mjerena su proveli:
 - Geodetski zavod Rijeka (**GZR**)
 - Građevinski fakultet Rijeka (**GradRi**)
- Cilj snimanja je analiza morfoloških promjena žala

Uvod

- Snimljeni su 3D oblaci točaka i digitalna orto-foto karta plaže, te podmorski snimak (batimetrija)
- Snimanja su provedena pomoću bespilotne letjelice (UAV) korištenjem SfM fotogrametrije i sonara
- Analizirane su nastale promjene

Uvod: Fotogrametrija

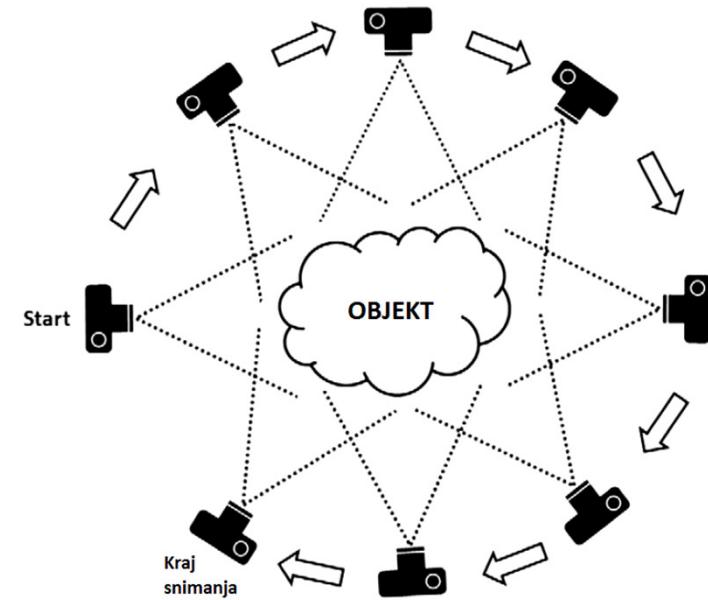
- ***Structure from Motion*** (SfM) fotogrametrija za istraživanja žala u priobalju Hrvatske sustavno se koristi od 2012. godine (James et al., 2013.; Ružić et al., 2014., 2015.; Pikelj et al., 2017 a.).
- Korištenje trodimenzionalnih oblaka točaka visoke razlučivosti i preciznosti sve je važnije u analizama i tumačenju morfoloških promjena i procesa na žalima.
- SfM algoritam baziran je na sličnim principima kao i klasična stereoskopska fotogrametrija, bez potrebe za skupom i kalibriranim fotografskom opremom, velikog broja poznatih kontrolnih točaka i njihovim označavanjem tijekom obrade.
- Osnovna razlika SfM algoritama i klasične fotogrametrije je u automatskom generiranju snimljene geometrije i lokacija kamere, koristeći iterativni postupak podešavanja koji se zasniva na bazi podataka o sceni, automatski generiranih iz niza fotografija (Snavely et al., 2008.).

Uvod: Fotogrametrija

- Fotogrametrija je tehnika mjerena pomoću koje se iz fotogrametrijskih snimki dobivaju oblik, veličina i položaj snimljenog objekta.
- Dijeli se na: aerofotogrametriju, terestričku fotogrametriju, orbitalnu fotogrametriju i ekstra-terestričku fotogrametriju.
- Koriste se: mjerne kamere, djelomično mjerne kamere i amaterske kamere.
- Fotogrametrija omogućava rekonstruiranje objekata i utvrđivanje njihovih značajki bez izravnog kontakta. Taj način dobivanja informacija naziva se daljinskim istraživanjem (*remote sensing*).

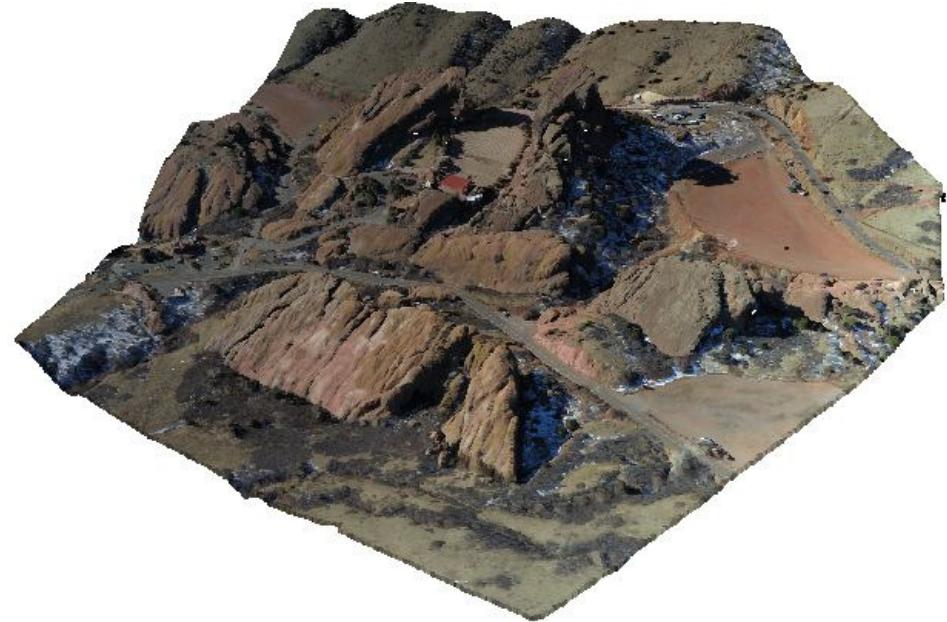
Uvod: Fotogrametrija

- SfM (*Structure from Motion*) fotogrametrijska metoda određuje poziciju kamere i geometriju objekta simultano i automatski
- Kako bi točka na fotografiji bila prepoznata i povezana mora se nalaziti na najmanje tri fotografije snimljene iz različitih kutova
- SfM algoritam generira oblak točaka



Uvod: 3D Point Cloud – 3D oblak točaka

- Oblak točaka predstavlja skup trodimenzionalnih točaka u prostoru (XYZ), pomoću kojih se može dobiti realističan trodimenzionalni prikaz nekog objekta. Oblak točaka može sadržavati i podatak o boji točke (RGB).
- Produkt procesa 3D skeniranja
- Mogu se dobiti pomoću: laserskog i optičkog radara, fotogrametrije



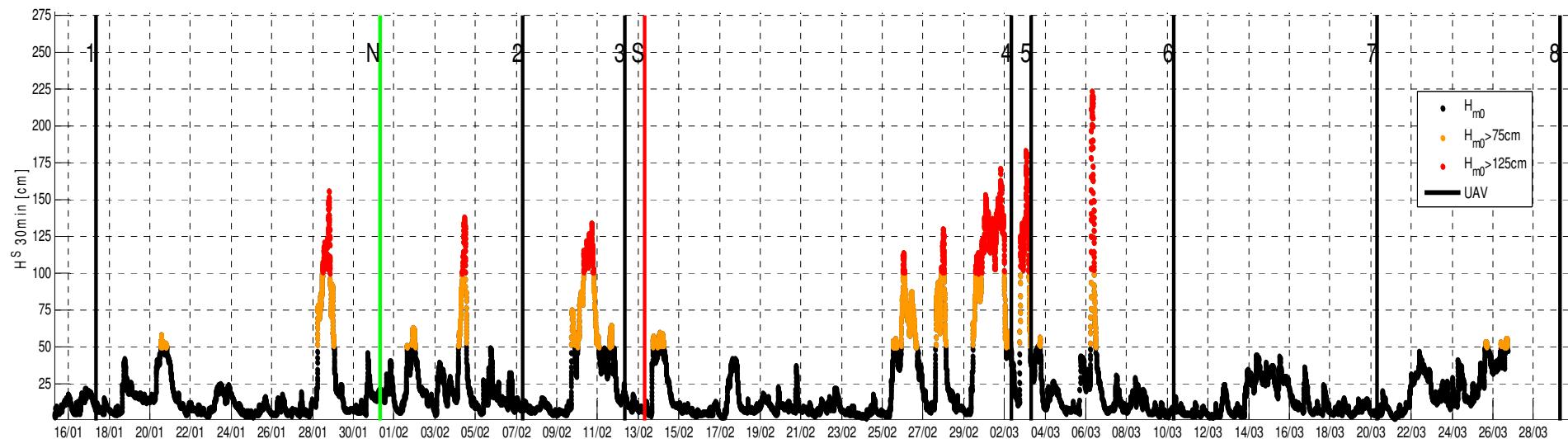
Pregled provedenih mjeranja

U periodu od siječnja do ožujka 2020. godine provedeno je 8 uzastopnih mjeranja morfologije plaža ploče

R. Br.	Datum snimanja	Oznaka mjerena	Mjerio	Napomena	3D oblak točaka	Digitalni ortofoto
1	17.1.2020.	UAV_01	GZR	OK	UAV_01	P_01_ortho.tif
2	7.2.2020.	UAV_02	GZR	OK	UAV_02	P_02_ortho.tif
3	12.2.2020.	UAV_03	GZR	OK	UAV_03	P_03_ortho.tif
	13.2.2020.	SCAN_01	GradRi	OK	SCAN_01	
4	2.3.2020.	UAV_04	GradRi	ispod MR nije snimljeno, voda teče, mutno more, val	UAV_04	P_04_ortho.tif
5	3.3.2020.	UAV_05	GradRi	Ispod MR samo dio snimljen, val, teče voda, malo mutno	UAV_05	P_05_ortho.tif
6	10.3.2020.	UAV_06	GradRi	OK	UAV_06	P_06_ortho.tif
7	20.3.2020.	UAV_07	GradRi	OK	UAV_07	P_07_ortho.tif
8	29.3.2020.	UAV_08	GradRi	Valovi od tramontane; mali, ali smetaju za bat,	UAV_08	P_08_ortho.tif

Mjerenja su provedena između događaja za koje se pretpostavlja da su najviše utjecali na promjenu morfologije žala:

- nasipavanje žala
- olujna nevremena
- istjecanje slatkih voda



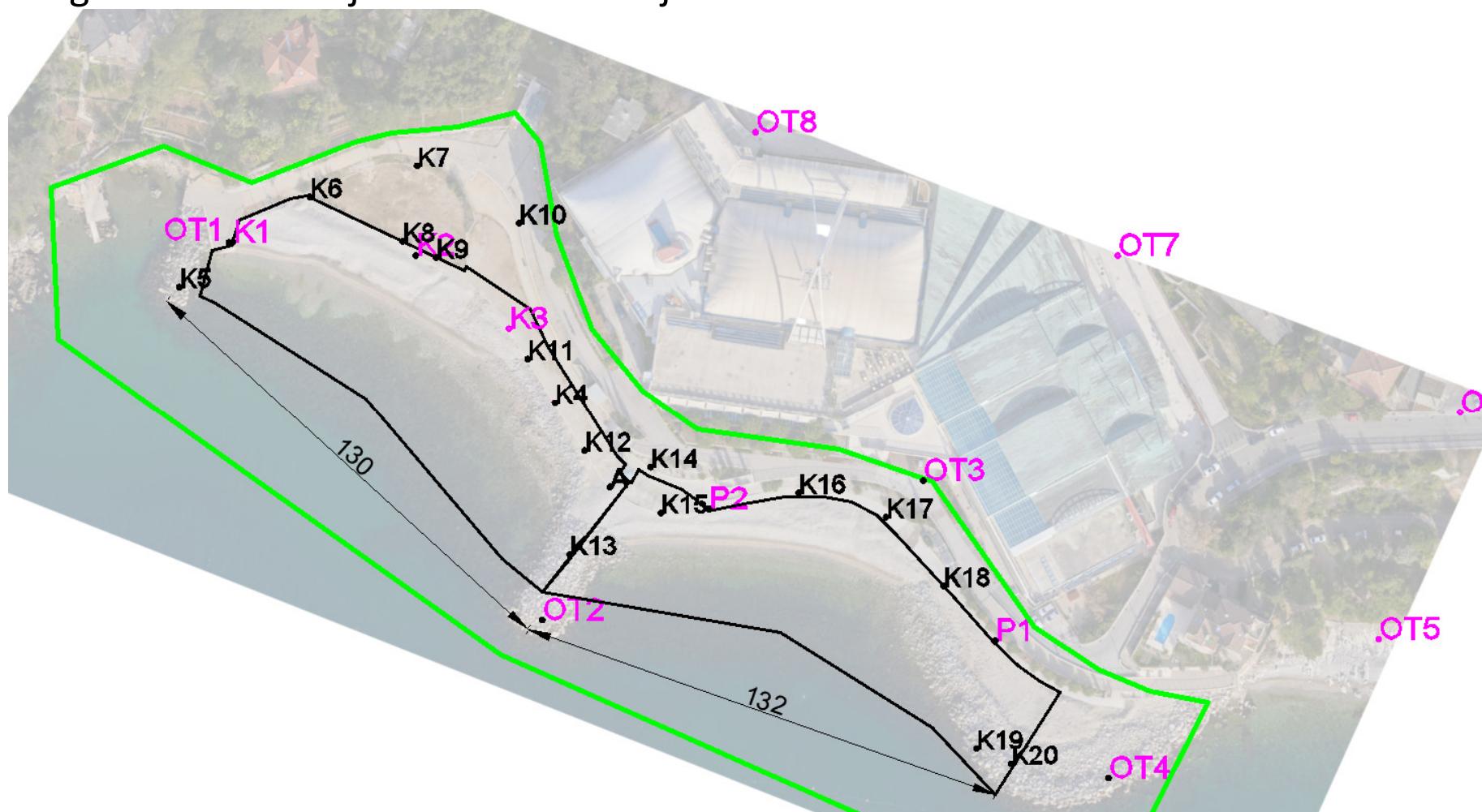








Uspostava sustava fiksnih referentnih točaka (GCP) za georeferenciranje modela snimanja



GradRi: DJI Phantom 4

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 μm



GZR: DJI Matrice 600

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size
ILCE-7RM4, Sony FE 28mm F2 (SEL28F20) (28mm)	9504 x 6336	28 mm	3.79 x 3.79 μm



UAV_07_GradRI_report

Processing Report
03 April 2020

Survey Data

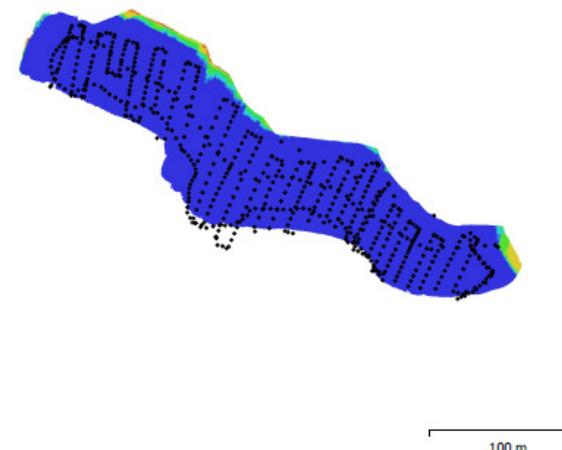


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	667	Camera stations:	613
Flying altitude:	31.3 m	Tie points:	294,521
Ground resolution:	7.87 mm/pix	Projections:	1,465,854
Coverage area:	0.0214 km ²	Reprojection error:	0.629 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 µm	No

Table 1. Cameras.

Ground Control Points

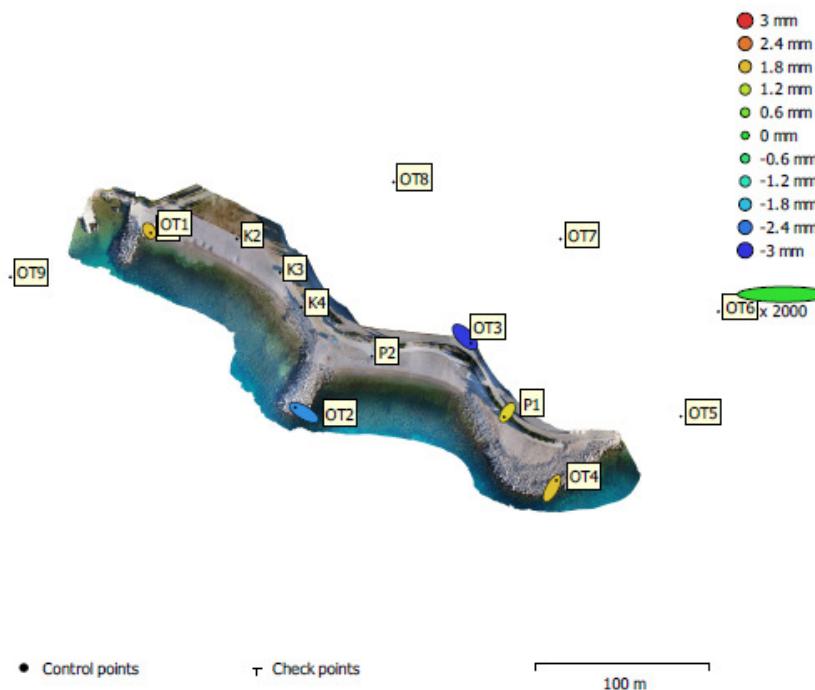


Fig. 3. GCP locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	XY error (mm)	Total (mm)
5	3.05152	3.17202	2.09911	4.40153	4.87645

Table 2. Control points RMSE.

28.1.2020. UAV_01



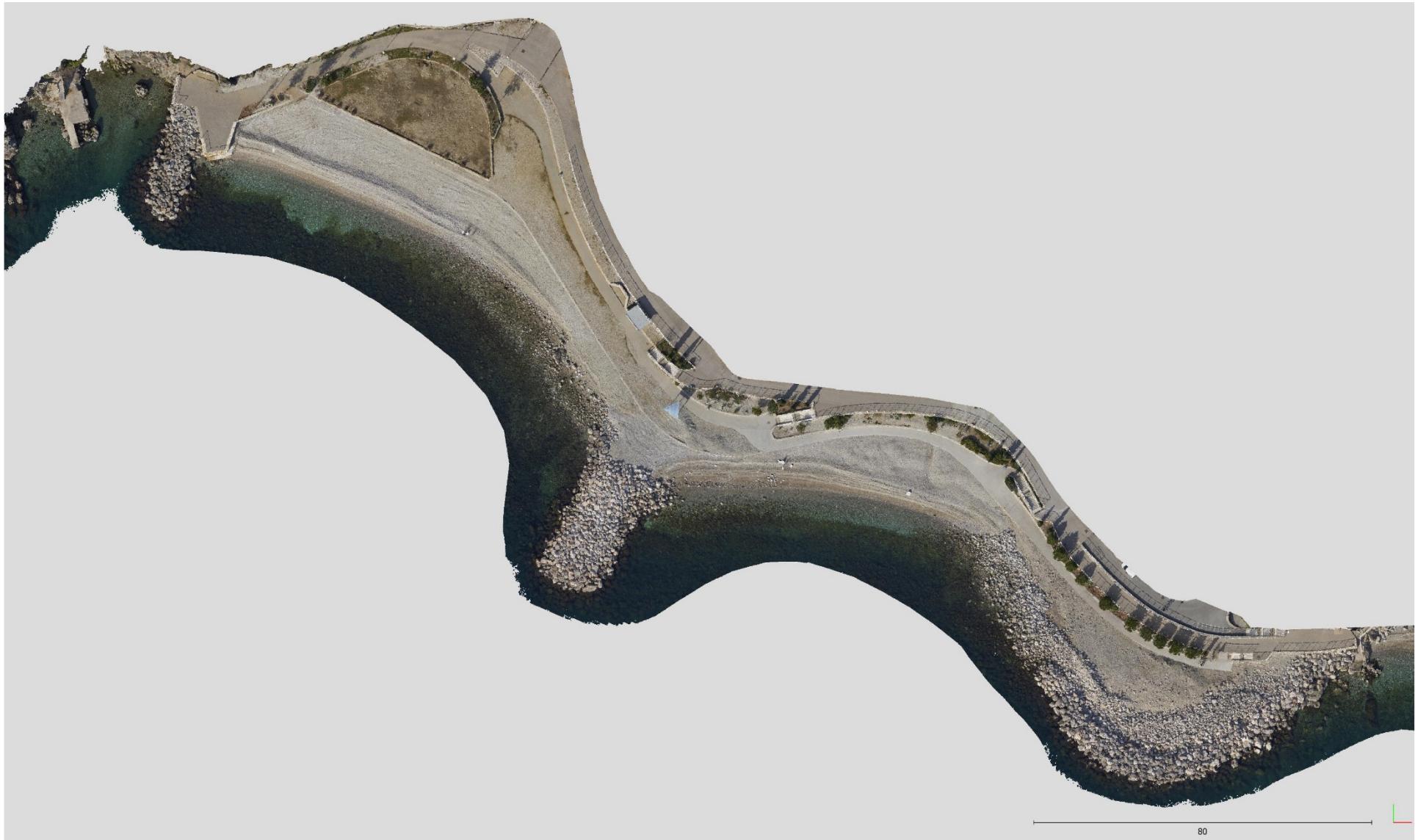
Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

7.2.2020. UAV_02



Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

12.2.2020. UAV_03



Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

2.3.2020. UAV_04



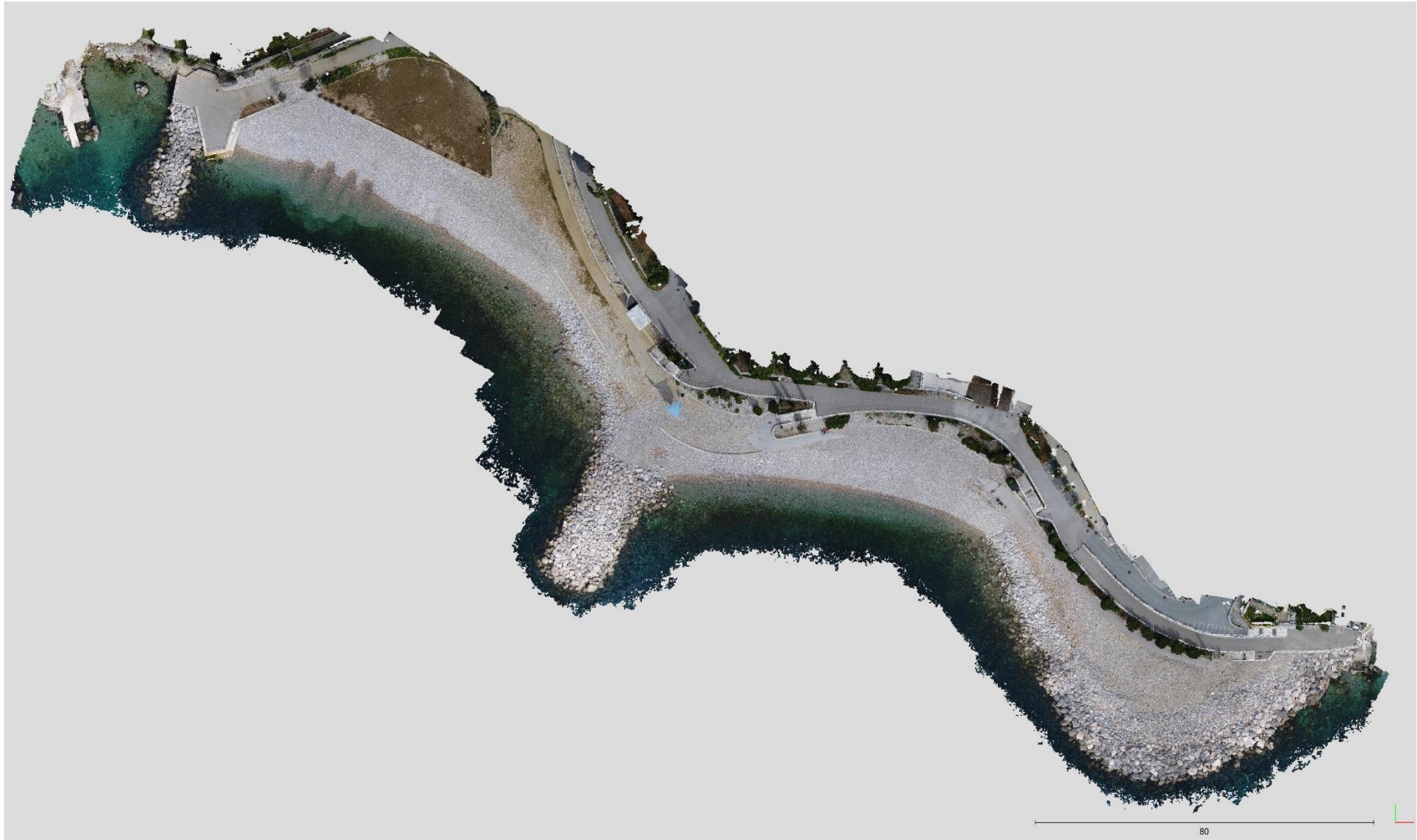
Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

3.3.2020. UAV_05



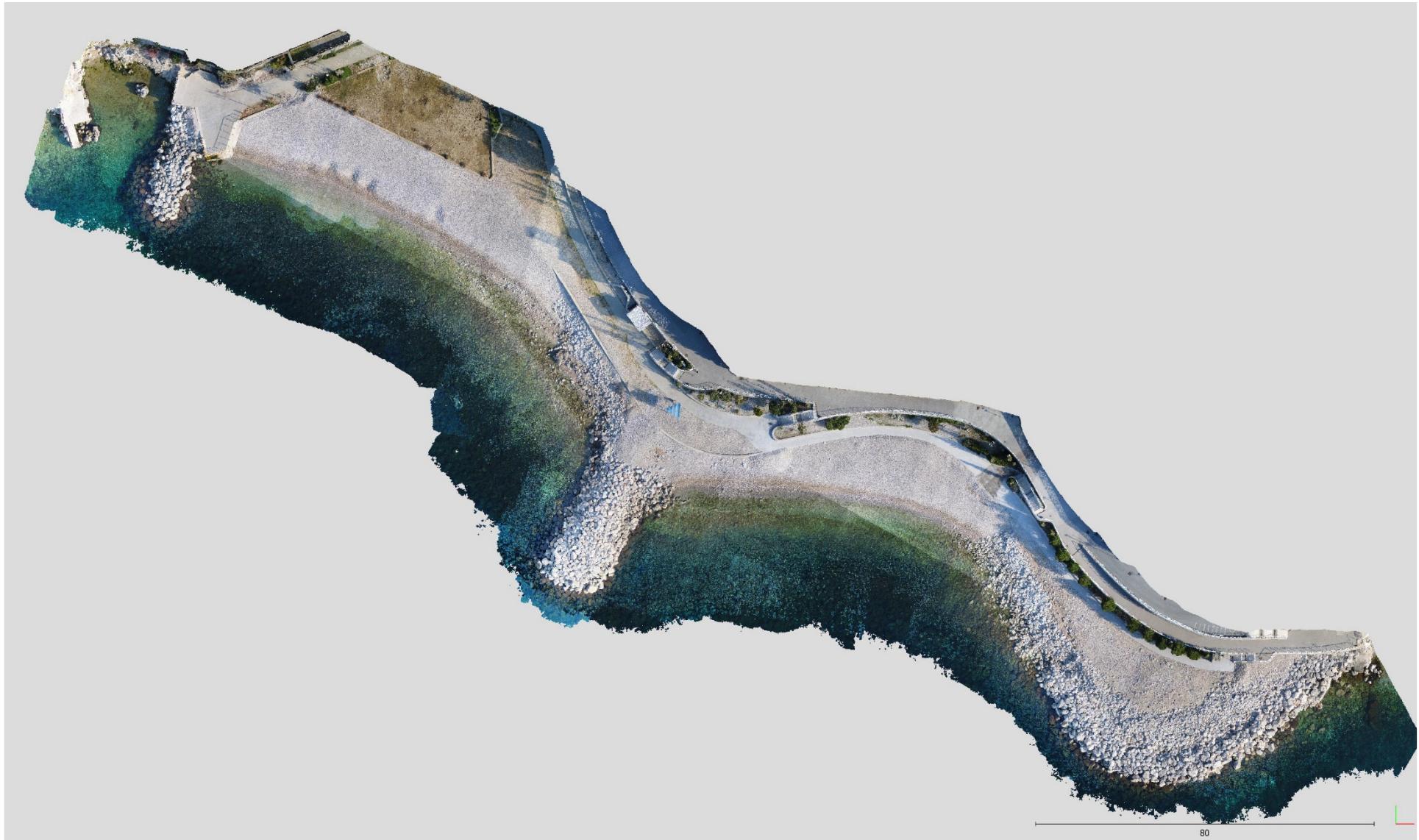
Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

10.03.2020. UAV_06



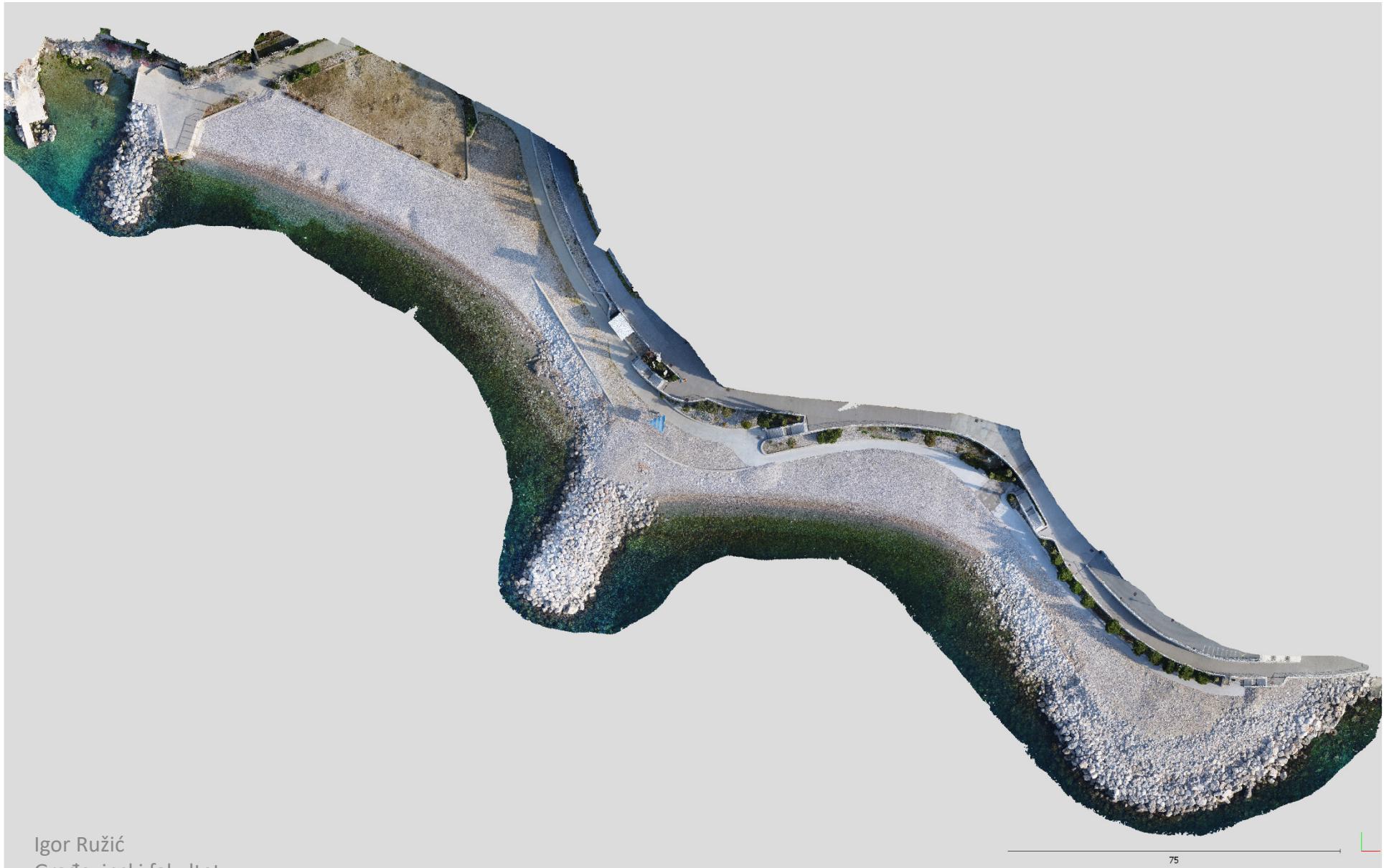
Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

20.03.2020. UAV_07



Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

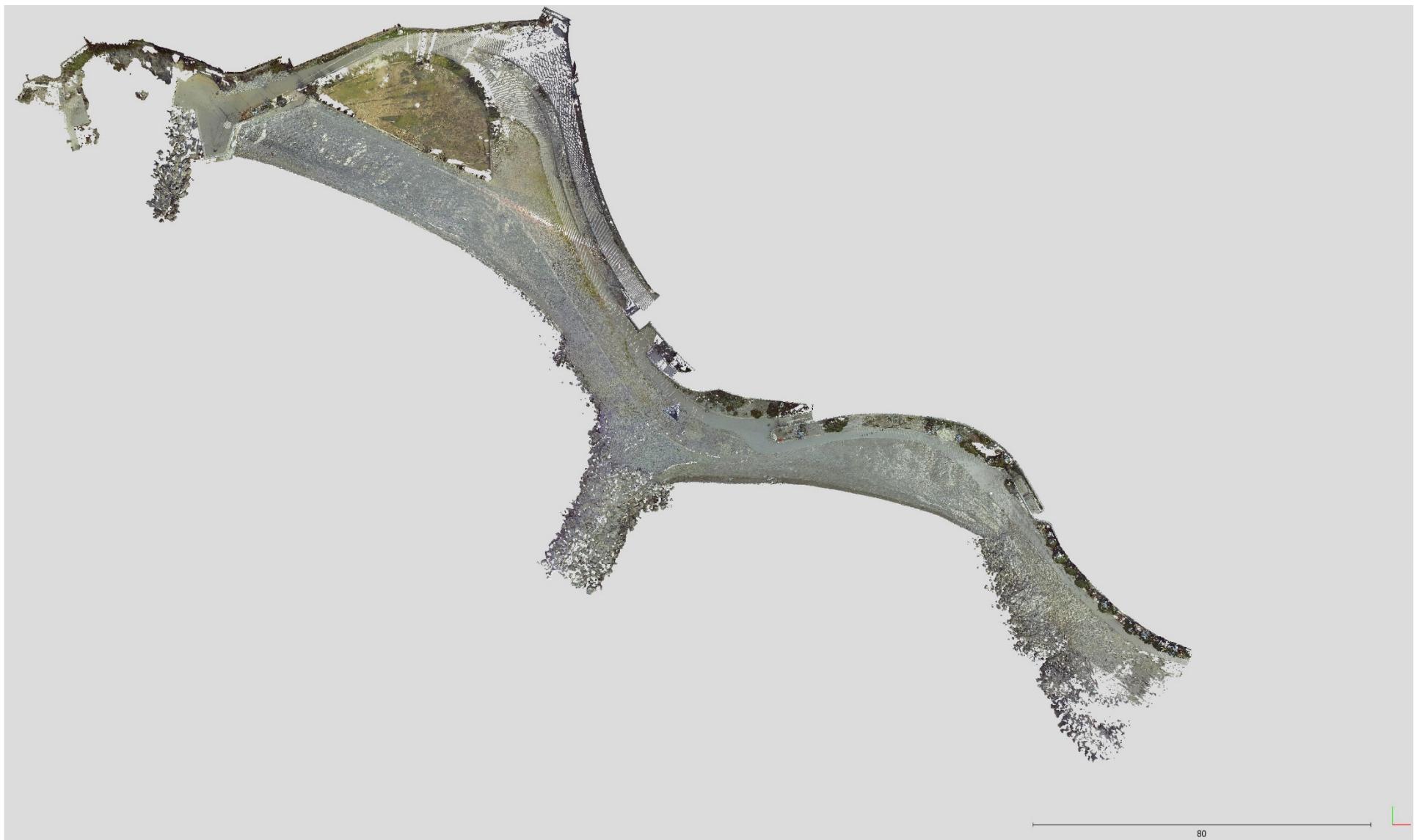
29.03.2020. UAV_08



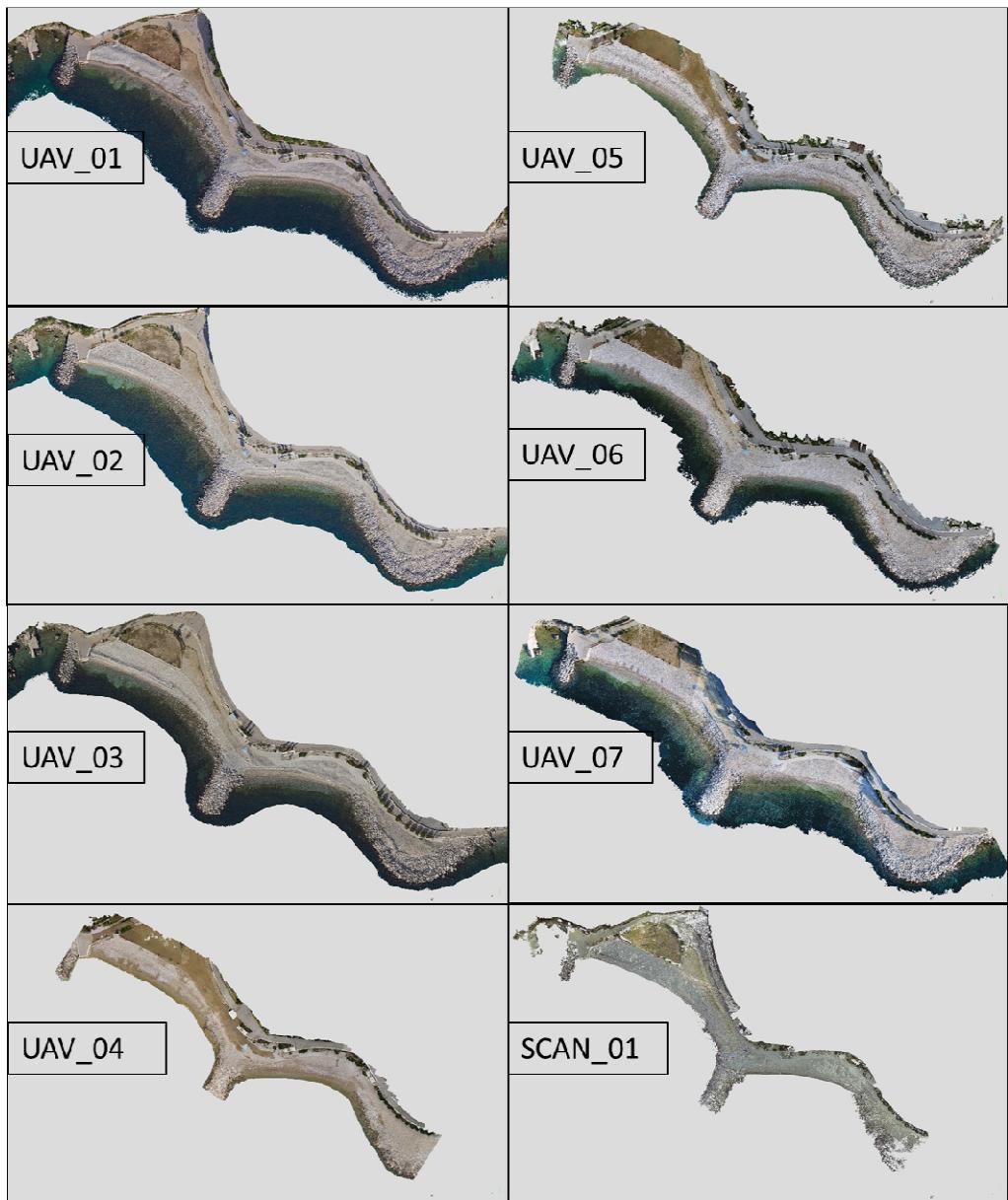
Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

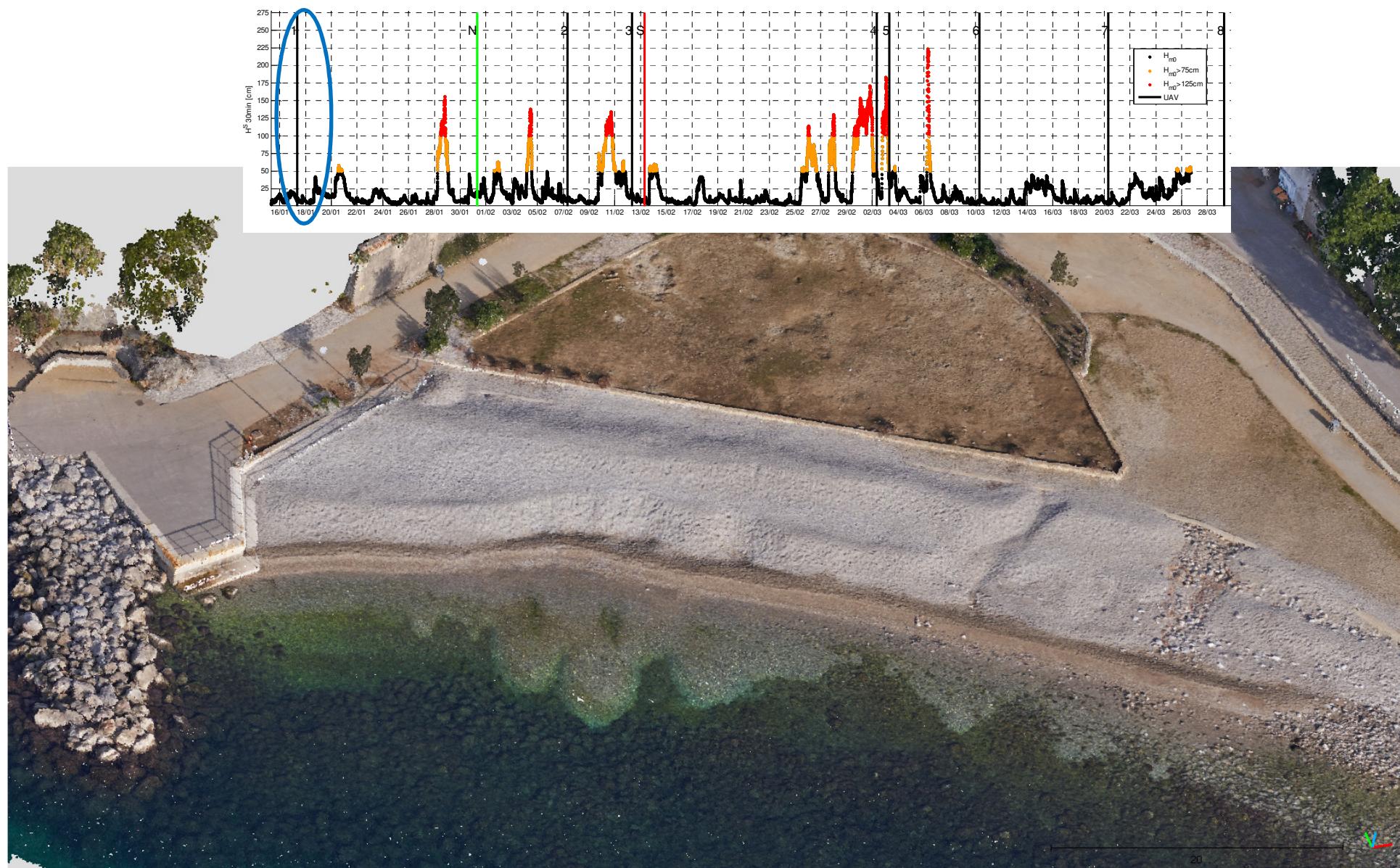
75

10.2.2020. SCAN_01

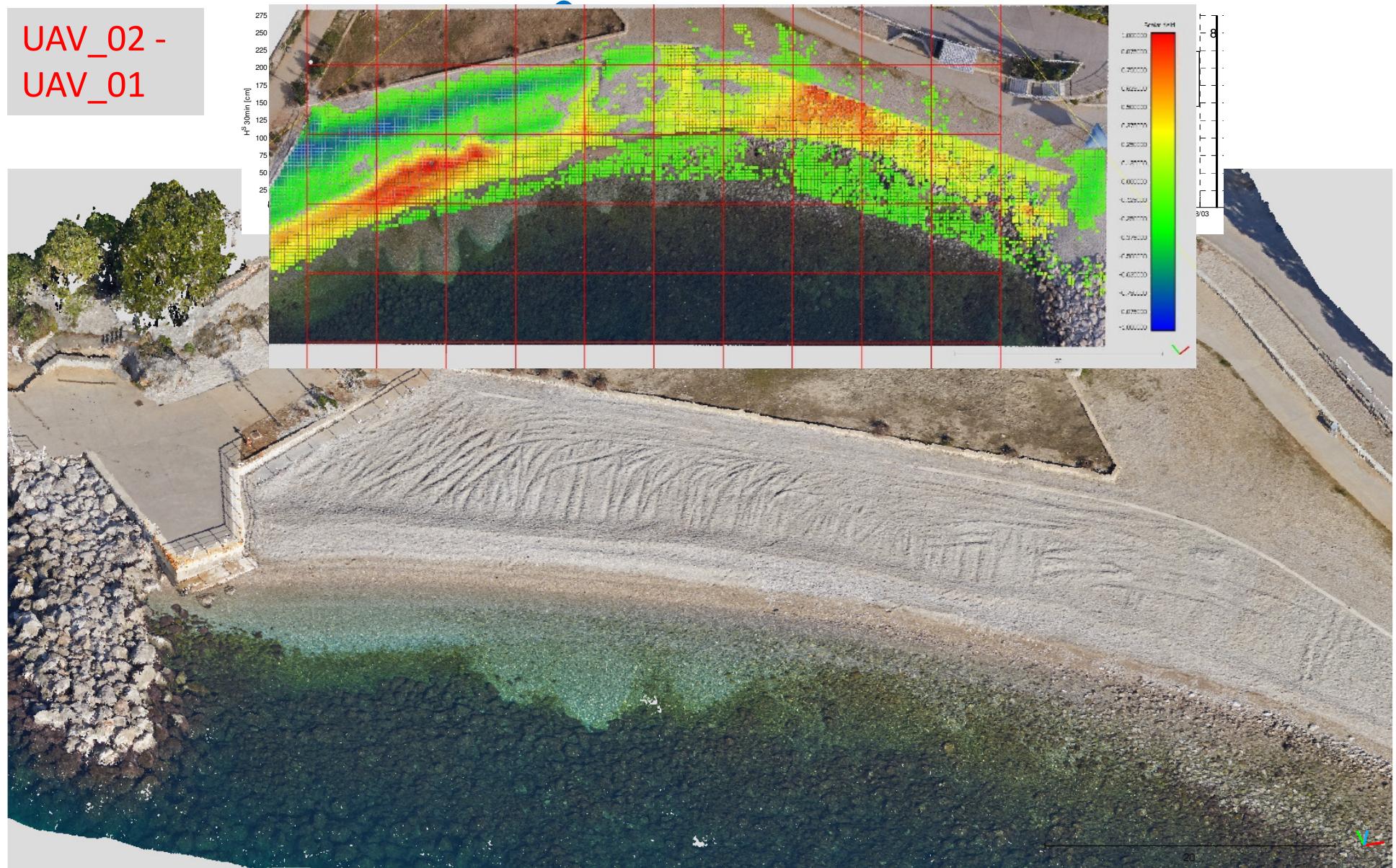


Igor Ružić
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci

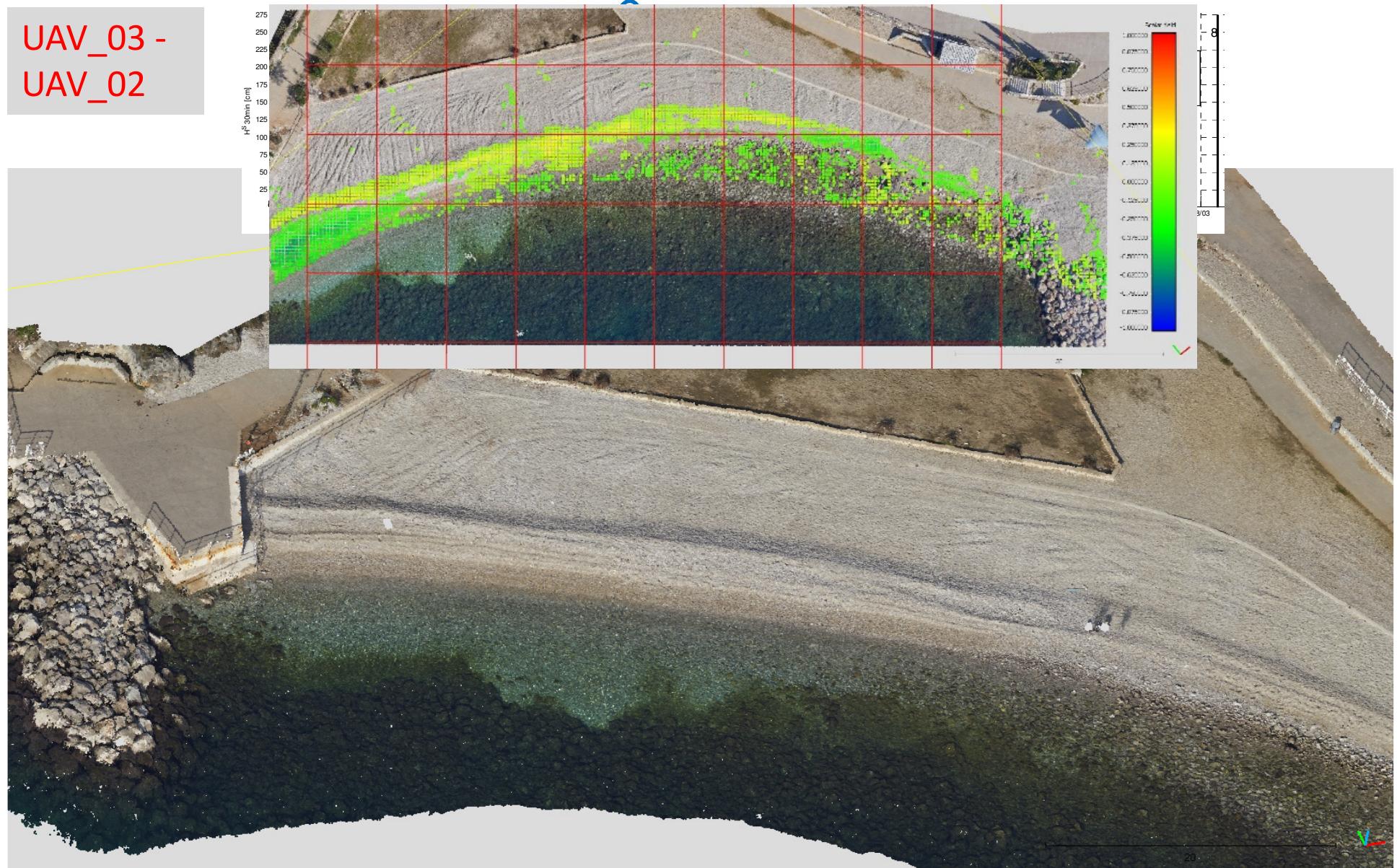




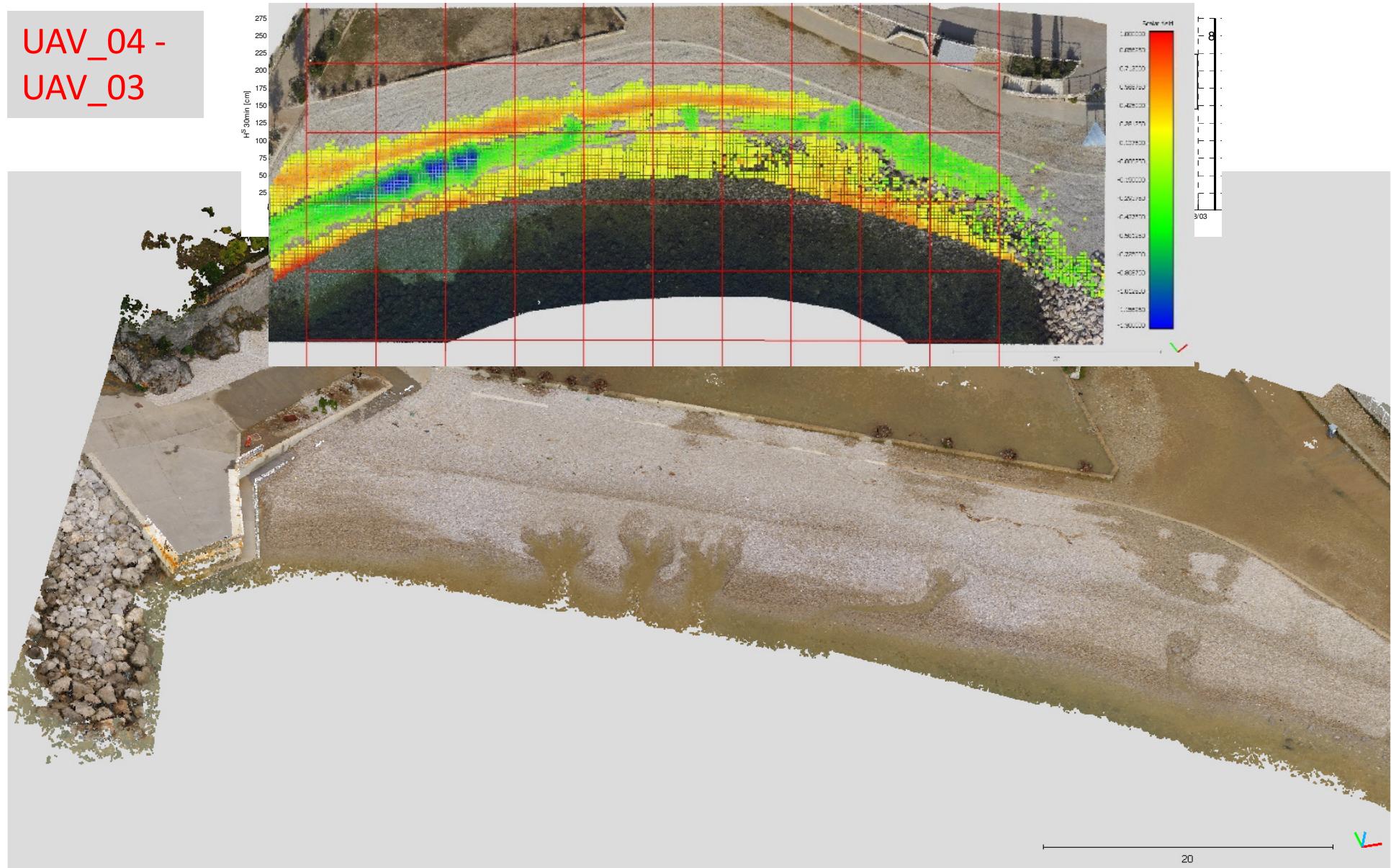
UAV_02 -
UAV_01



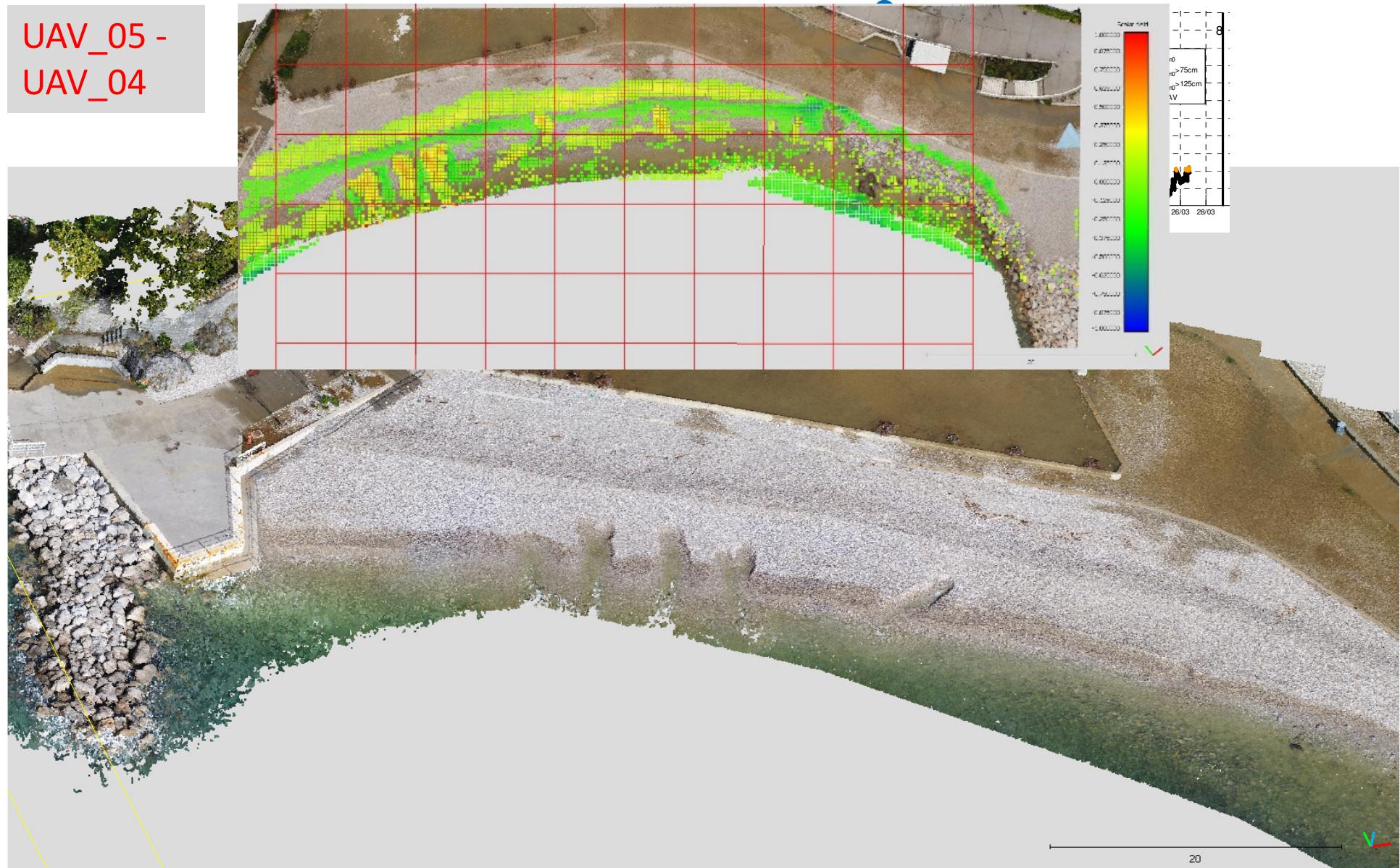
UAV_03 -
UAV_02



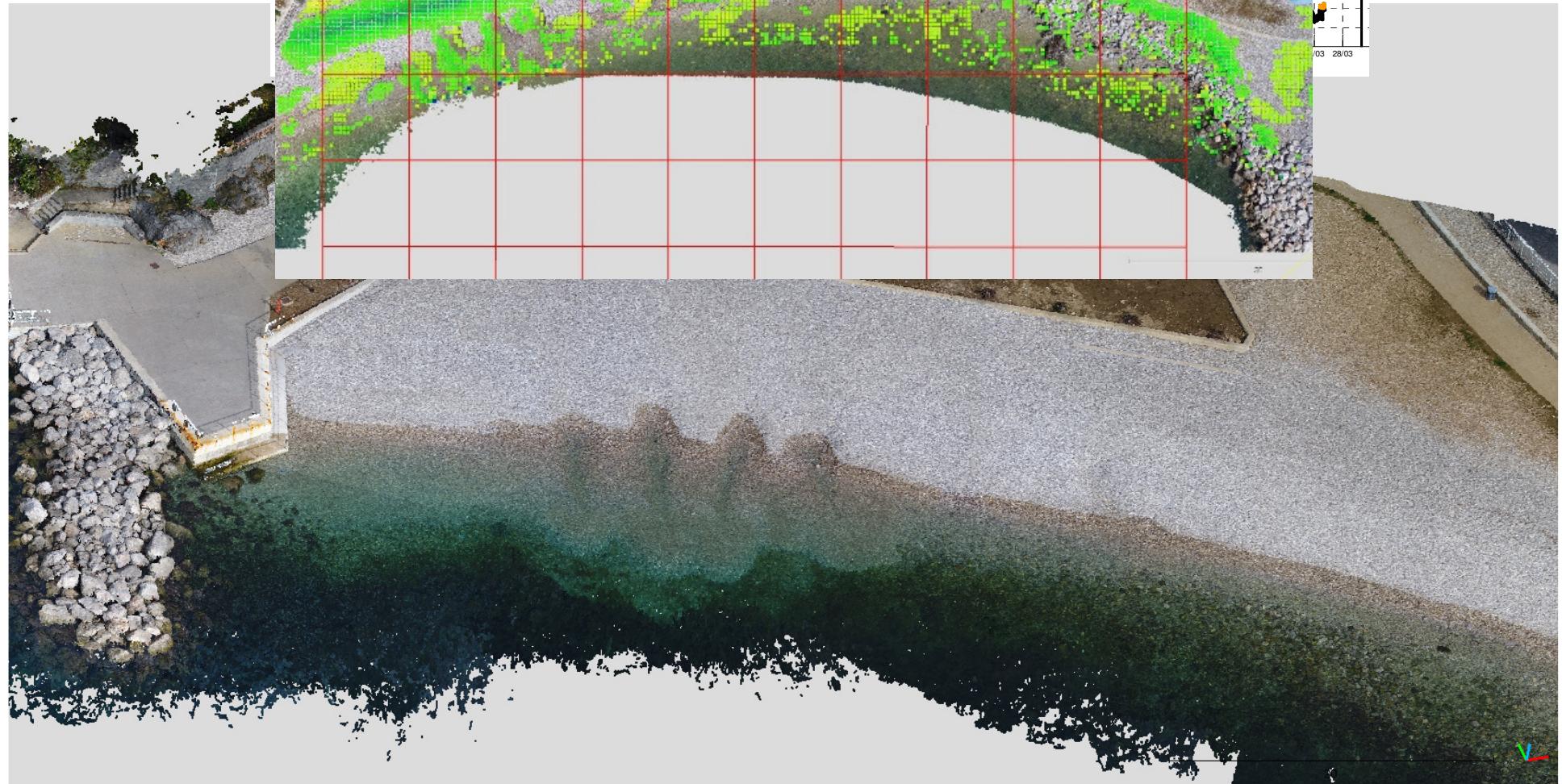
UAV_04 -
UAV_03



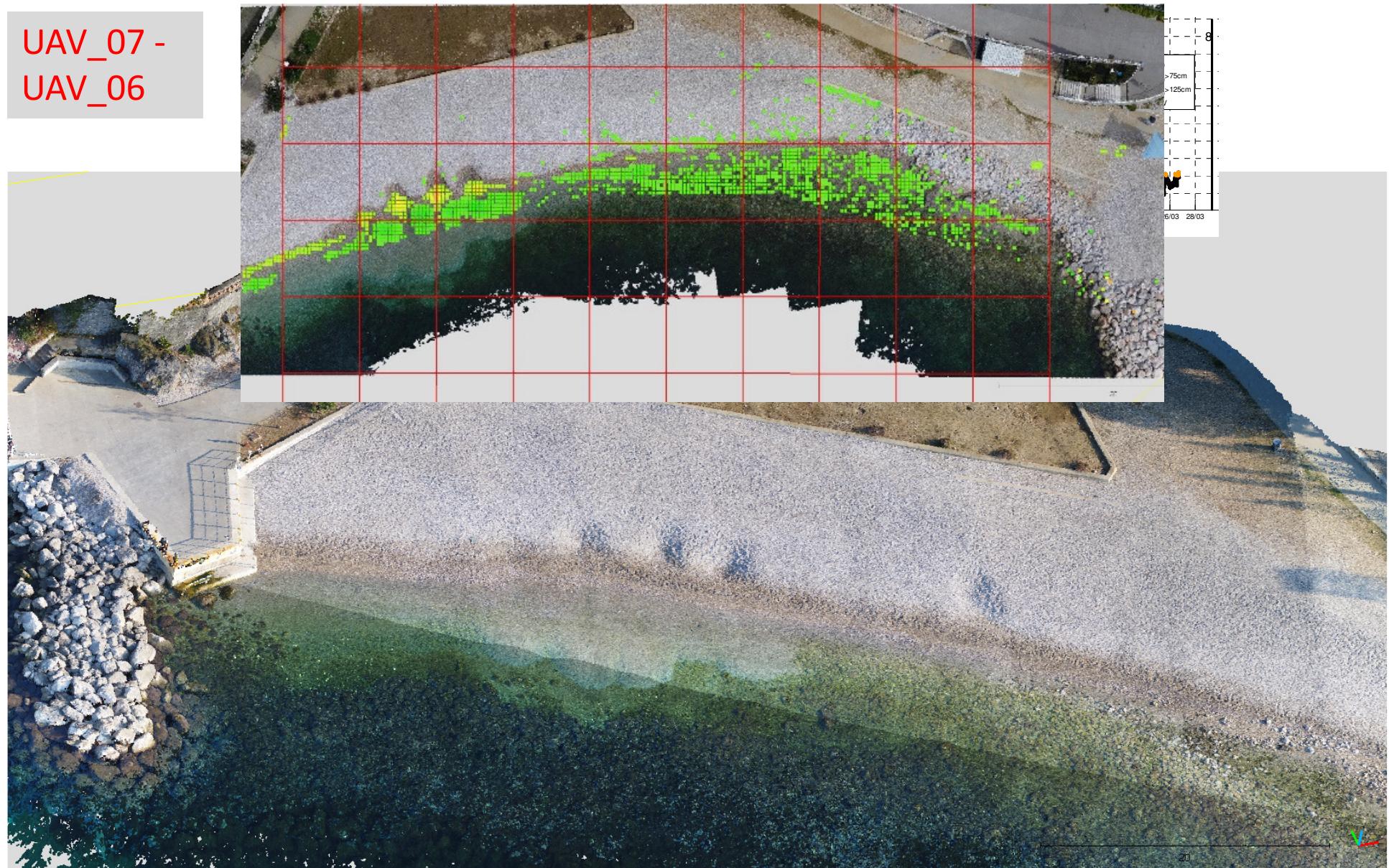
UAV_05 -
UAV_04



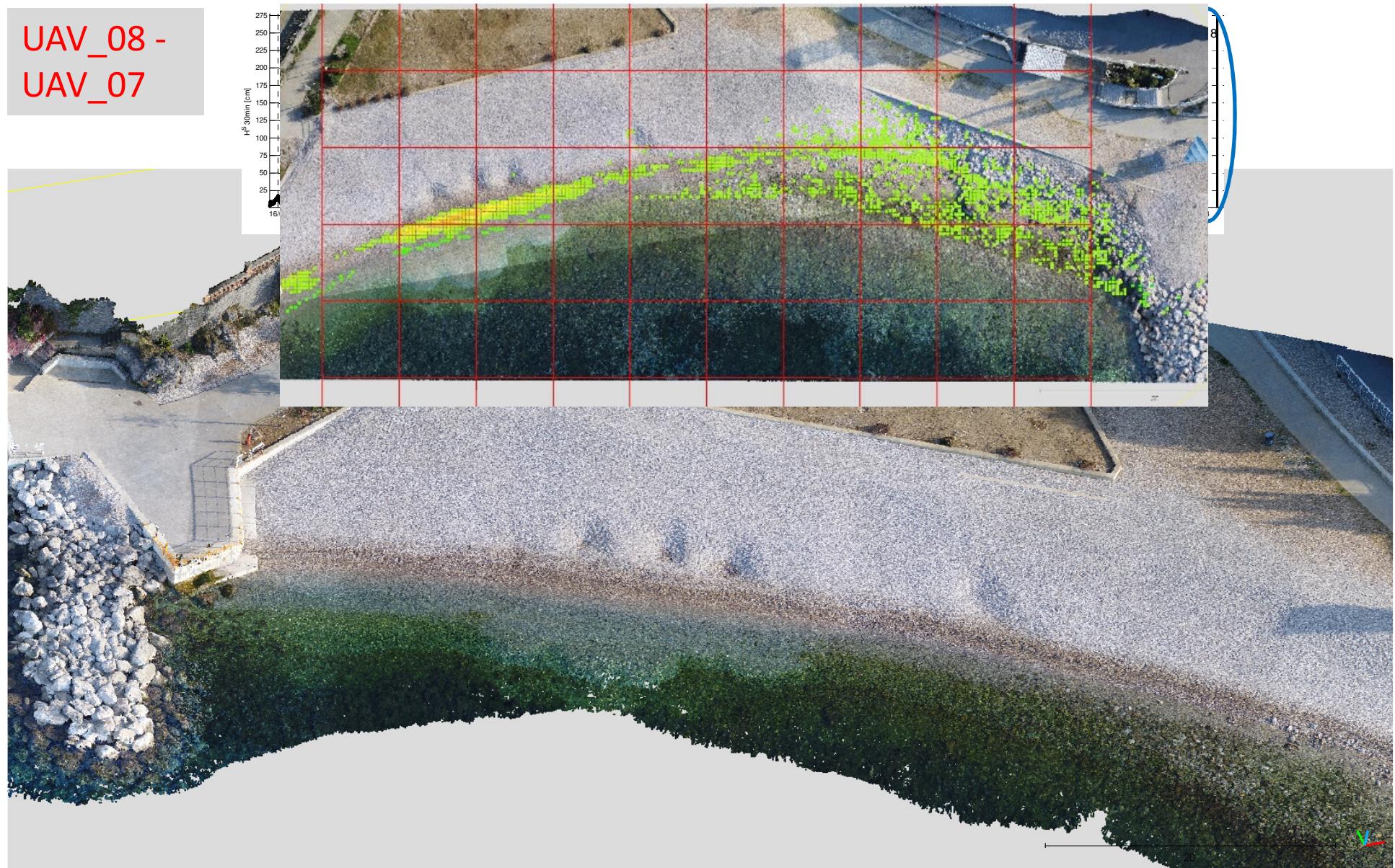
UAV_06 -
UAV_05

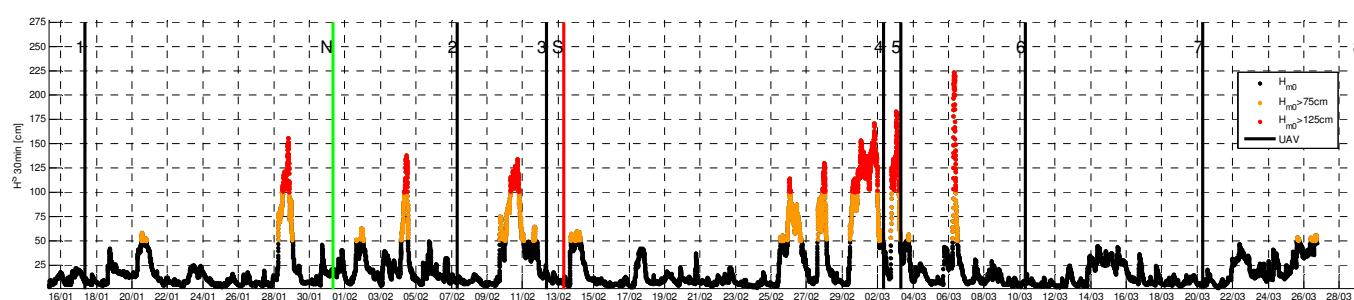
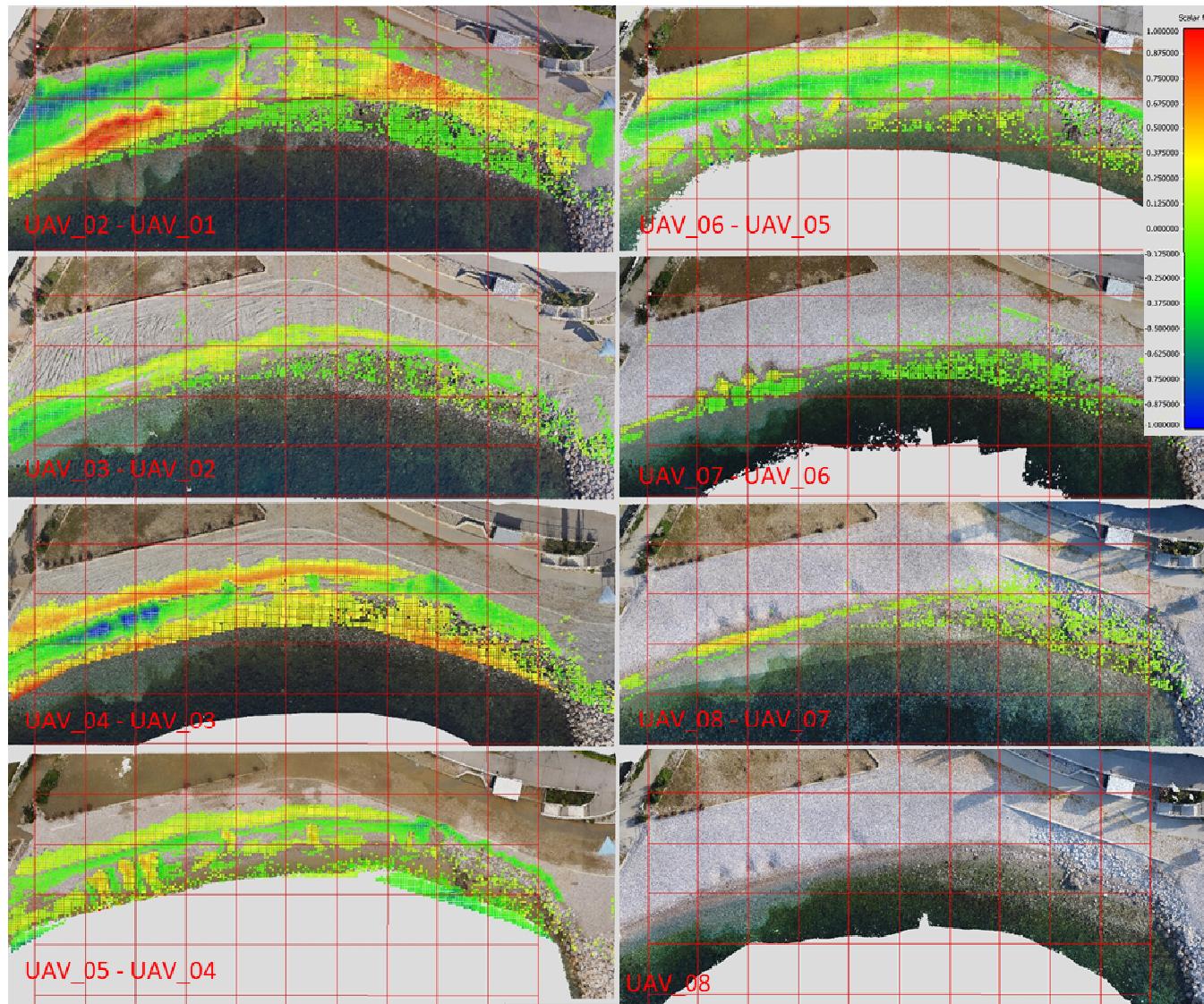


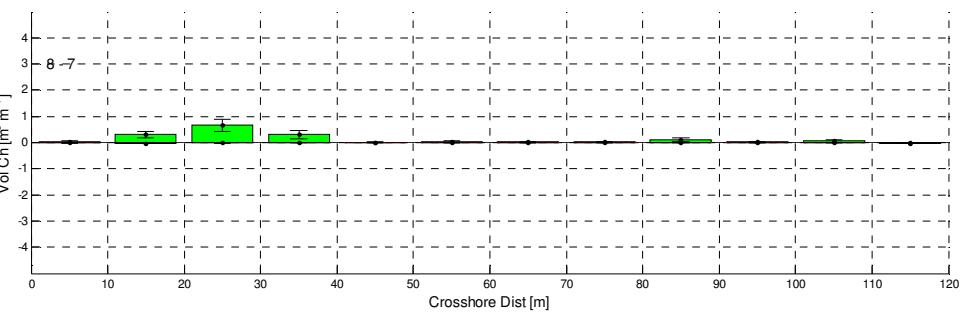
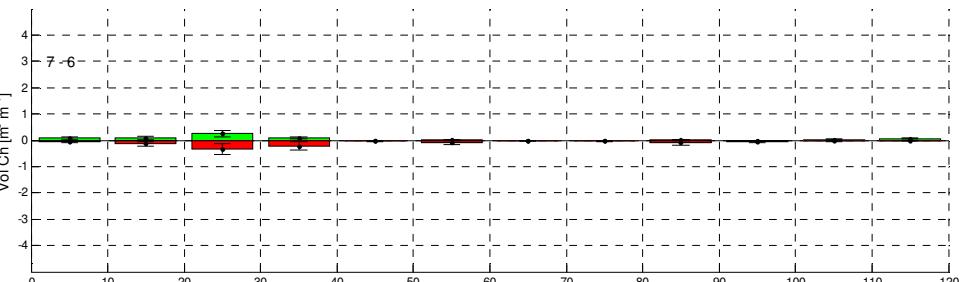
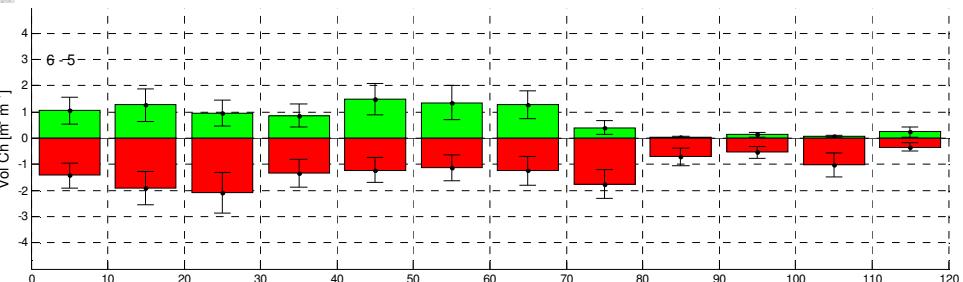
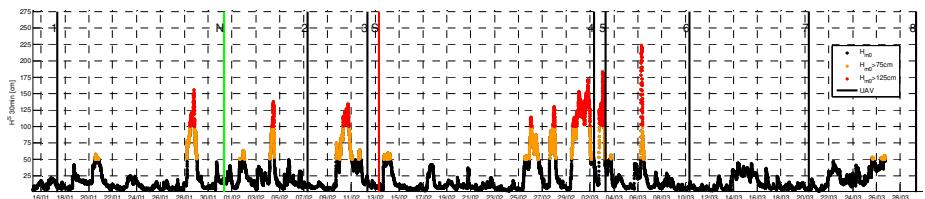
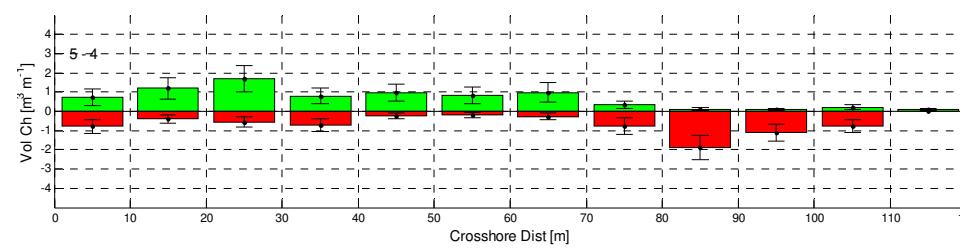
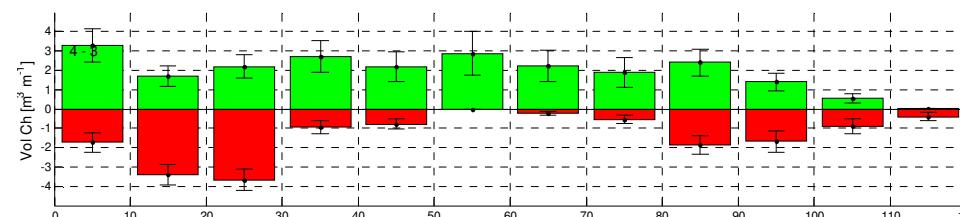
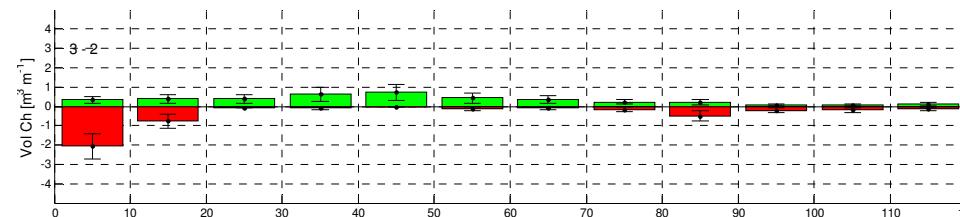
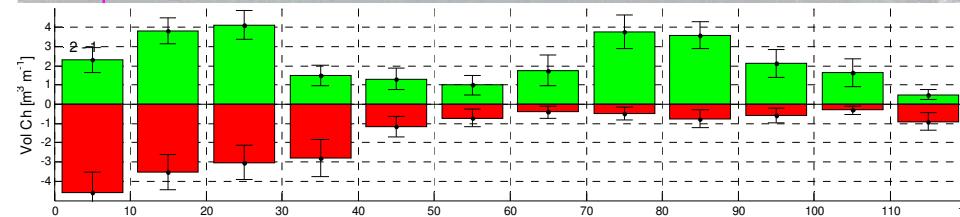
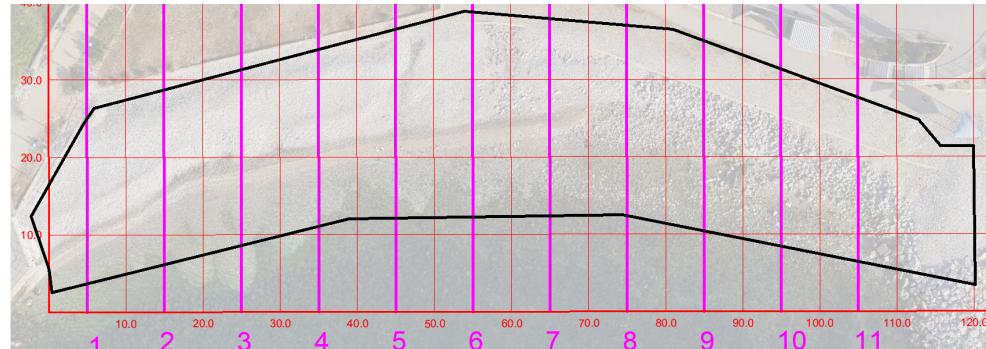
UAV_07 -
UAV_06



UAV_08 -
UAV_07









Hvala na pažnji!



<http://grad.hr/beachex/>



swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



KLIMATSKE PROMJENE I VODNO GOSPODARSTVO: ZELENA INFRASTRUKTURA

Bojana Horvat

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Niš



www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP



ZELENA INFRASTRUKTURA

- koncept kojemu je cilj primijeniti prirodne i polu-prirodne mjere s drugim značajkama okoliša, a osmišljen je na način da zaštiti ekosustav, biološku raznolikost u ruralnim i urbanim sredinama;
- obuhvaća niz vodnogospodarskih mjera, npr. zeleni krovovi, parkovi za infiltraciju oborinskih voda, mjere kojima se zadržava, filtrira i smanjuje otpadna oborinska voda;
- oponaša prirodne hidrološke procese i koristi prirodne elemente (tlo, vegetacija).

OSNOVNI ELEMENTI PRILAGODBE ZELENE INFRASTRUKTURE

- **Upravljanje globalnim zatopljenjem:** naročito u urbanim sredinama gdje hlađenje isparavanjem i osjenčanje koje pruža zelena infrastruktura mogu osigurati da gradovi i mjesta i dalje budu atraktivni i udobni,
- **Upravljanje vodom:** može osigurati lokacije za pohranu vode za ponovnu uporabu i dopustiti infiltraciju vode podzemlje održavanjem vodonosnika i vodotokova, može se koristiti za hvatanje sedimenta i uklanjanje onečišćujućih tvari iz vode te tako osigurati održavanje vodoopskrbe i kakvoće vode;
- **Smanjenje erozije:** vegetacija se koristi za stabilizaciju pokosa koji mogu biti osjetljivi na eroziju;
- **Upravljanje riječnim poplavama:** može osigurati područja za skladištenje i zadržavanje vode, smanjujući tako i usporavajući vršne tokove čime ublažava plavljenje;
- **Upravljanje površinskim vodama:** uspješnije upravljanje površinskim i otpadnim vodama, smanjuje se količina ispuštene vode, smanjenje poplava, omogućavanje infiltracije voda, trajno ili privremeno skladištenje.

ZELENA VS. SIVA INFRASTRUKTURA

- **Siva infrastruktura:** tehničke, međusobno povezane strukture koje su u društveno-gospodarskoj funkciji, npr. prometnice, željeznice, vodoopskrbni kanalizacijski sustavi, elektro-energetske mreže, itd.
- **Zelena infrastruktura:** međusobno povezana mreža zelenog prostora koja štiti vrijednosti i funkcioniranje ekosustava, a pogoduje u društvu.
- Potrebno je pronaći način kako bi ove se dvije vrste infrastrukturna međusobno nadopunjavale.

IZGRADNJA ZELENE INFRASTRUKTURE

- Integralno planiranje;
- Prevencija i planiranje;
- Primjena mjera ublažavanja;
- Prilagodba specifičnostima zadataka.



Primjer: kakvoća voda

- onečišćenje nutrijentima, sedimentom, teškim metalima, organskim onečišćenjem iz točkastih i raspršenih izvora je jedan od najvažnijih izazova vodnog gospodarstva;
- erozija.

SIVA INFRASTRUKTURA

- cjevovodi i armature,
- uređaji za pročišćavanje otpadnih voda,
- drugi izgrađeni objekti.

ZELENA INFRASTRUKTURA:

- pošumljavanje i očuvanje šuma,
- zone oko vodotoka,
- povezivanje rijeka s poplavnim područjima,
- restauracija vlažnih staništa,
- zeleni otoci,
- propusni pločnici.



Primjer: vodoopskrba

- dovoljne količine vode preduvjet su za funkcioniranje zajednice, odvijanje gospodarskih aktivnosti te zdravlje ekosustava;

SIVA INFRASTRUKTURA

- cjevovodi i armature,
- uređaji za pročišćavanje otpadnih voda,
- drugi izgrađeni objekti.

ZELENA INFRASTRUKTURA:

- pošumljavanje i očuvanje šuma,
- povezivanje rijeka s poplavnim područjima,
- restauracija vlažnih staništa,
- zeleni otoci,
- propusni pločnici.



Primjer: ublažavanje ekstremnih događaja

- poplave,
- površinsko otjecanje kao posljedica kiša jakih intenziteta u urbanim sredinama;

SIVA INFRASTRUKTURA

- brane i pregrade, nasipi i sl.;
- drenažna infrastruktura.

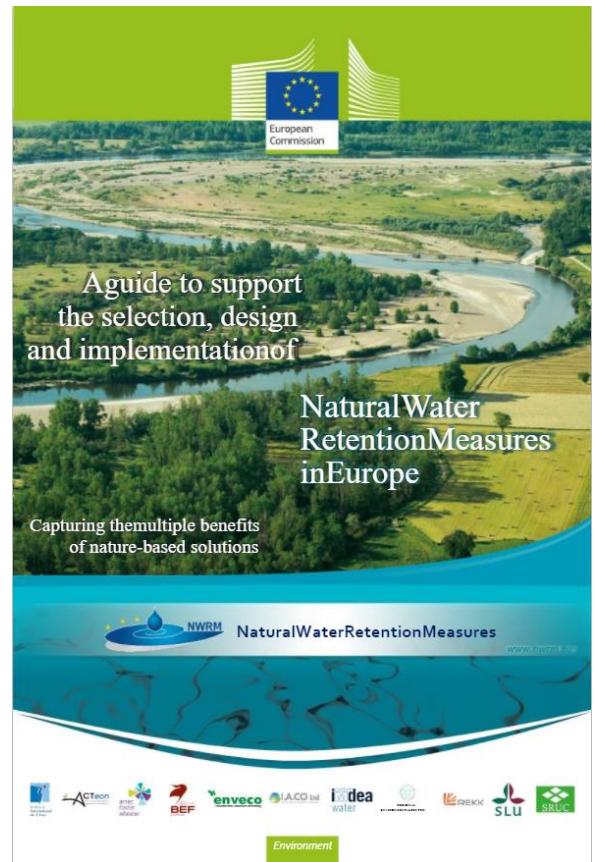
ZELENA INFRASTRUKTURA:

- pošumljavanje i očuvanje šuma,
- zone oko rijeka,
- povezivanje rijeka s poplavnim površinama,
- restauracija vlažnih staništa,
- uspostavljanje prolaza za otjecanje poplavnih voda,
- zeleni krovovi i zeleni otoci,
- propusni pločnici.



PRIRODNE MJERE ZADRŽAVANJA VODE

- NWRM – Natural Water Retention Measures;
- višenamjenske mjere koje imaju za cilj zaštita i upravljanje vodnim resursima te rješavanje problema povezanih s vodom obnavljanjem ili održavanjem ekosustava kao i prirodnim značajkama i svojstvima vodnih tijela pomoći prirodnih sredstava i procesa;
- glavni fokus: povećanje i očuvanje kapaciteta zadržavanja vode vodonosnika, tla i ekosustava s ciljem poboljšanja njihovog statusa;
- <http://nwrn.eu/>

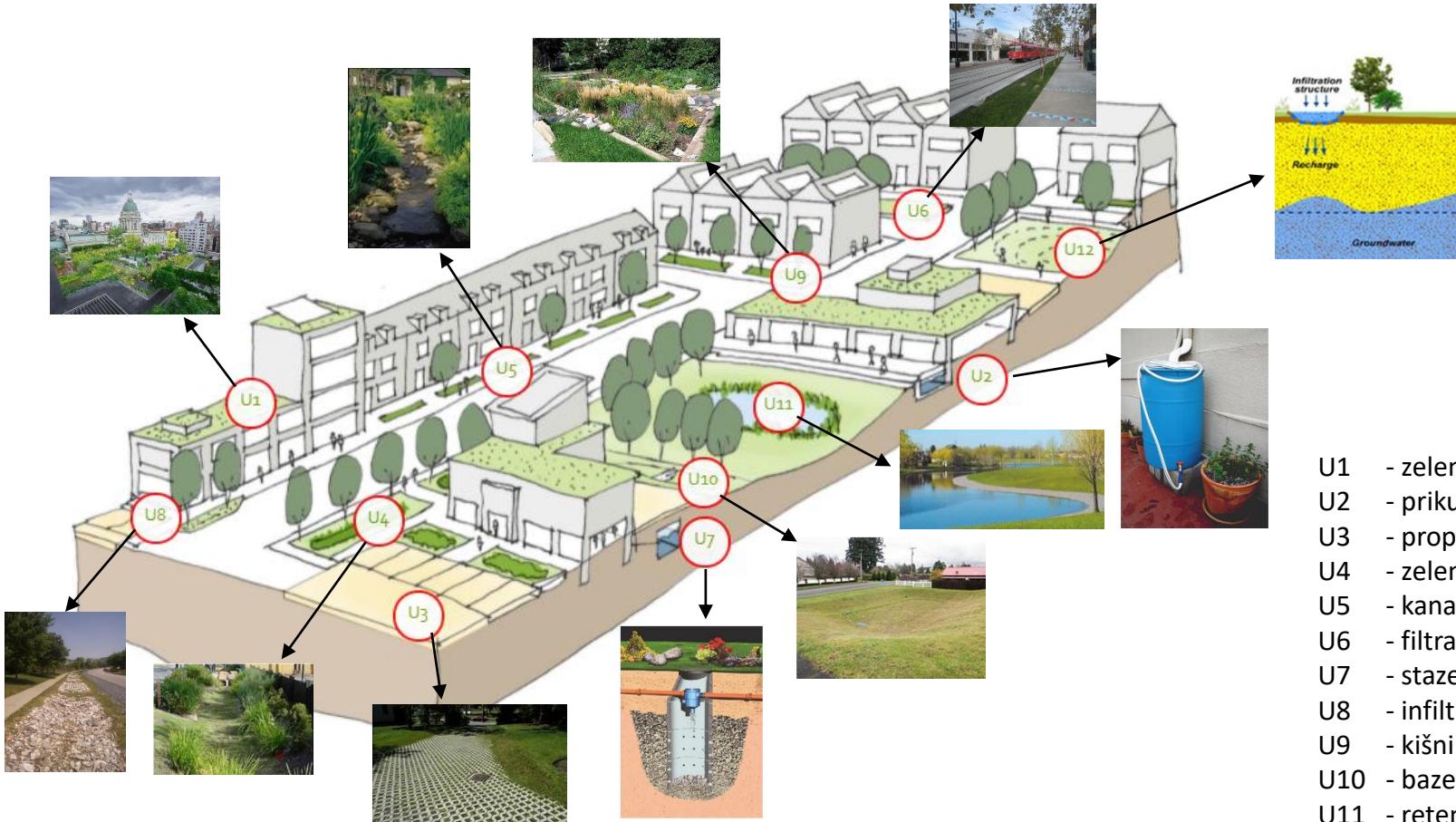




PRIRODNE MJERE ZADRŽAVANJA VODE

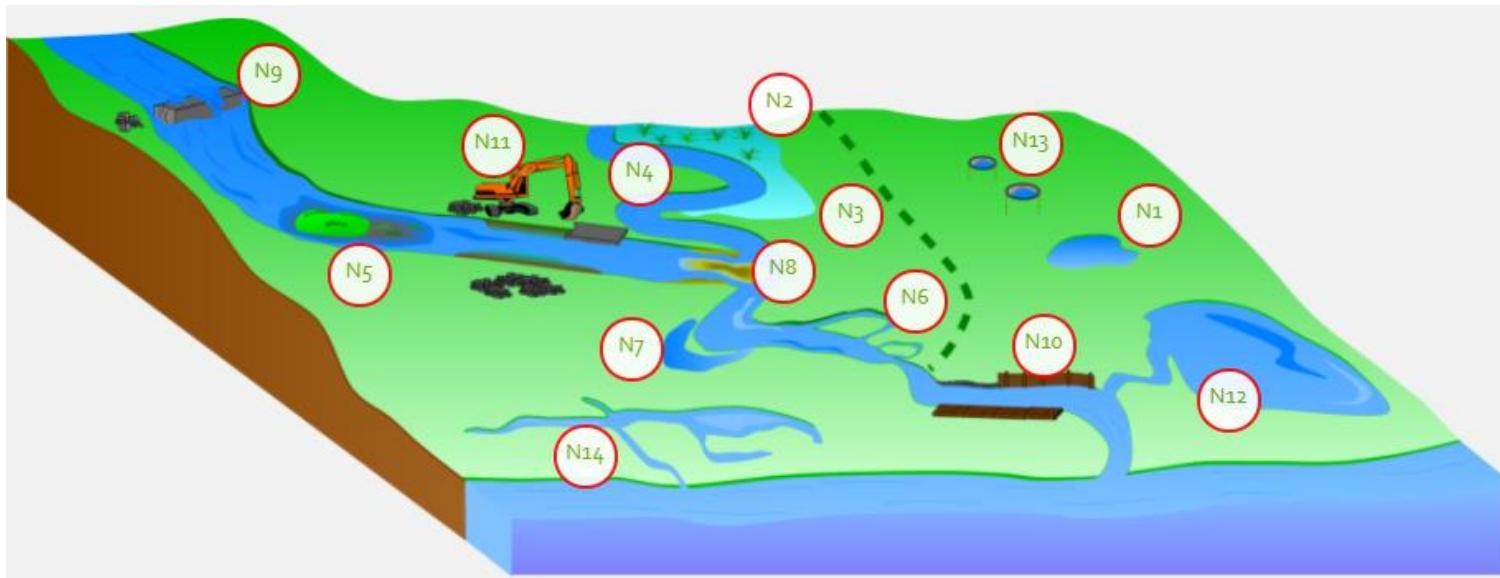
- zadržavaju vodu (površinsko otjecanje, vodotoci) izvan postojećih kapaciteta sustava otpuštanjem n kontroliranoj brzini ili infiltracijom u podzemne vode;
- koriste kapacitet tla i vodenih ekosustava za zadržavanje voda, pridonose unapređenju okoliša i poboljšanju kakvoće voda, doprinose bioraznolikosti te sposobnosti prilagodbe i otpornosti na klimatske promjene;
- obično se primjenjuju u manjem opsegu u usporedbi s veličinom sliva i drugog područja na kojemu se primjenjuju;
- oponašaju prirodni proces iako nisu uvijek same po sebi prirodne (npr. zeleni krovovi).

PRIRODNE MJERE ZADRŽAVANJA VODE - URBANE



- U1 - zeleni krov
- U2 - prikupljanje kišnice
- U3 - propusne površine
- U4 - zeleni otok
- U5 - kanali
- U6 - filtracijske trake
- U7 - staze za natapanje
- U8 - infiltracijski sustav
- U9 - kišni vrt
- U10 - bazen za zadržavanje
- U11 - retencijsko jezerce
- U12 - infiltracijski bazen

PRIRODNE MJERE ZADRŽAVANJA VODE - HIDROMORFOLOŠKE



- N1 - bazeni i jezera
- N2 - restauracija i upravljanje vlažnim staništima
- N3 - restauracija i upravljanje poplavnim područjima
- N4 - re-meandriranje
- N5 - re-naturalizacija korita vodotoka
- N6 - restauracija i ponovno povezivanje sezonskih vodotoka
- N7 - ponovno povezivanje rukavaca i sličnih elemenata

- N8 - re-naturalizacija materijala korita
- N9 - uklanjanje pregrada i drugih longitudinalnih barijera
- N10 - stabilizacija prirodnih obala
- N11 - uklanjanje zaštite obala
- N12 - restauracija jezera
- N13 - restauracija prirodne infiltracije u podzemne vode
- N14 - re-naturalizacija poldera

REVITALIZACIJA POPLAVNIH PODRUČJA DUŽ DUNAVA

- Danube Floodplain projekt;
- projekt revitalizacije poplavnih područja kojemu je cilj unaprijediti transnacionalno i integrirano upravljanje rizicima od poplava i upravljanje vodama na području dunavskog sliva;
- <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/danube-floodplain>





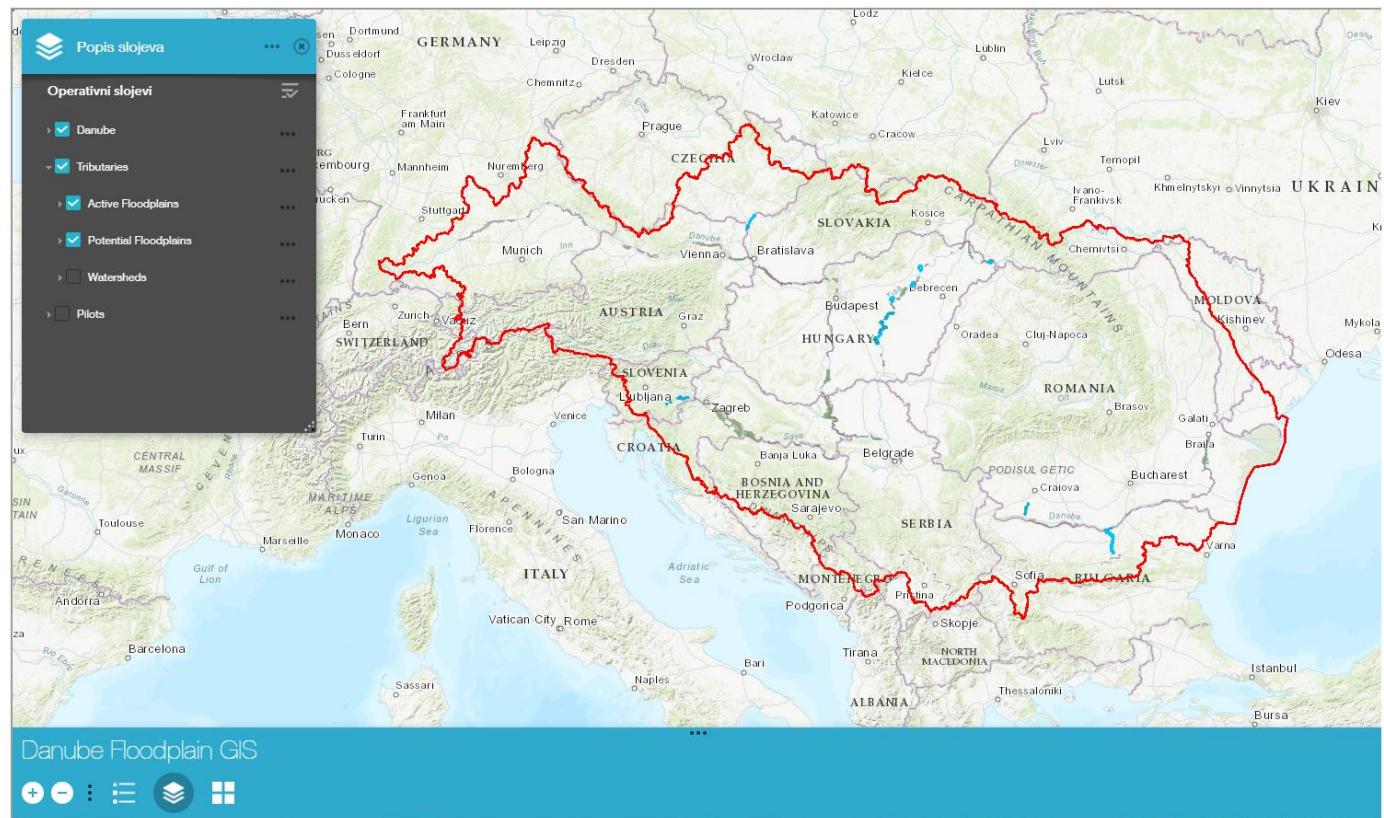
REVITALIZACIJA POPLAVNIH PODRUČJA DUŽ DUNAVA

- regulacija vodotoka i izgradnje brana te veća potražnja za zemljištem doveli su do značajnog smanjenja poplavnih površina na dunavskom slivu, oko 68 % u usporedbi s povijesnim poplavnim površinama, a negativno je utjecala i na staništa u tim područjima, ugrozila ekosustave i bioraznolikost te retencijski kapacitet za hranjive tvari;
- projekt je omogućio procjenu aktivnih i neaktivnih poplavnih površina, a na izabranim pilot područjima provođenje mjera za ublažavanje poplava.

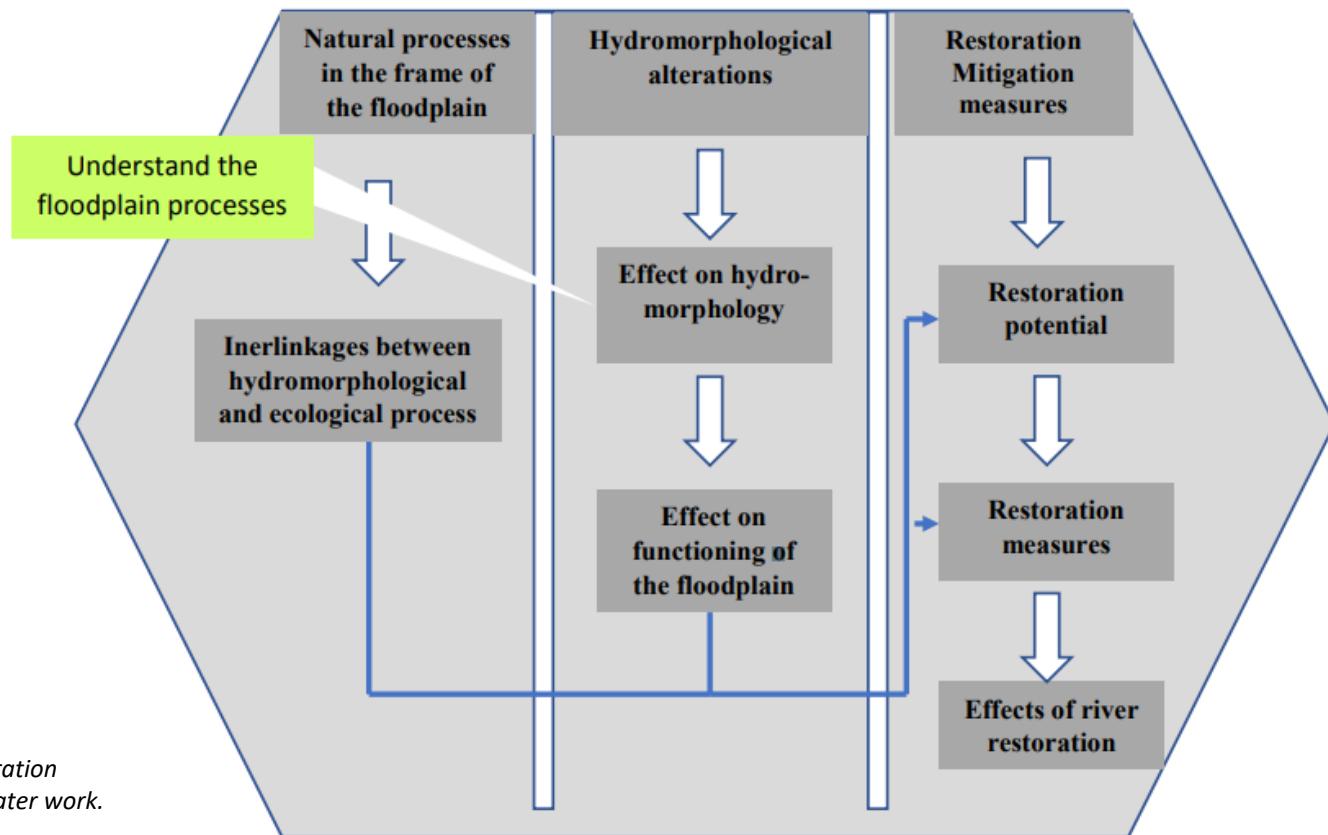


REVITALIZACIJA POPLAVNIH PODRUČJA DUŽ DUNAVA

<http://www.geo.u-szeged.hu/dfgis/>



REVITALIZACIJA POPLAVNIH PODRUČJA DUŽ DUNAVA



Izvor: Report on possible restoration approaches for each type of water work.
 Danube Floodplain project



swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



KLIMATSKE PROMJENE I VODNO GOSPODARSTVO: KLIMATSKE PROMJENE I VARIJACIJE

Bojana Horvat

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Niš

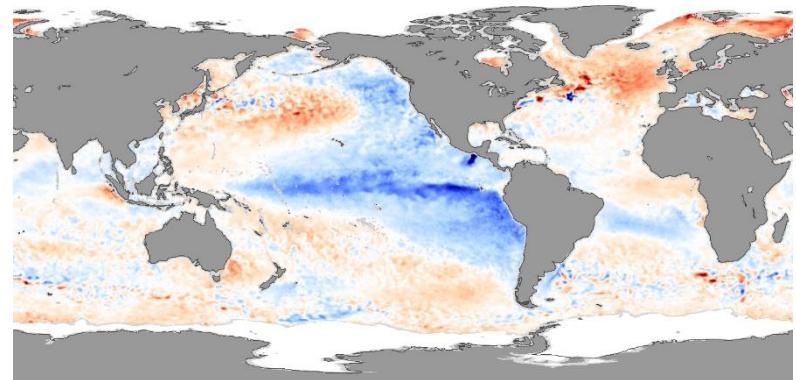


www.swarm.ni.ac.rs

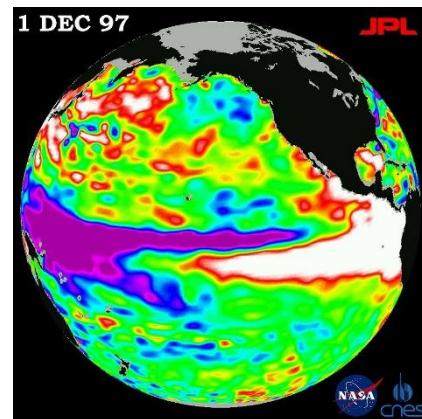
Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

KLIMATSKE VARIJACIJE

- varijacije klime su posljedica prirođene varijabilnosti klime i nisu nužno pokazatelj da je došlo do klimatskih promjena (npr. jedno ljetо može biti osjetno toplije i suše od drugog);
- odnose se na razlike unutar puno kraćih razdoblja;
- ne pripisuju se ljudskoj aktivnosti;
- ako su česte i intenzivne, mogu zamaskirati buduće klimatske promjene;
- primjer: El Niño i La Niña – događaju se svakih nekoliko godina kao rezultat varijacije temperature oceana u ekvatorijalnom pojasu Tihog oceana.



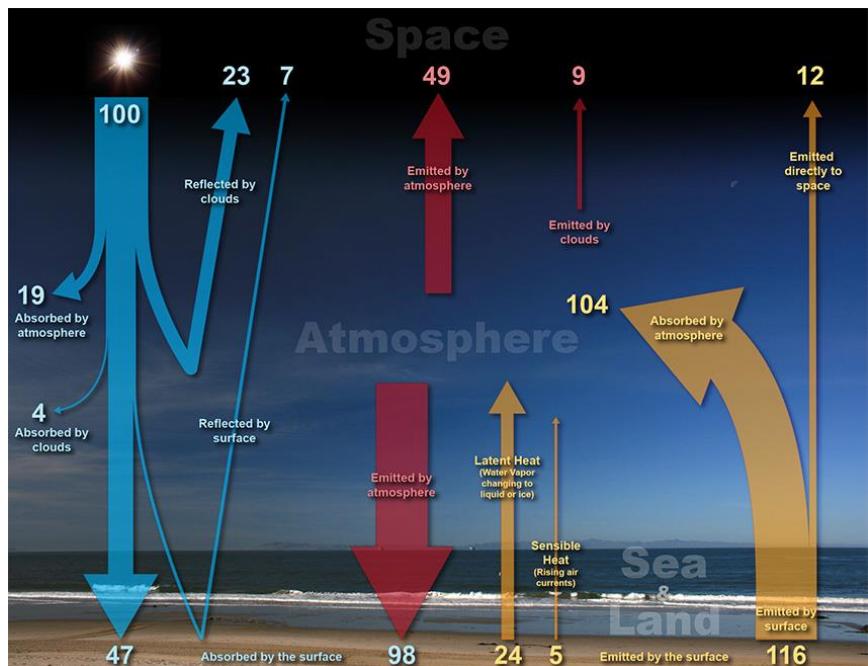
La Niña; Izvor: NASA, Jesse Allen, using AMSR-E data processed and provided by Chelle Gentemann and Frank Wentz, Remote Sensing Systems. - NASA Earth Observatory <https://earthobservatory.nasa.gov/images/8327/la-nina-for-november>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3260598>



El Niño; Izvor: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4016575>

KLIMATSKE PROMJENE

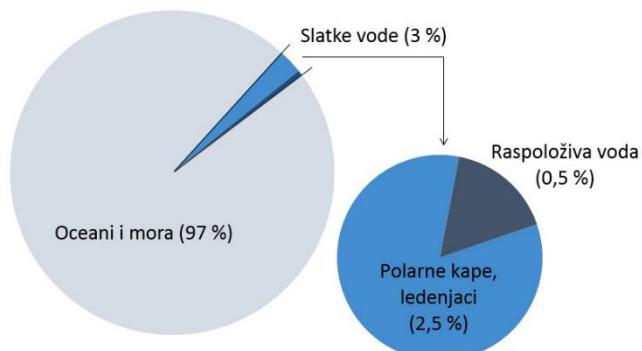
- značajna i trajna promjena u statističkoj raspodjeli klimatskih elemenata, obično u razdoblju od nekoliko desetljeća do milijun godina;
- globalna promjena klima povezana je s promjenama u globalnoj energetskoj ravnoteži Zemlje;
- uzroci mogu biti prirodni i antropogeni.



Izvor: <https://www.weather.gov/jetstream/energy>

KLIMATSKE PROMJENE I VODNI RESURSI

- porast temperature značajno utječe na ljudske aktivnosti tj. gdje možemo živjeti, koju hranu možemo uzgajati, na koji način i gdje;
- klimatske promjene se prvenstveno manifestiraju kroz promjene u hidrološkom ciklusu (osjetljiva ravnoteža između pale oborine i evapotranspiracije);
- učestalost i intenzitet suša, poplava, otapanja ledenjaka, podizanja razne mora i oluja.



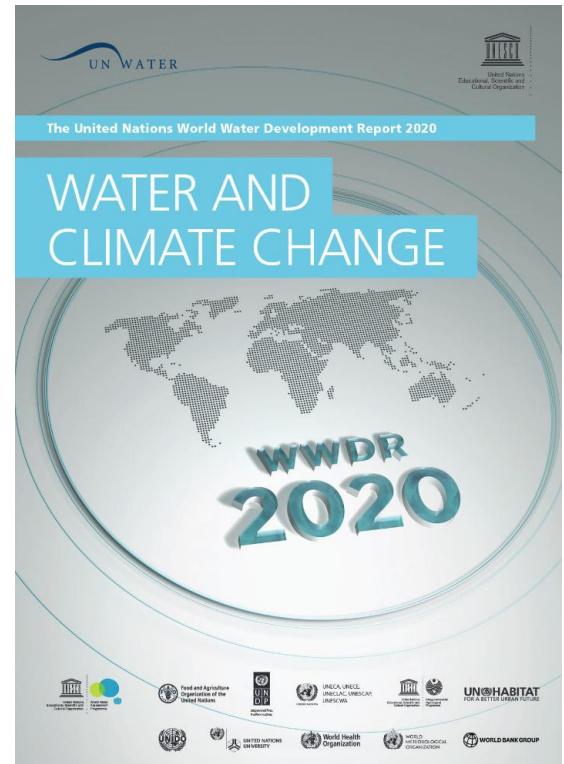
Izvor: John M. Evans/USGS-USA Gov, Preuređio: Tomislav Kraljević; Bally.
<http://qa.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>,
<https://hr.wikipedia.org/w/index.php?curid=110369>

KLIMATSKE PROMJENE I VODNI RESURSI

- klimatske promjene utječu na dostupnost, kakvoću i količinu vode potrebne za osnovne ljudske promjene te potencijalno mogu uzrokovati posjedice gospodarstvo i društvo u cjelini;
- život s klimatskim promjenama zahtijeva prilagodbu njihovog utjecaja na vodu (previše ili premalo vode) i poduzimanje neophodnih mjera za smanjenje ranjivosti zajednica i gospodarstva;
- **vodna sigurnost:** više od pola svjetske populacije će do 2050. godine biti u riziku zbog vodnog stresa ukoliko se već sada ne poduzmu mjere ublažavanja klimatskih promjena (International Food Policy Research Institute);
- **vodna suradnja:** pomaže u smanjenju rizika od konflikata među zajednicama i zemljama povezanim s vodom – nužna prekogranična suradnja;
- IUCN (International Union for Conservation of Nature): https://www.youtube.com/watch?v=GdO1XehxL_U.

KLIMATSKE PROMJENE I VODNI RESURSI

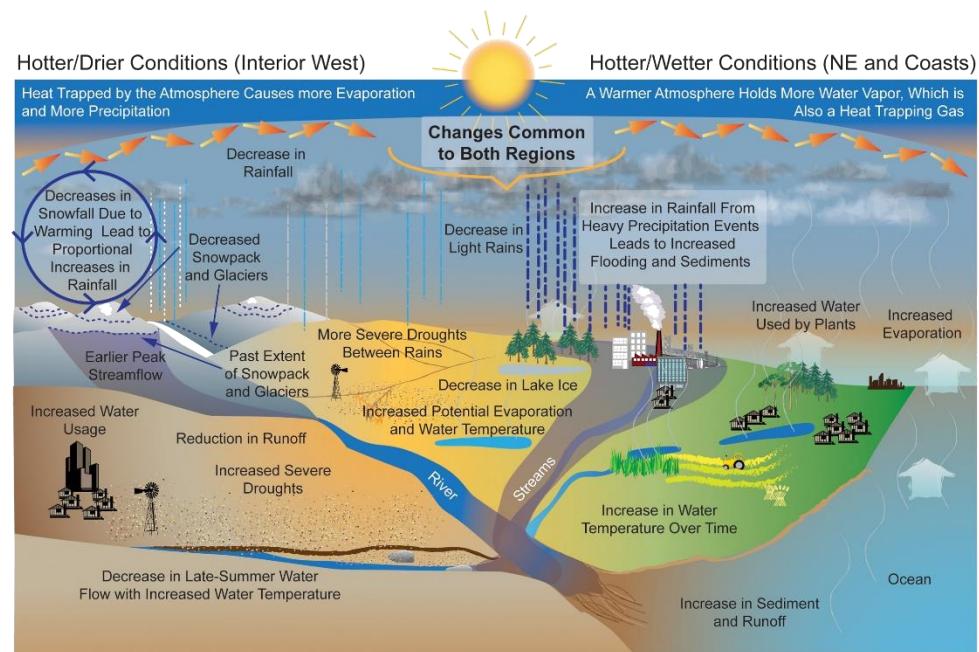
- porast temperature značajno utječe na ljudske aktivnosti tj. gdje možemo živjeti, koju hranu možemo uzgajati, na koji način i gdje;
- klimatske promjene se prvenstveno manifestiraju kroz promjene u hidrološkom ciklusu (osjetljiva ravnoteža između pale oborine i evapotranspiracije);
- veća učestalost i magnituda ekstremnih događaja (toplinski valovi, velike količine oborina, oluje i sl.);
- narušena kakvoća voda zbog povišene temperature vode, reducirane količine otopljenog kisika (smanjena sposobnost samopročišćavanja slatkovodnih sustava);
- povećani rizik onečišćenja uslijed poplava ili povećane koncentracije onečišćujućih tvari tijekom suša.



World Water Development Reports:
<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/>

KLIMATSKE PROMJENE I VODNI RESURSI

- magnituda utjecaja klimatskih promjena na vodne resurse ovisi o **lokalnim uvjetima**, npr. manje količine oborina uzrokovat će manju vlažnost tla, manje protoke površinskih i podzemnih oda , ali će magnituda tih posljedica u velikoj mjeri ovisiti i o lokalnim uvjetima (kao što su pedologija i geologija područja, vegetacijski pokrov i korištenje voda za potrebe čovjeka);
- magnituda utjecaja klimatskih promjena na vodne resurse ovisi o **antropogenim faktorima**, npr. korištenje zemljišta, regulacija vodotoka i zahvati voda te onečišćenje voda.



Izvor: USGCRP, 2009

The water cycle exhibits many changes as the earth warms. Wet and dry areas respond differently.

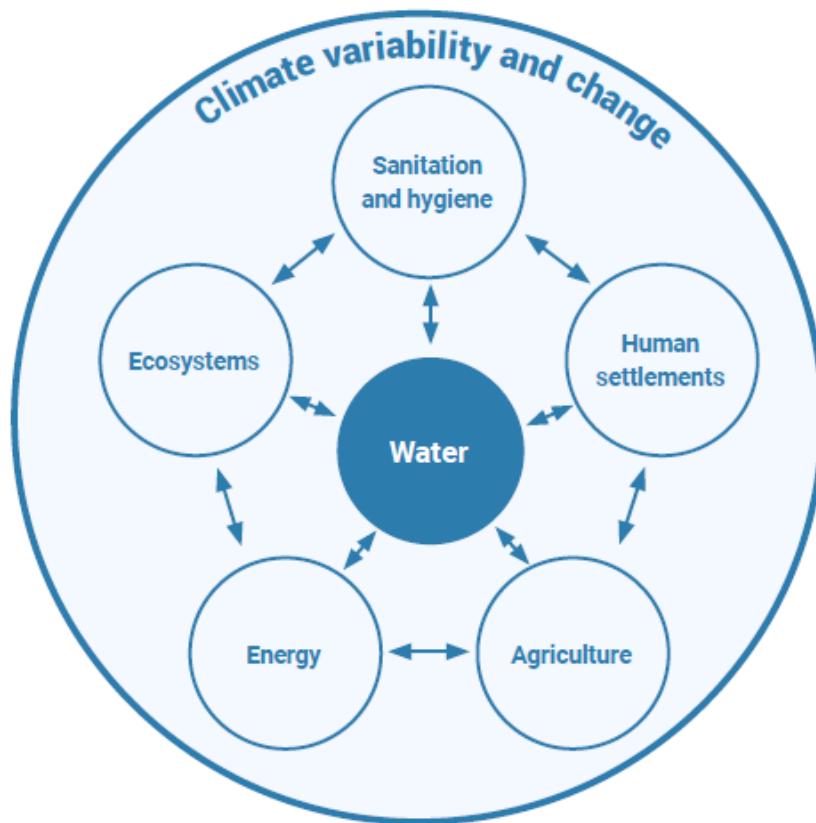


KLIMATSKE PROMJENE I VODNI RESURSI

- zbog velike gustoće naseljenosti i povećane urbanizacije, **urbane sredine** su u smislu opskrbe vodom naročito ranjive (u gradovima živi više od polovice svjetskog stanovništva);
- očekuje se da će do 2050. godine oko 70 % svjetskog stanovništva živjeti u urbanim područjima;
- posljedice su višestruke: na zdravlje ljudi, sredstva za život, imovinu, a posebno su naglašene u siromašnim naseljima te kod ranjivih skupina;
- priobalni gradovi su suočeni s porastom razine mora i olujnim udarima;
- klimatske promjene i demografski trendovi u nekim regijama predstavljaju veliki izazov za vodno gospodarstvo: pronaći održivi način osiguranja dovoljnih količina vode odgovarajuće kakvoće.

PRILAGODBA I UBLAŽAVANJE KLIMATSKIH PROMJENA

- interakcija između vode i glavnih društveno-ekonomskih sektora pod utjecajem klimatskih promjena;
- prilagodba klimatskim promjenama kroz vodno gospodarstvo je od kritične važnosti za održivi razvoj.



Izvor: WWDR, 2020



PRILAGODBA I UBLAŽAVANJE KLIMATSKIH PROMJENA

- prilagodba i ublažavanje su komplementarne strategije za upravljanje i smanjenje rizika od klimatskih promjena;
- ***prilagodba***: proces prilagođavanja prirodnom ili ljudskom sustavu kao odgovor na stvarno ili očekivano stanje klime i njegovog učinka, a koji ublažava štetu;
- ***mjere prilagodbe***: strukturne i nestruktурне; osim, pozitivnih mogu imati i negativne učinke, npr. desalinizacija slane vode u svrhu vodoopskrbe (negativni učinak: veliki utrošak energije), hidroelektrane (negativni učinak: mogu doprinijeti stakleničkim plinovima), navodnjavanje (negativan učinak: velika potrošnja vode i energije), itd.;
- ***ublažavanje***: ljudska intervencija koja smanjuje izvore stakleničkih plinova i drugih supstanci – može pridonijeti direktno ili indirektno ograničavanju klimatskih promjena;
- ***mjere ublažavanja***: u recipročnom odnosu s upravljanjem vodnim resursima – utječu na vodne resurse i upravljanje njima, dok pristup upravljanju vodnim resursima može utjecati na emisiju stakleničkih plinova pa time i na mjere ublažavanja; npr. ponovno korištenje vode (water reuse), prikupljanje i pohrana ugljičnog dioksida, korištenje obnovljivih izvora energije, primjena dobre prakse u namjeni zemljišta, pošumljavanje, itd.;
- ***otpornost***: sposobnost društvenog, gospodarskog i okolišnog sustava da se pravodobno i učinkovito odupre, apsorbira, prilagodi, transformira i oporavi od učinaka opasnosti kojoj je bio izložen i to na način da sačuva svoje osnovne funkcije kao i sposobnost prilagodbe, učenja i transformacije (IPCC, 2014).

MEĐUVLADIN PANEL O KLIMATSKIM PROMJENAMA (IPCC)

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), međuvladino tijelo sa sjedištem u Ženevi osnovano 1988. godine;
- svrha mu je pružiti donositeljima politika znanstvene procjene o klimatskim promjenama, njihovim implikacijama i potencijalnim budućim rizicima te osvijetliti mogućnosti prilagodbe i ublažavanja;
- objavljuje izvještaje koji nastaju na temelju koordiniranog programa istraživanja nekoliko tisuća stručnjaka u više od stotinu zemalja;
- izvještaji su pripremani i revidirani u nekoliko faza kako bi se garantirala objektivnost i transparentnost;
- ne provodi vlastita istraživanja.





MEĐUNARODNI OKVIR

- SENDAI OKVIRNI SPORAZUM: okvir za smanjenje rizika od katastrofa, potpisana 2015. godine s ciljem znatnog smanjenja rizika od katastrofa te gubitka ljudskih života, sredstava za život i zdravlja, nadalje ekonomski, fizičke, društvene, kulturne i ekološke imovine osoba, privrednih društava, zajednica i zemalja.
- PARIŠKI SPORAZUM: plan djelovanja za ograničavanje globalnog zatopljenja, potpisana 2015. godine, a stupio na snagu 2016. nakon što je najmanje 55 zemalja odgovornih za najmanje 55 % globalnih emisija stakleničkih plinova ispunilo uvjet za ratifikaciju.
- 2020 AGENDA I CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA: usmjereni ukidanju siromaštva na način da nitko ne bude isključen.



swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



HIDROELEKTRANE I KORIŠTENJE VODNIH SNAGA

Barbara Karleuša

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Niš



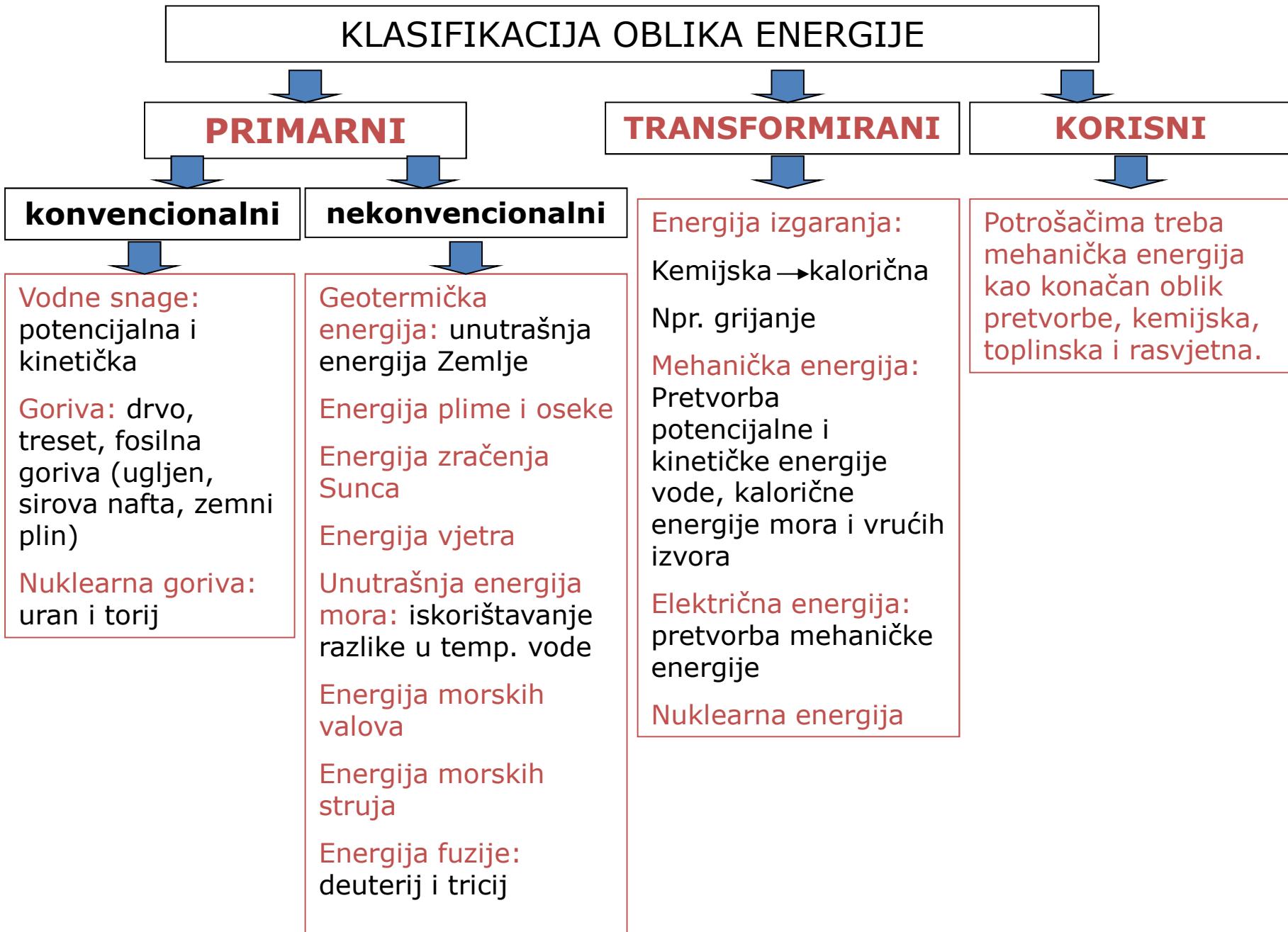
www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

VRSTE ENERGIJE

- **ENERGIJA** [Nm]=[J]=[Ws]
- **Oblici energije:**
 - **Energija položaja - potencijalna energija** : $E_p = mgH$
 - **Energija gibanja - kinetička energija** : $E_k = mv^2/2$
 - **Energija dovođenja ili odvođenja topline - kalorična energija**
 - **Energija izgaranja – kemijska energija**
 - **Energija razbijanja jezgara teških atoma – energija fisije**
 - **Energija spajanja lakih jezgara atoma – energija fuzije**



- PRIMARNI OBLICI ENERGIJE:
 - Mehanička energija: čovjek, životinje
 - Kemijska energija: drvo, ugljen, sirova nafta, zemni plin
 - Nuklearna energija: uran, torij, deuterij
 - Potencijalna energija: vodotoci, plima/oseka
 - Kinetička energija: vodotoci, valovi, vjetar, morske struje
 - Toplinska energija: geotermalni izvori, toplina mora
 - Energija zračenja: Sunčeva energija
- OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE:
 - Drvo (posjećeno drvo zamijeniti novoposađenim)
 - Vodne snage
 - Plima i oseka
 - Valovi mora
 - Toplina mora
 - Vjetar
 - Sunce
 - Toplina Zemlje
- Oblici energije koje je **tehnički moguće koristiti i ekonomski opravdano**: vodne snage, fosilna i nuklearna goriva.
- Oblici energije koje je **tehnički moguće koristiti, ali treba vidjeti da li je ekonomski opravdano**: Sunčev zračenje, energija vjetra, plime i oseke, morskih valova i topline mora.
- Oblici energije za koje još **nije riješen način iskorištavanja**: unutrašnja toplina zemlje, fuzija.

Termolelektrane



Nuklearna energija



Solarna energija



Energija vjetra

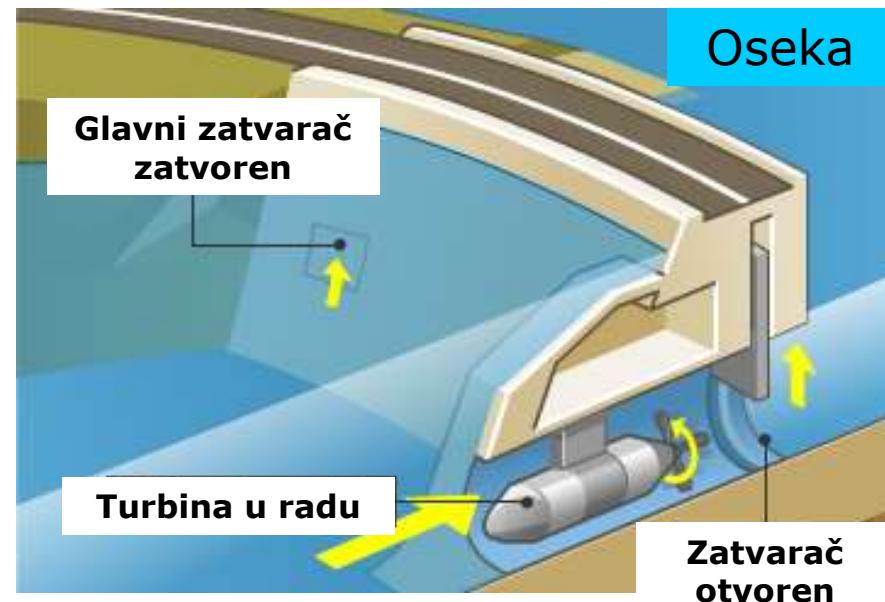
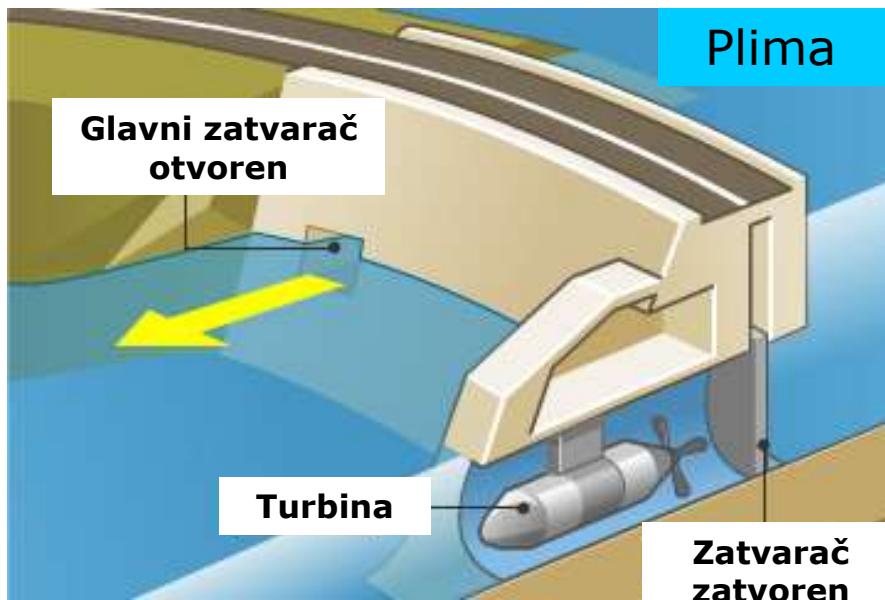


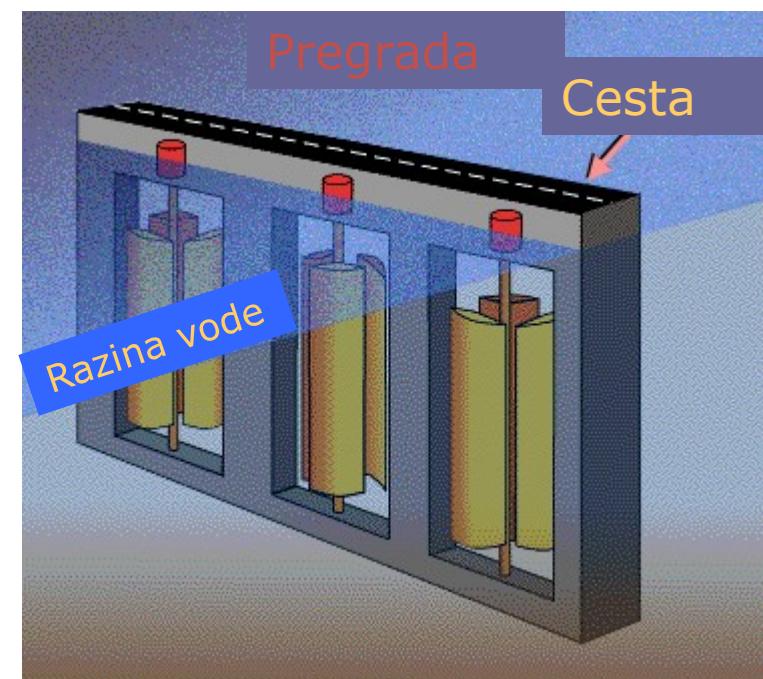
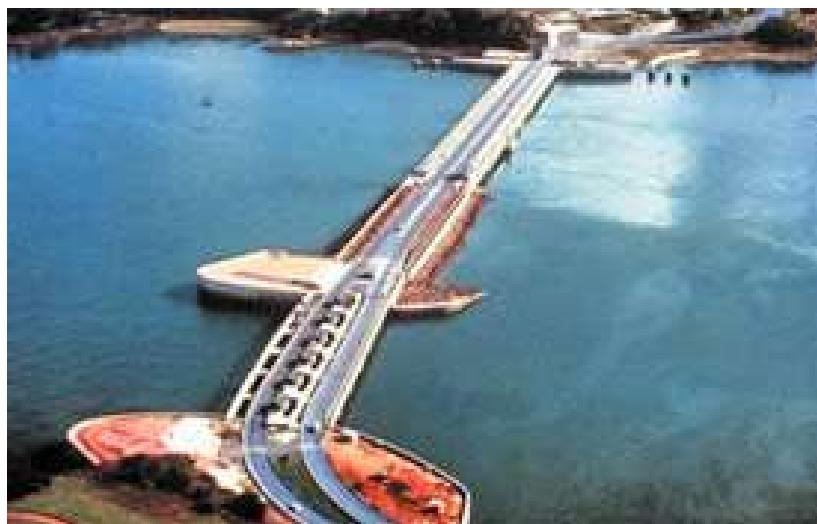
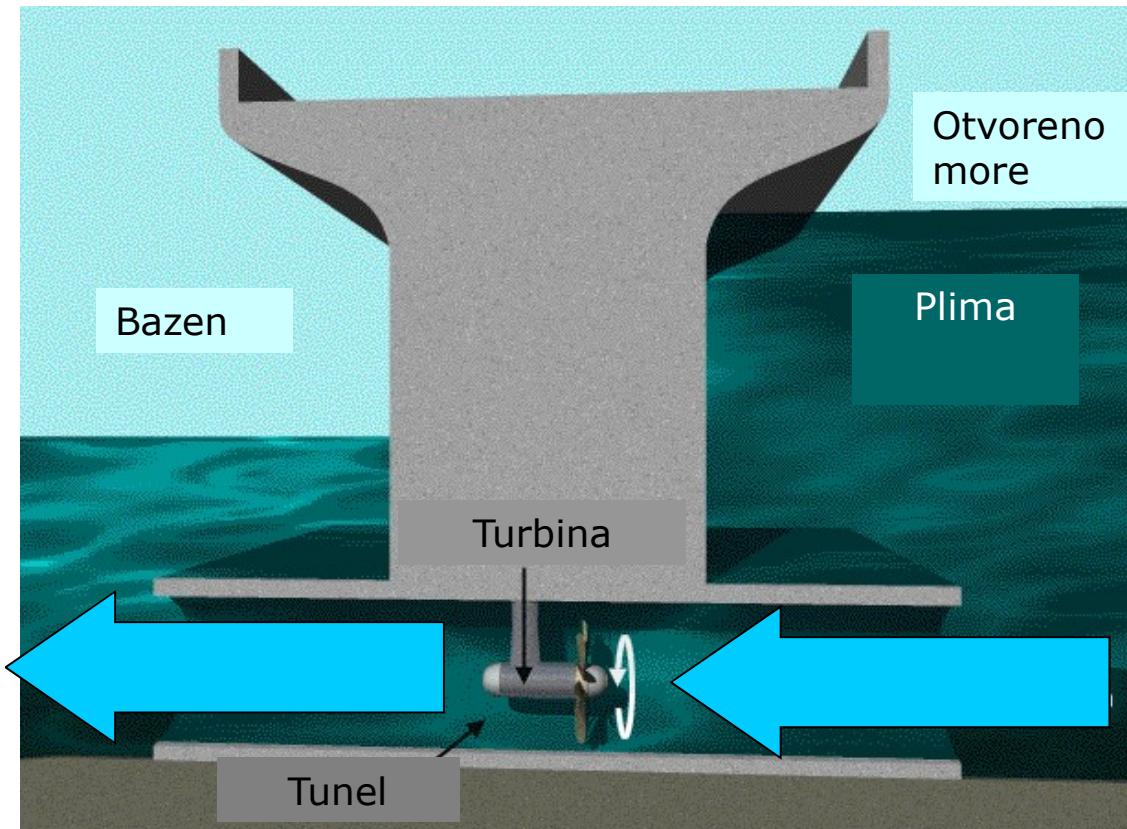
Geotermička energija: unutrašnja energija Zemlje



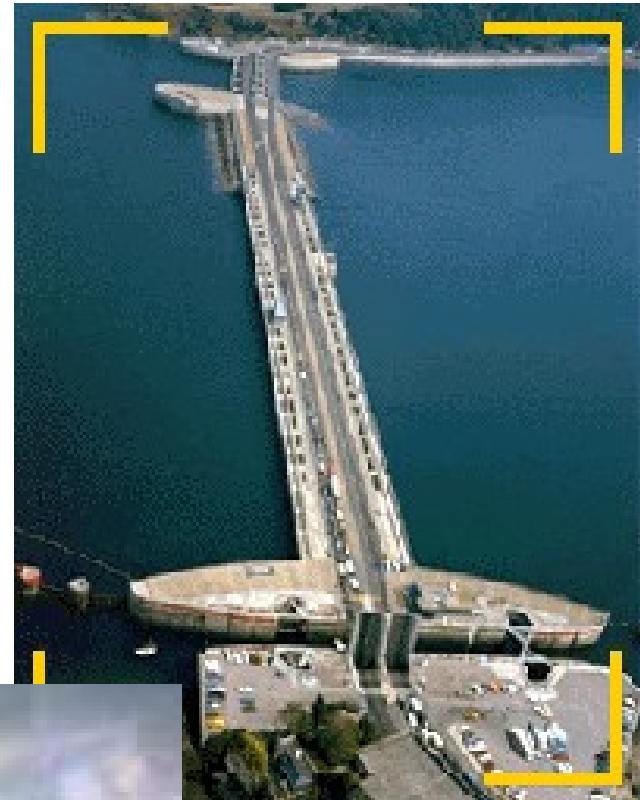
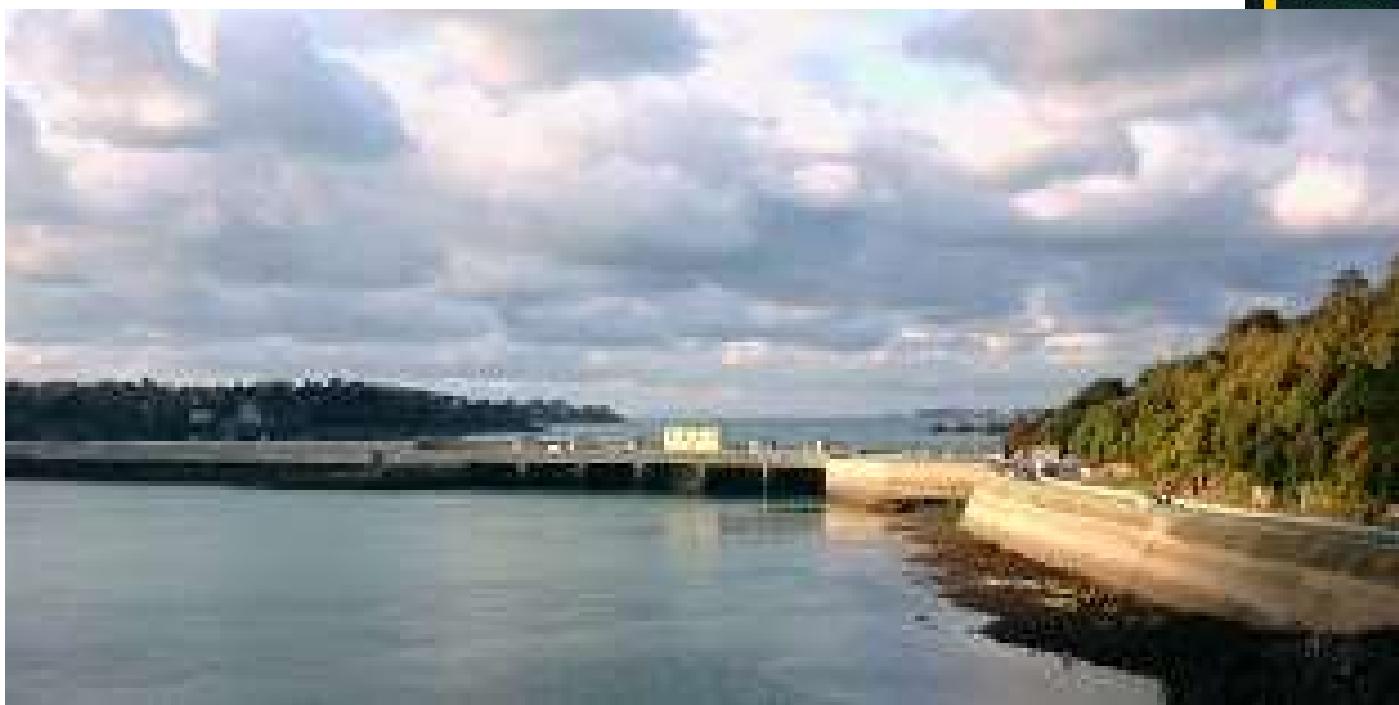
Npr. gejziri.

Energija plime i oseke

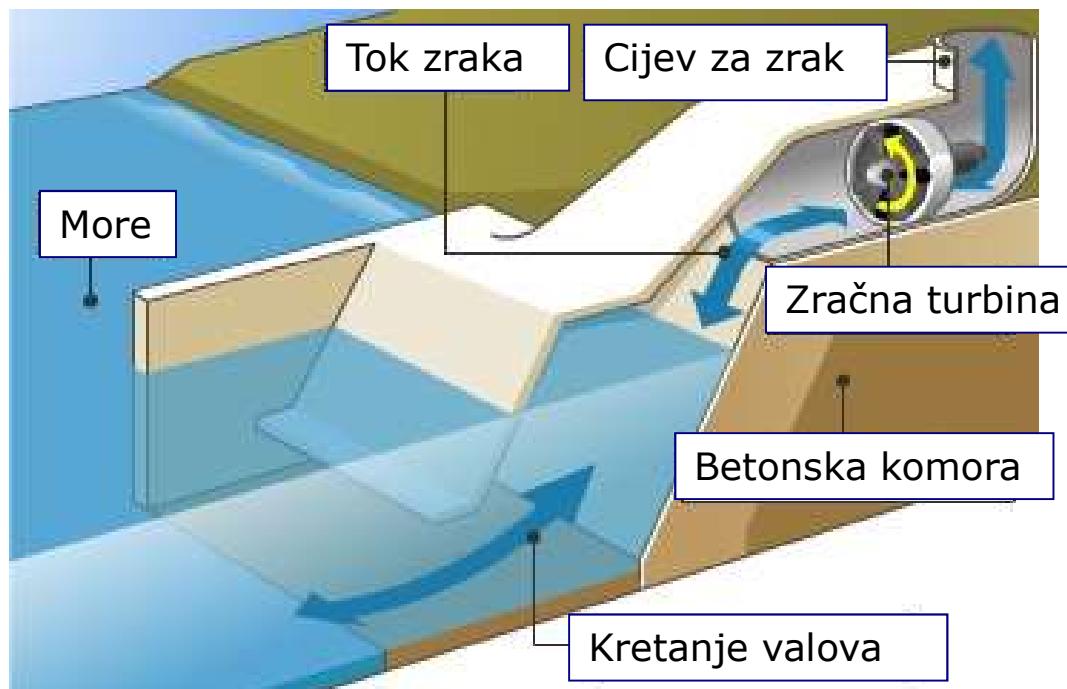




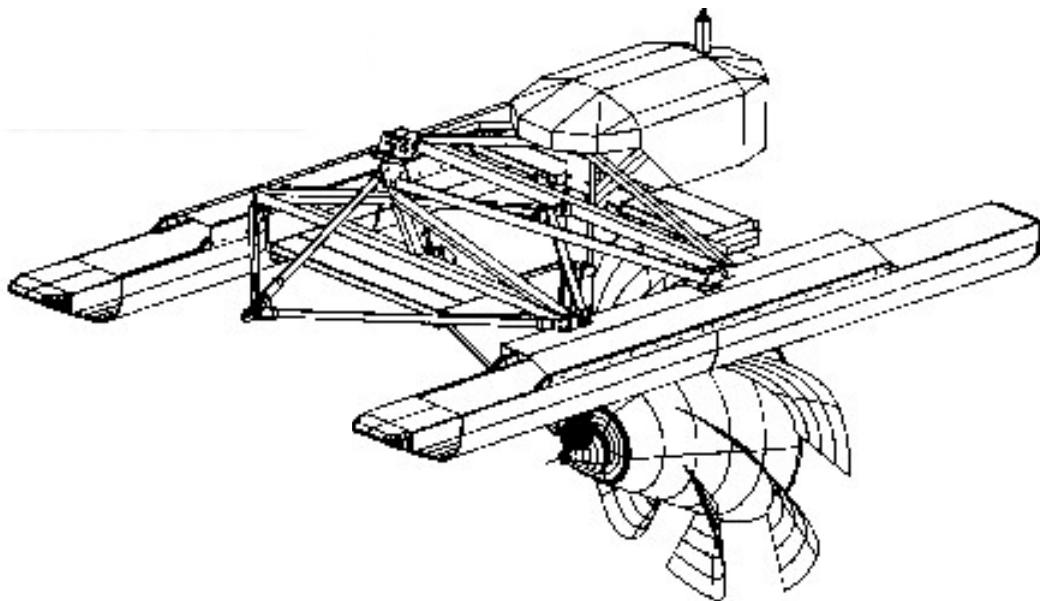
- La Rance je brana/HE koja koristi energiju plime i oseke.
- Izgrađena je 1960. blizu St. Malo u Francuskoj. 330 metara je duga i čini bazen od 22 km^2 . Razlika u razini vode za vrijeme plime i oseke iznosi 8 metara.



Energija valova



Energija morskih struja



Korištenje vodnih snaga

- Hidroenergetski potencijal je rad kojeg može izvršiti vodeno tijelo mase $V(m^3) \cdot \rho(kg/m^3)$ "padajući" za visinsku razliku $H (m)$.
- Energija je sposobnost da se izvrši rad i mjeri se radom koji se može izvesti.
- Energija E :

$$E = \rho \cdot g \cdot V \cdot H \text{ (Nm, J, Ws)}$$

- Snaga P je brzina rada (promjena rada/energije u jedinici vremena):

$$P = E/t \text{ (J/s, W)}$$

- Vodna snaga:

$$P = \rho_v \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ (J/s, W)}$$

HE u Hrvatskoj:

<http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/default.aspx>

- Pri korištenju vodnih snaga za $\rho_v=1000 \text{ kg/m}^3$ i $g=9,81 \text{ m/s}^2$ snaga se može izračunati iz izraza:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{netto}} \text{ u (kW)}$$

- Energija:

$$E = P \cdot T = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{netto}} \cdot T \text{ u (kWh)}$$

$$E = \rho \cdot g \cdot V \cdot H_{\text{netto}} \text{ u (Ws)}$$

$$E = 9810 \cdot V \cdot H_{\text{netto}} / (1000 \cdot 3600) = V \cdot H_{\text{netto}} / 367 \text{ u (kWh)}$$

$$E = V \cdot H_{\text{netto}} / 367 \text{ u (kWh)}$$

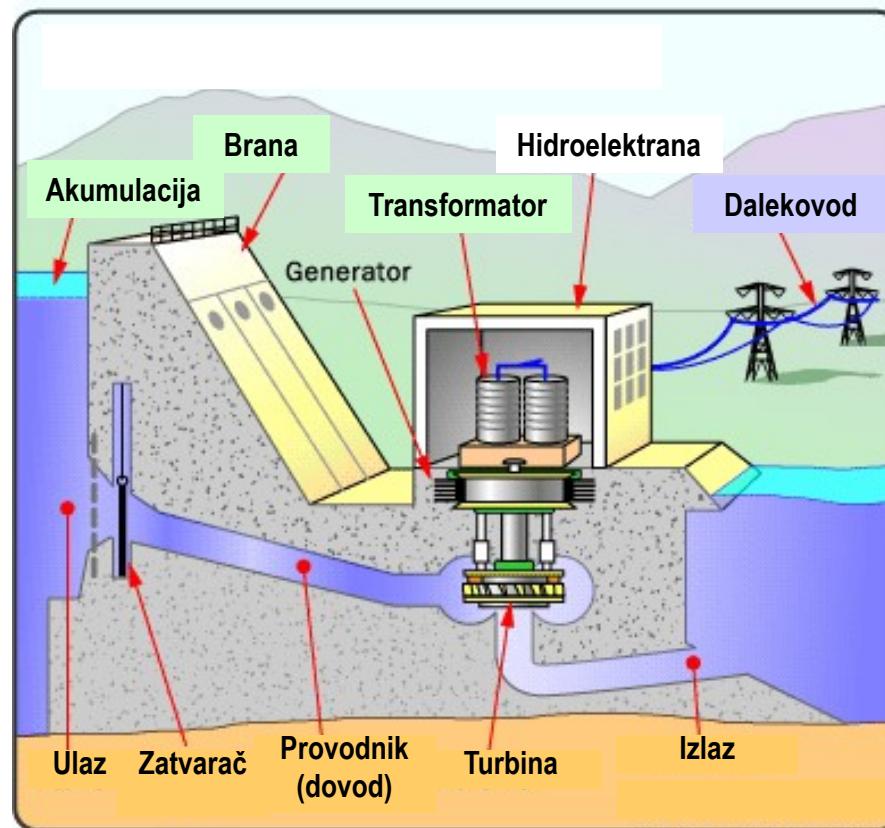
- Koeficijent korisnog djelovanja:

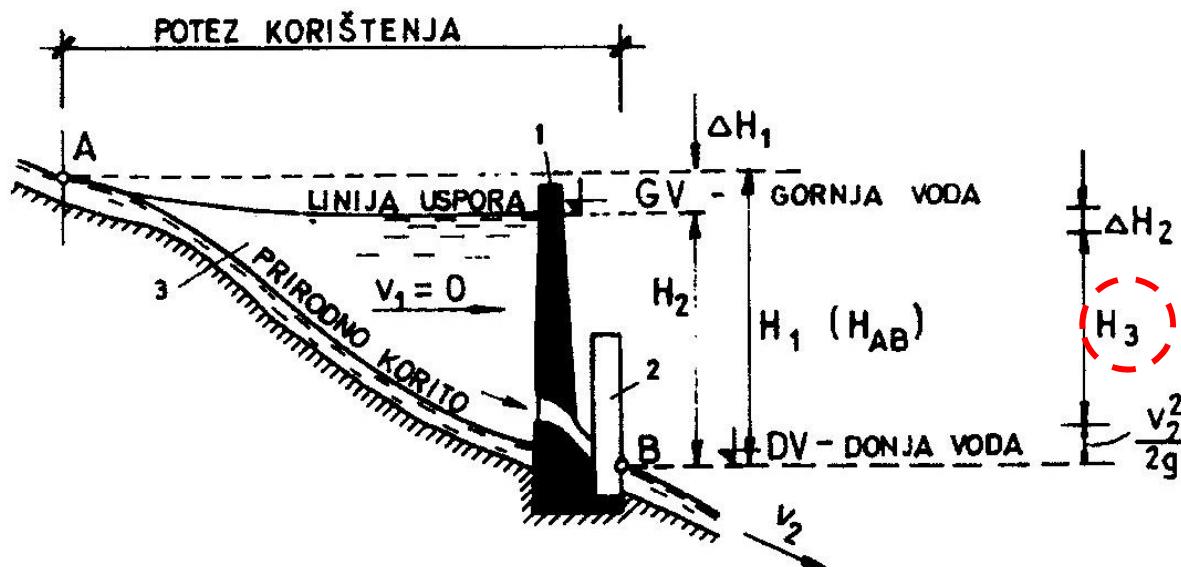
Korisni učinak u turbini, generatoru i transformatoru = η_t

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

$$E = V \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t / 367 \text{ u (kWh)}$$

Pribranske hidroelektrane





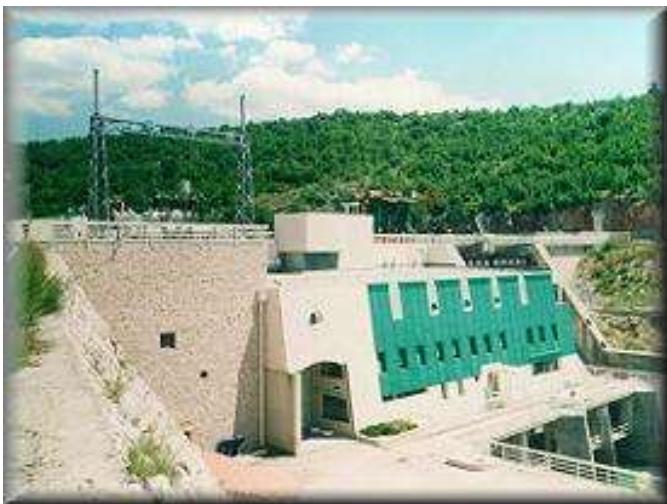
1 - BRANA ; 2 - HIDROELEKTRANA ; 3 - AKUMULACIJA .

- horizontalna udaljenost između točaka A i B, **potez korištenja**,
- H_1 , pad poteza korištenja,
- H_2 , **statički pad** (GV-DV), u ovom slučaju i koncentrirani pad,
- H_3 , **neto pad**, $H_n = H_2 - (\Delta H_2 + v^2/2g)$,
- ΔH_1 , gubitak na padu u području uspora,
- ΔH_2 , gubitak na padu u dovodu do ulaza u turbinu.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

$$E = V \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t / 367 \text{ u (kWh)}$$

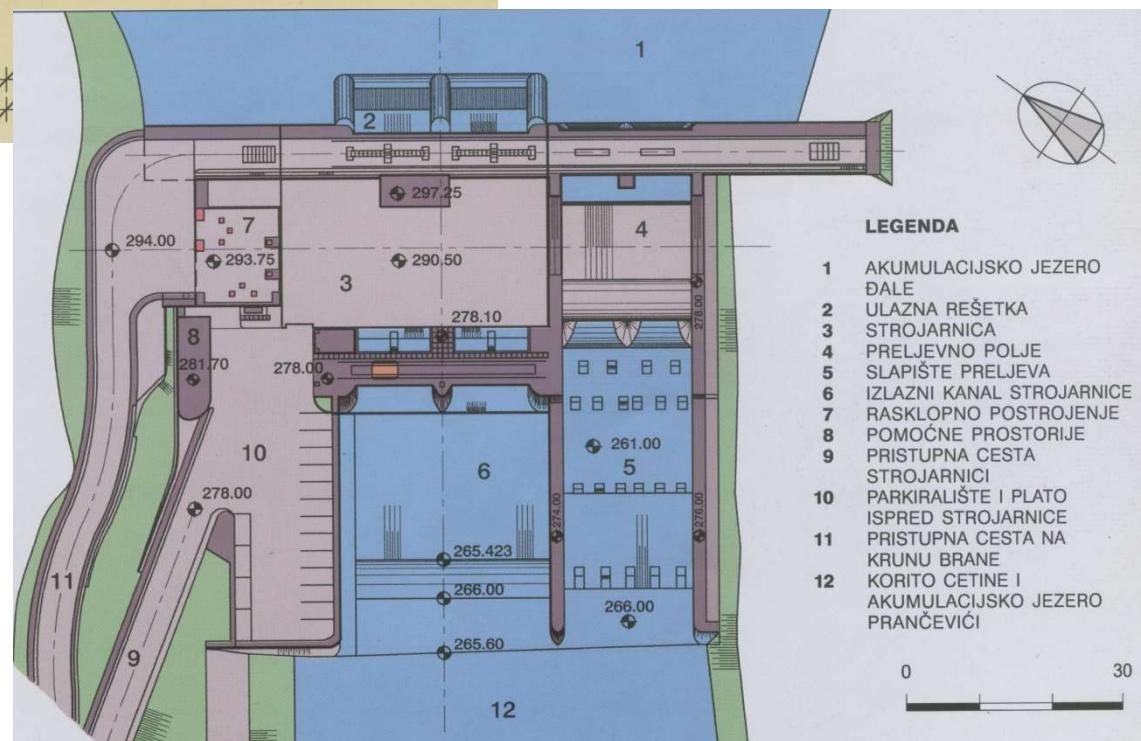
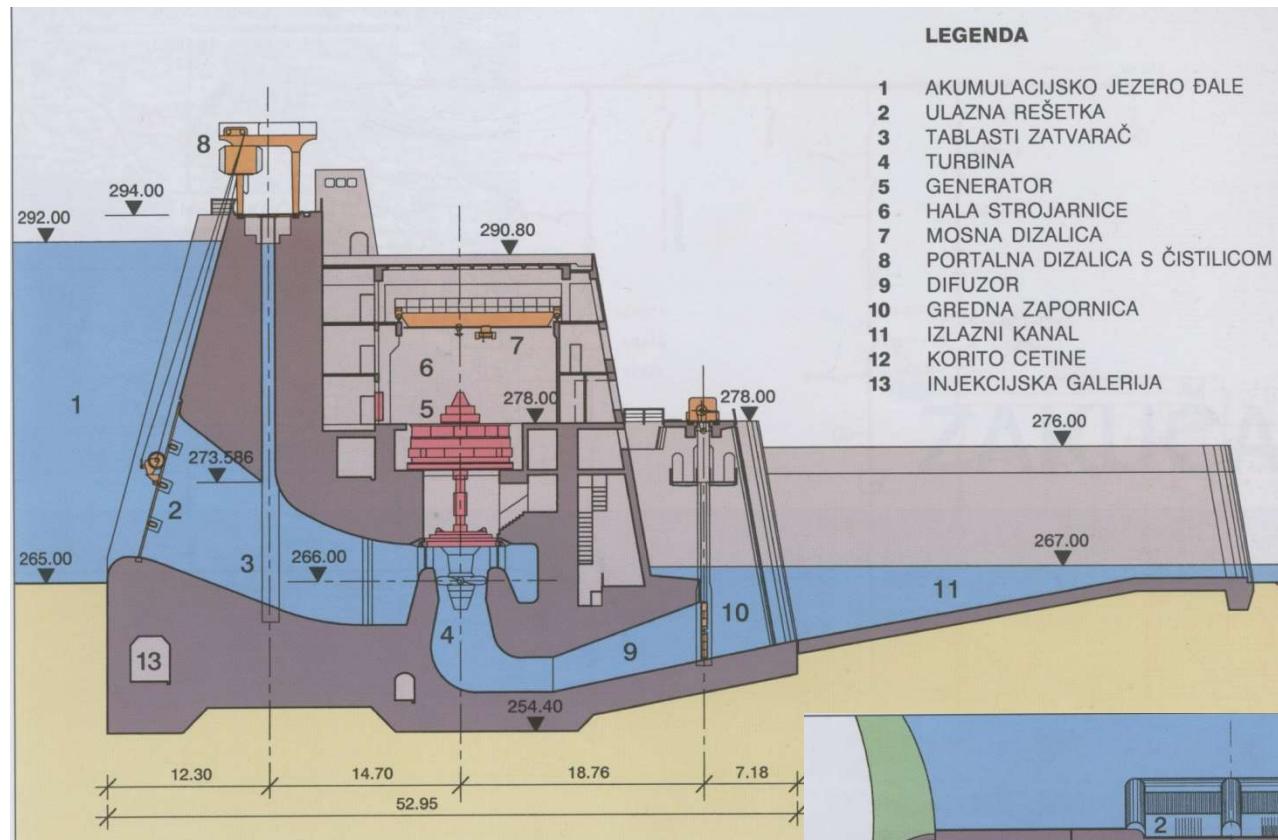
Primjer pribranske HE – HE ĐALE (rijeka Cetina)



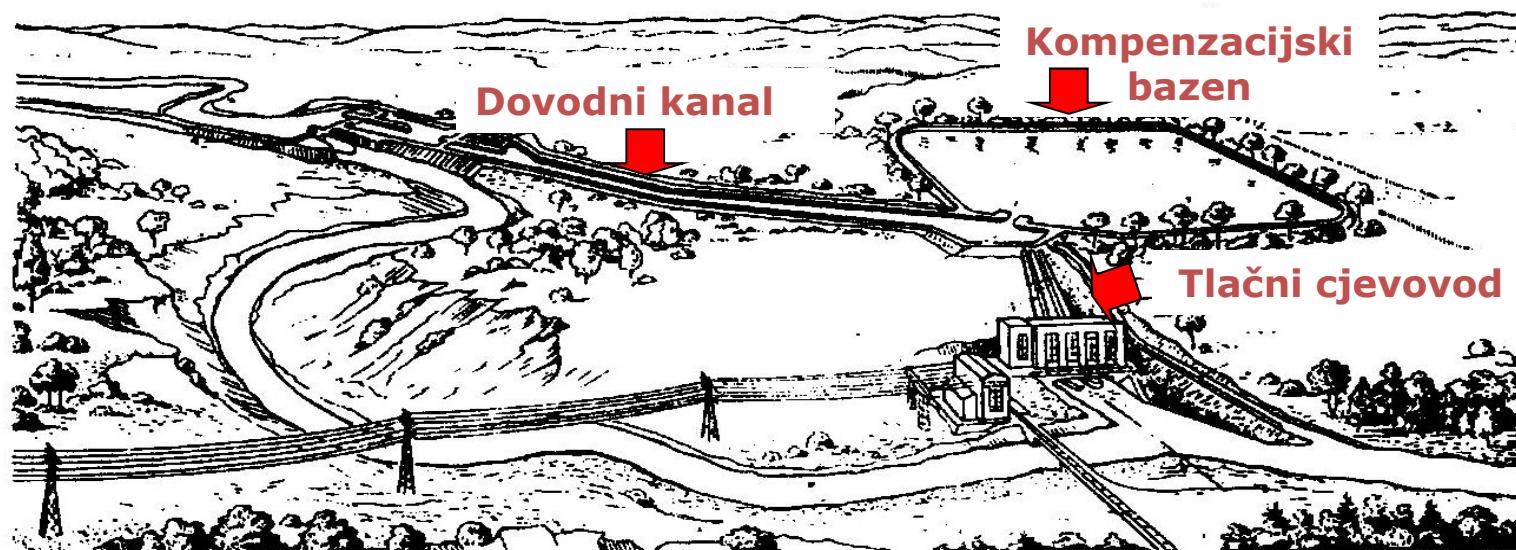
HE Đale je pribranska elektrana smještena na rijeci Cetini 5.8 km nizvodno od Trilja.

Akumulacija HE Đale služi za dnevno izravnjanje protoka.
Puštena je u pogon 1989. god.

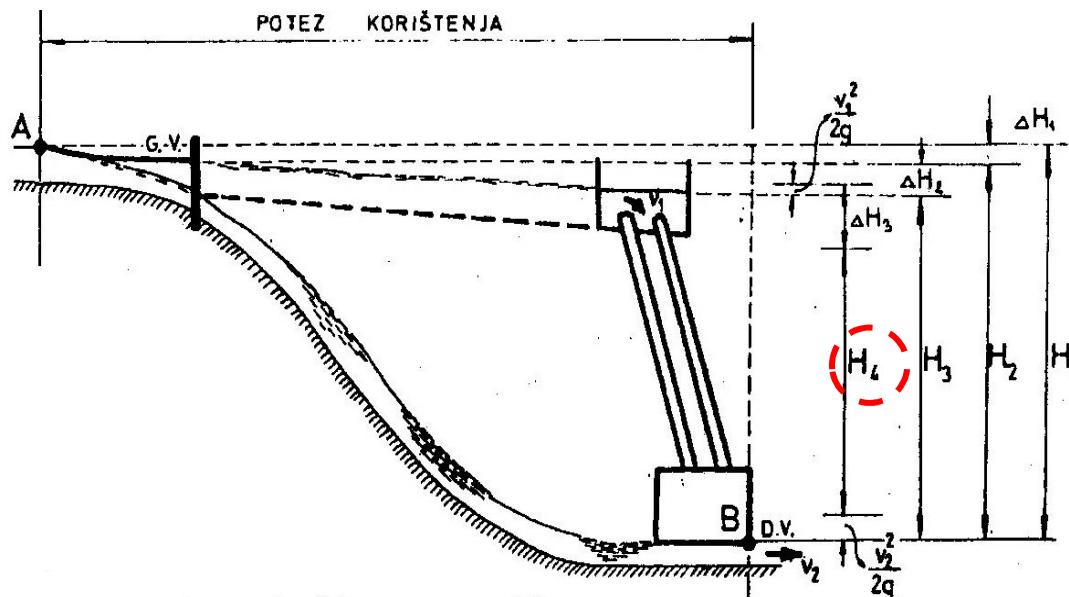
Betonska gravitacijska brana visine 40.50 m, zapremnine 3.7 hm^3 , ukupne dužine 110.0 m, širine u kruni 8.8 m, a u temelju 52.95 m. Preljev je širine 20.0 m opremljen zatvaračem, dva temeljna ispusta su opremljena regulacijskim pločastim zatvaračima, a turbine revizijskim preturbinskim zatvaračima. Strojarnica je smještena u tijelu brane, opremljena s dvije proizvodne grupe, turbine Kaplan, **instalirani protok** $220.0 \text{ m}^3/\text{s}$, **pad** 21.0 m, **instalirana snaga** 40.8 MW. **Srednja godišnja proizvodnja** HE Đale je 107.5 GWh.



Derivacijske hidroelektrane



Derivacijska HE s dovodnim kanalom i tlačnim cjevovodom



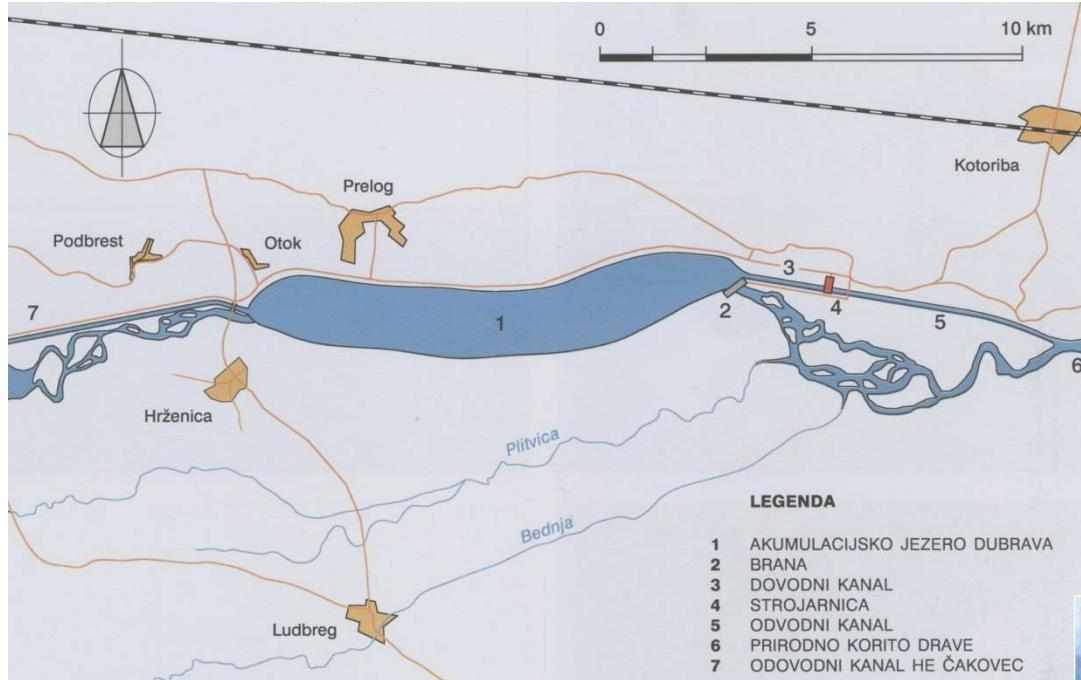
Derivacijska hidroelektrana s gravitacijskim dovodom-padovi

- horizontalna udaljenost između točaka A i B, **potez korištenja**,
- H_1 , pad poteza korištenja,
- H_2 , **statički pad** hidroektrane (GV-DV),
- H_3 , **konzentrirani pad**, $H_2 - \Delta H_2$
- H_4 , **neto pad**, $H_n = H_2 + v_1^2/2g - v_2^2/2g - \Delta H_2 - \Delta H_3$,
- ΔH_1 , gubitak na padu u području uspora,
- ΔH_2 , gubitak na padu u derivaciji,
- ΔH_3 , gubitak na padu u dovodu.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

$$E = V \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t / 367 \text{ u (kWh)}$$

Primjer derivacijske HE s dovodnim kanalom – HE DUBRAVA (rijeka Drava)



Tip HE: derivacijska s akumulacijom za dnevno i djelomično tjedno uređenje dotoka

Ukupna snaga: 76 MW

Energetski podaci:

instalirani protok: $Q_i = 500 \text{ m}^3 / \text{s}$

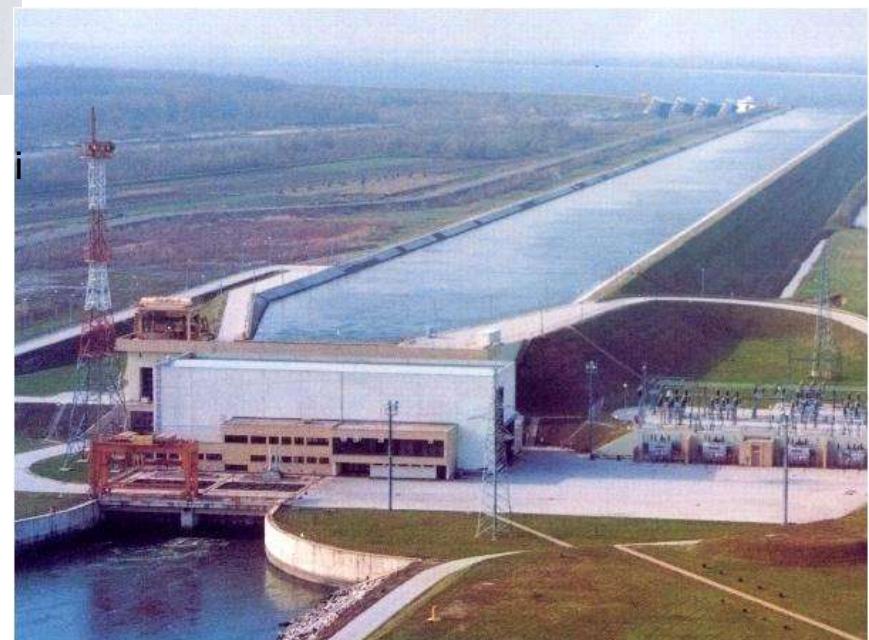
brutto pad za: Q_i , $H = 17,5 \text{ m}$

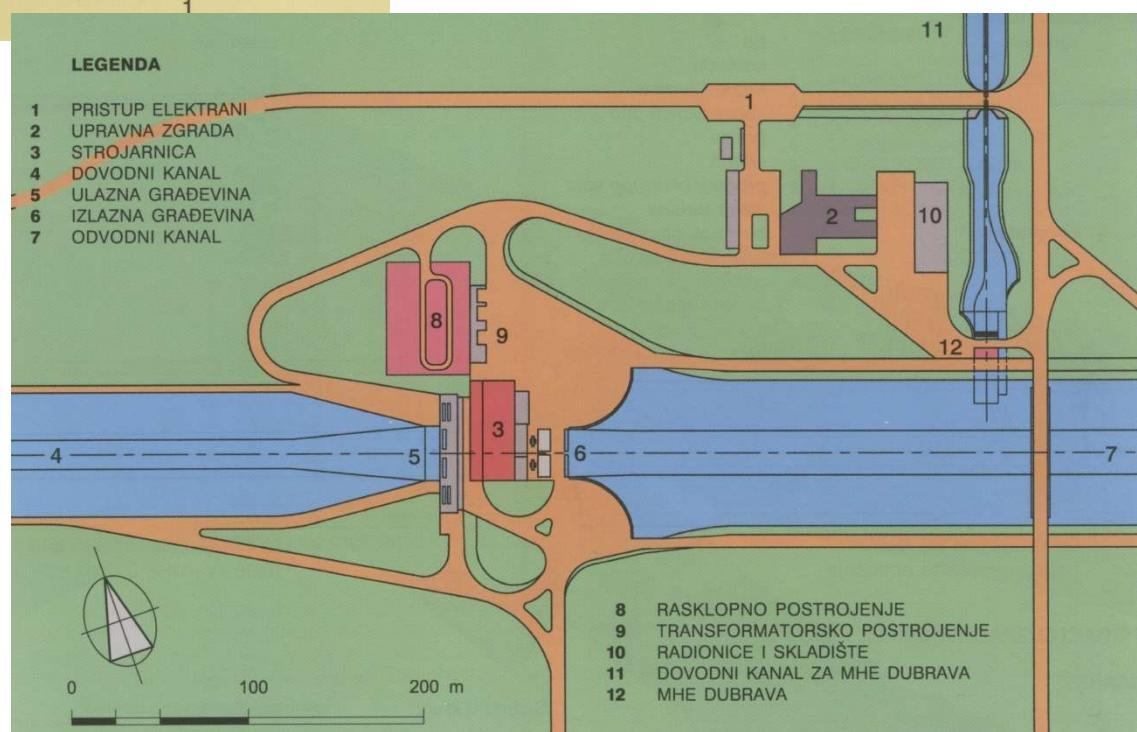
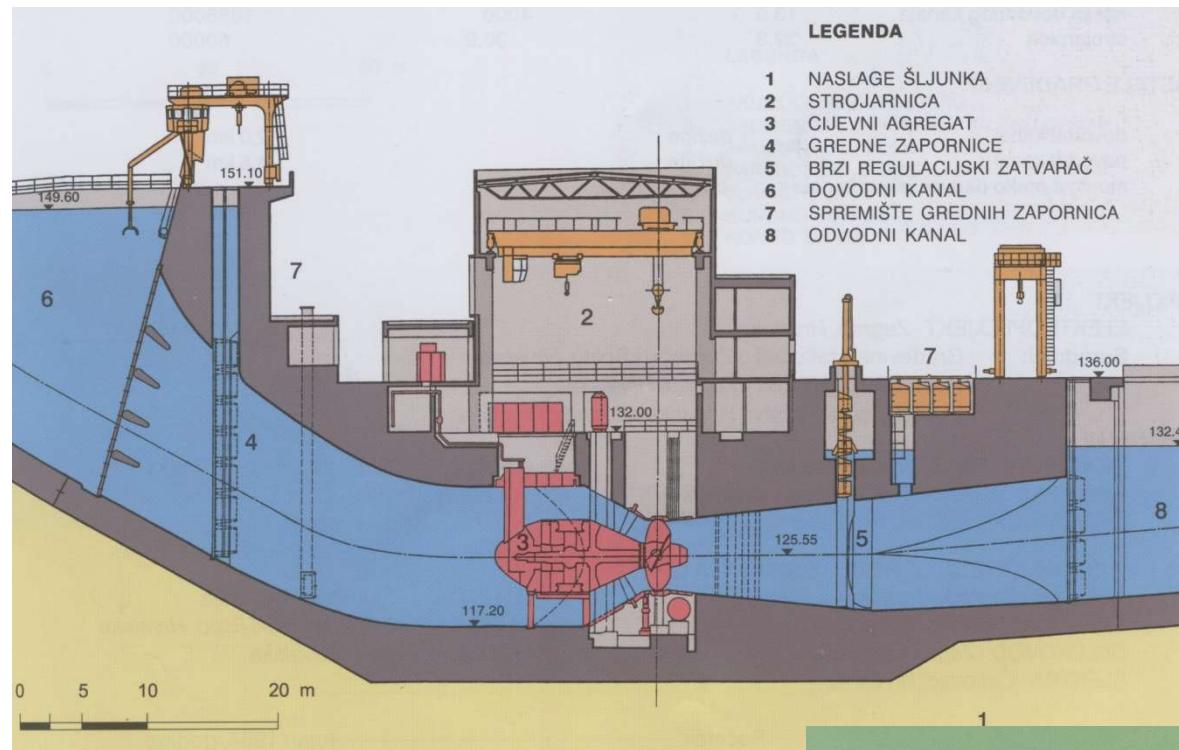
maksimalna snaga: $P_{\max} = 76$ (2x38)MW

kor. volumen akumul.: 16,6 hm³

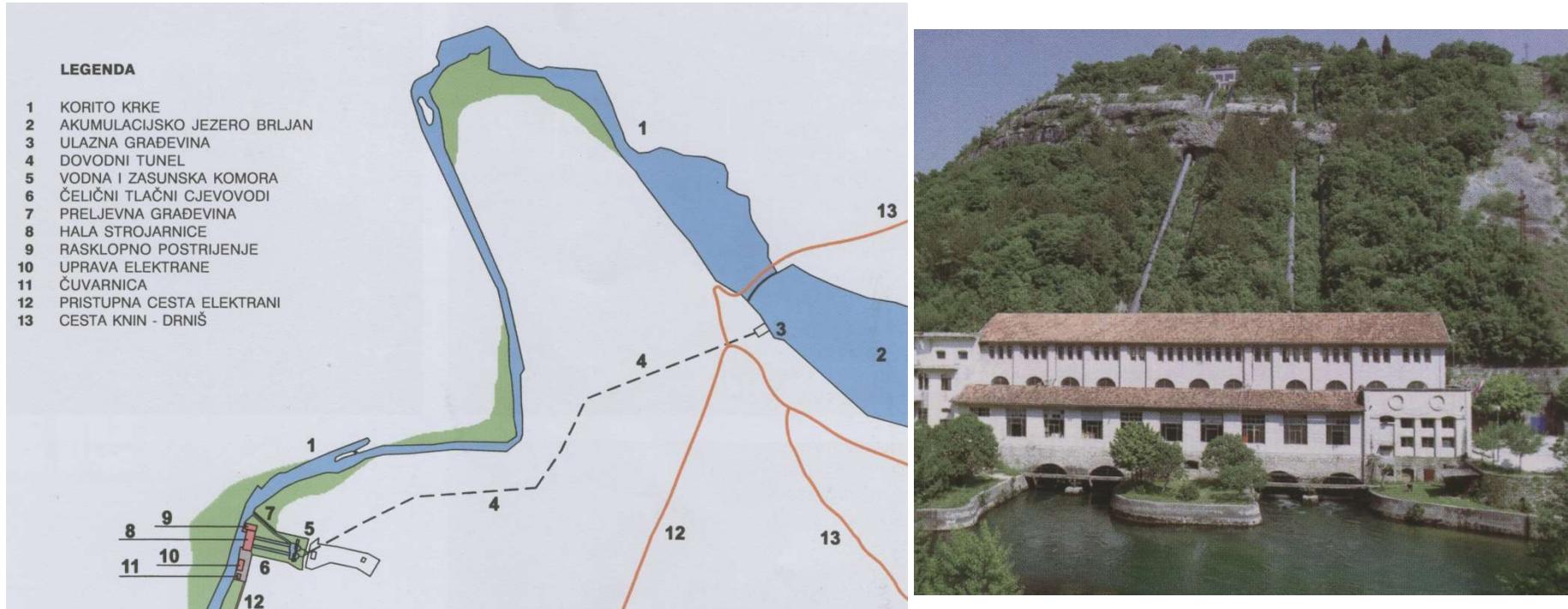
prosječna god. proizvodnja: 350 GWh

HE Dubrava je višenamjenska protočno derivacijska hidroelektrana dravskog sliva koja predstavlja posljednju stepenicu na dionici Drave od granice Slovenije do utoka Mure. Hidroelektrana energetski koristi potencijal rijeke Drave za proizvodnju električne energije, povećava zaštitu od poplava, poboljšava odvodnju, omogućuje gravitacijsko natapanje poljoprivrednih površina te ostvaruje uvjete za razvoj športa i rekreatcije.





Primjer derivacijske HE s tunelskim dovodom sa slobodnim vodnim licem– HE MILJACKA (rijeka Krka)



Opći podaci:

položaj: područje županije Šibensko kninske na rijeci Krki, 15 km nizvodno od Knina

tip hidroelektrane: derivacijska

godina početka pogona: 1906.

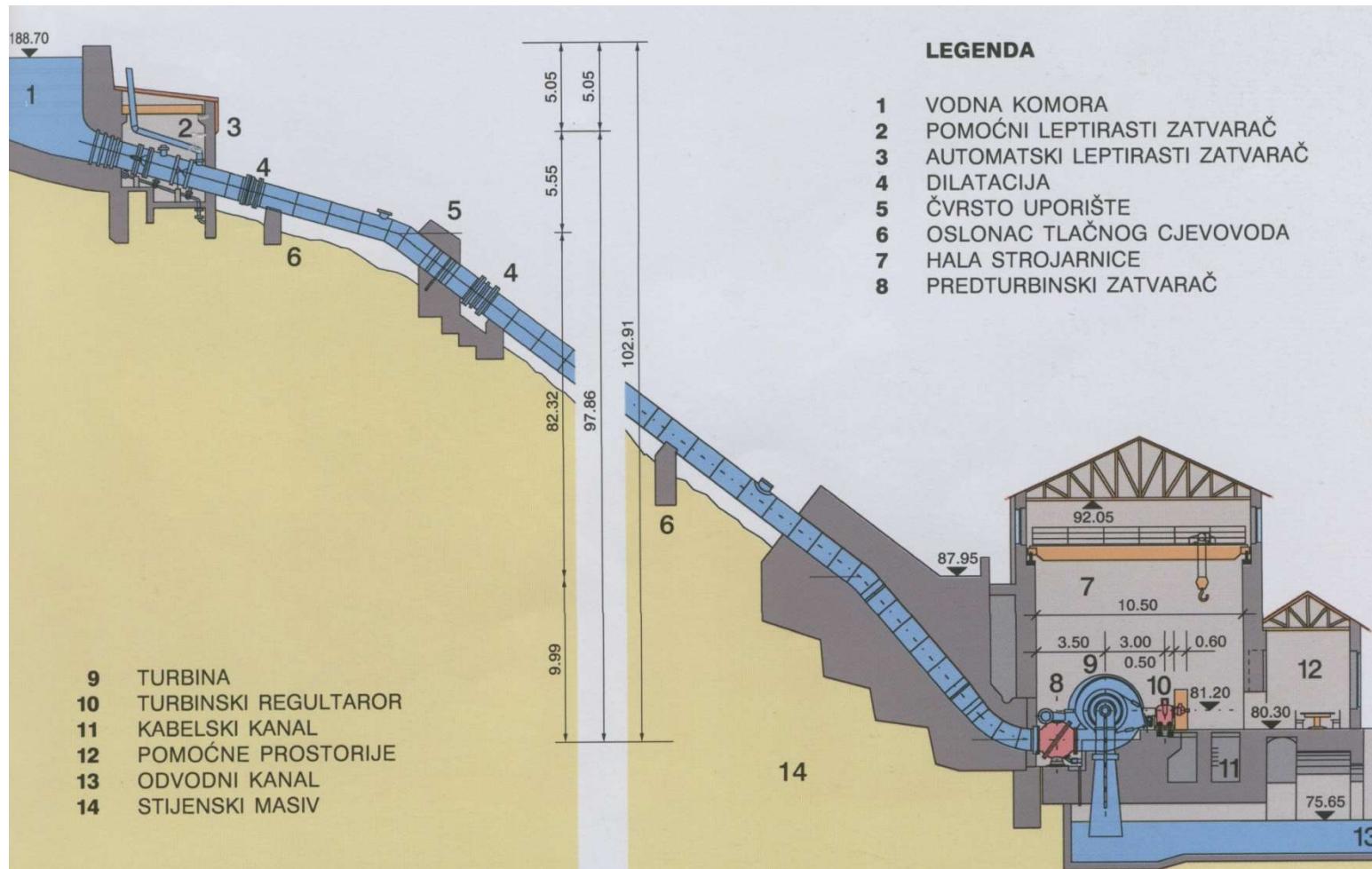
Energetski podaci:

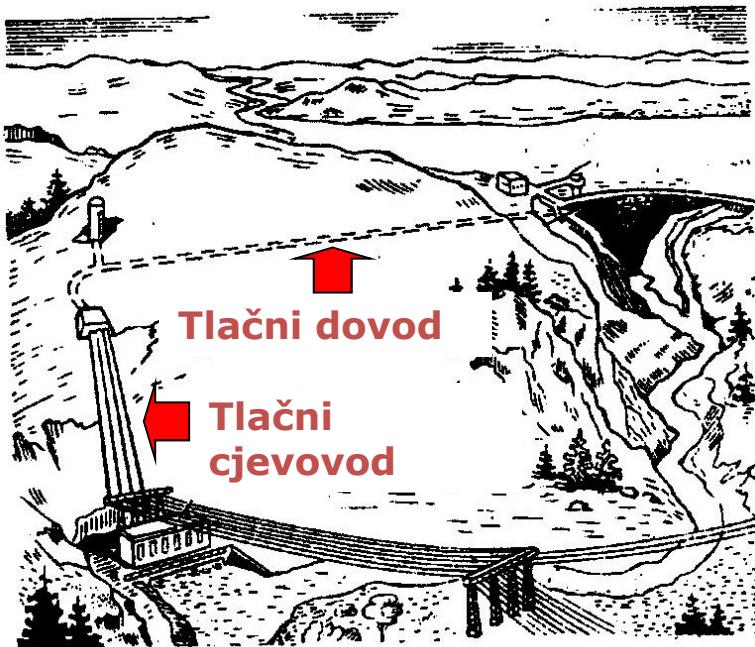
instalirani protok: $Q_i = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3 \times 8 + 1 \times 6$)

konstruktivni pad: $H_t = 102 \text{ m}$

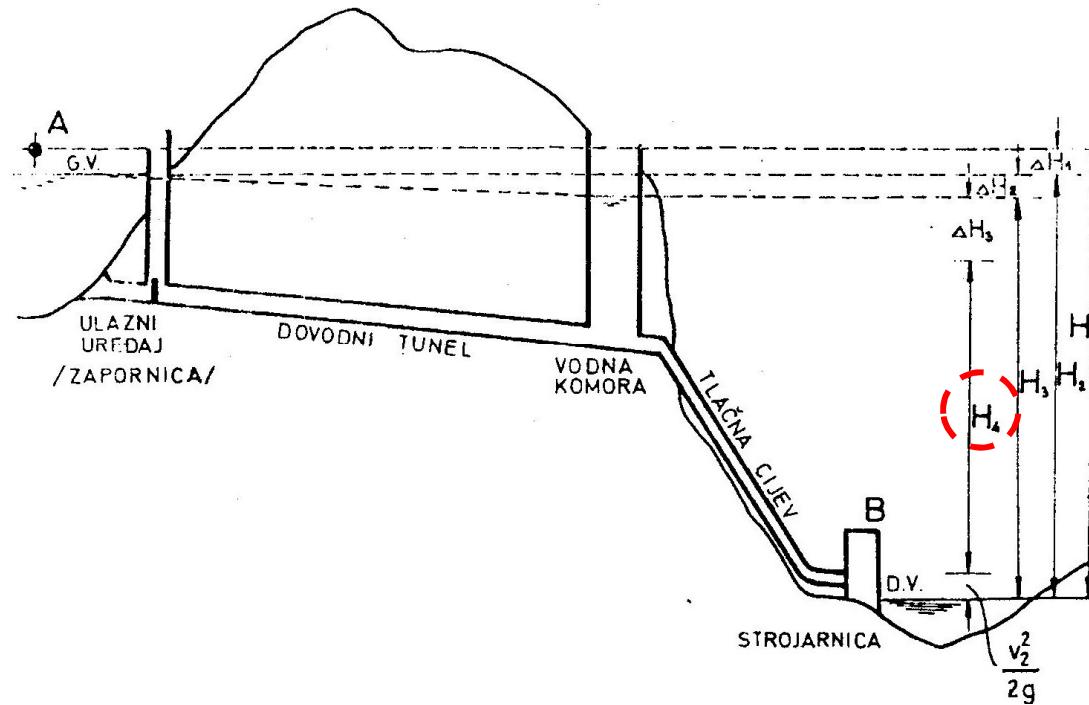
instalirana snaga turbina: 24 MW ($3 \times 6,4 + 1 \times 4,8$)

maksimalna godišnja proizvodnja: ('81-'97) $E_{\max} = 147 \text{ GWh}$ ('74)





Derivacijska HE s
dovodom/derivacijom pod tlakom



- H_1 , pad poteza korištenja,
- H_2 , **statički pad** hidroelektrane (GV-DV),
- H_3 , koncentrirani pad,
- H_4 , neto pad,
- ΔH_1 , gubitak na padu u području uspora,
- ΔH_2 , gubitak na padu u derivaciji,
- ΔH_3 , gubitak na padu u dovodu.

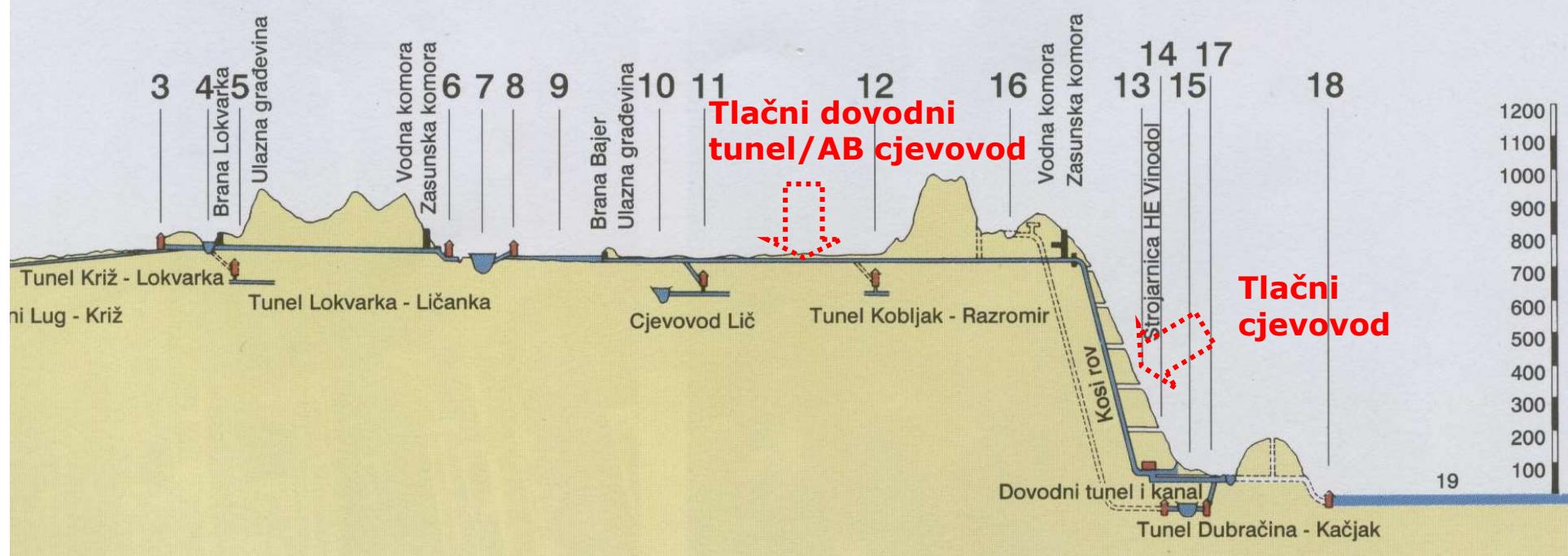
$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t \text{ u (kW)}$$

$$E = V \cdot H_{\text{netto}} \cdot \eta_t / 367 \text{ u (kWh)}$$

Primjer derivacijske HE s tunelskim dovodom pod tlakom – HE VINODOL

LEGENDA

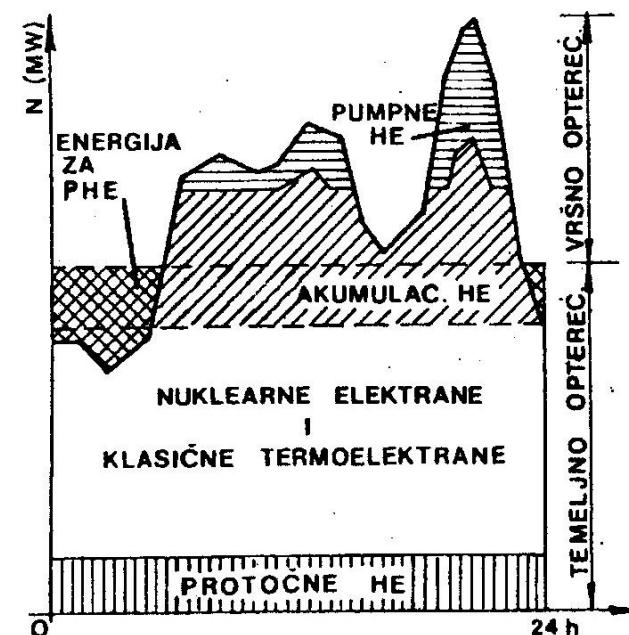
- | | | | |
|---|-------------------------------|----|-----------------------------|
| 1 | CS CRNI LUG - PLANIRANO | 10 | RETENCIJA POTKOŠ |
| 2 | CS TOMAC - PLANIRANO | 11 | CS LIČ |
| 3 | CS KRIŽ | 12 | CS POTKOBILJAK - PLANIRANO |
| 4 | AKUMULACIJSKO JEZERO LOKVARKA | 13 | HE VINODOL |
| 5 | CS LOKVE - PLANIRANO | 14 | PAHE VINODOL II - PLANIRANO |
| 6 | CHE FUŽINE | 15 | DONJI BAZEN |
| 7 | AKUMULACIJSKO JEZERO LEPENICA | 16 | GORNJI BAZEN - PLANIRANO |
| 8 | CHE LEHENICA | 17 | CS TRIBALJ |
| 9 | AKUMULACIJSKO JEZERO BAJER | 18 | HE KAČJAK - PLANIRANO |
| | | 19 | JADRANSKO MORE |

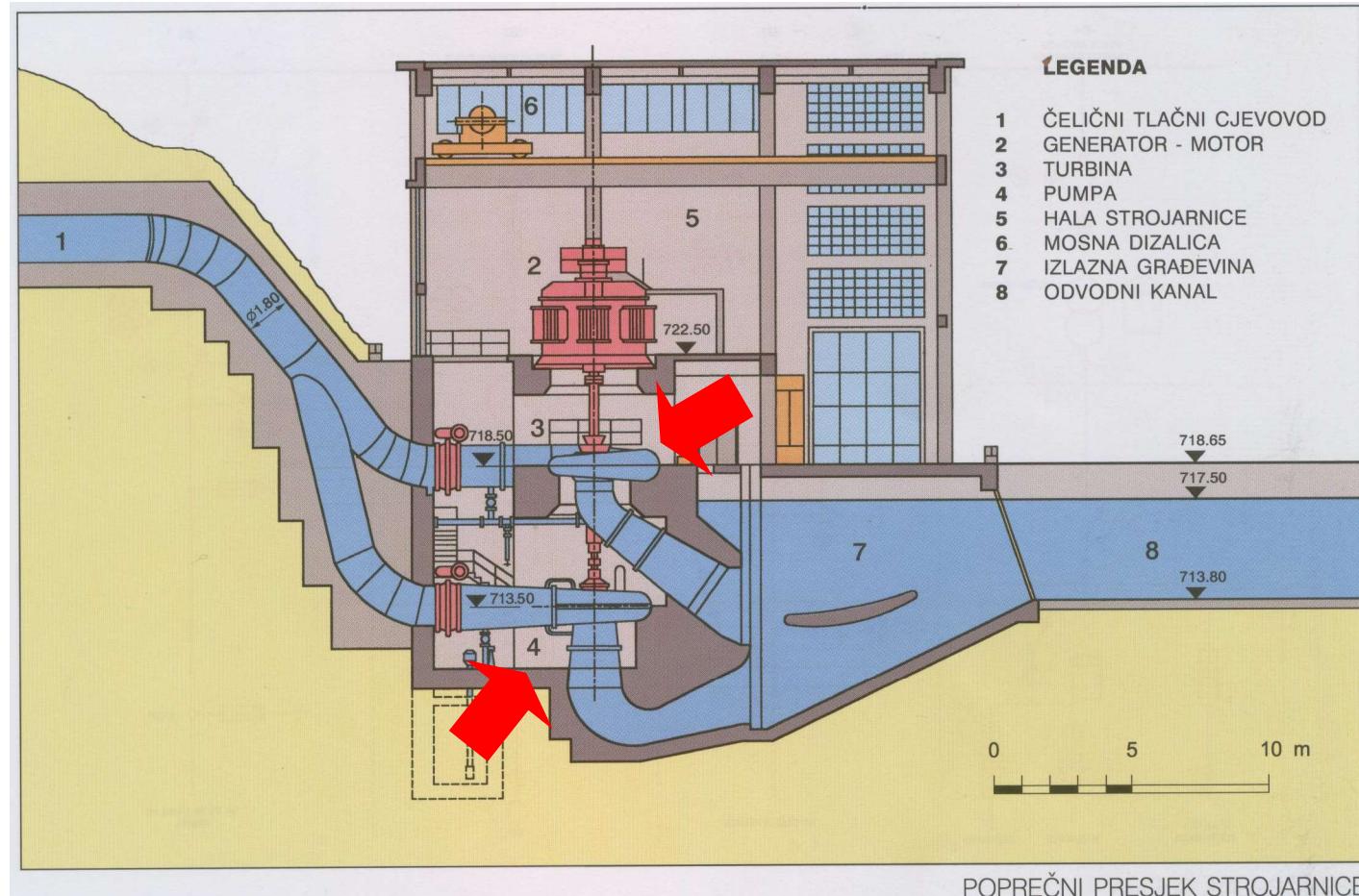


Reverzibilne (pumpnoakumulacijske) HE

- U periodu skuplje energije (vršna potreba) na HE se proizvodi el. energija, dovodi se voda na turbine.
- Voda se sprema u bazen uz HE.
- U periodu jeftinije energije voda se crpi/pumpa u akumulaciju korištenjem energije iz npr. termoelektrana.
- Zarada je na razlici cijene SKUPE-JEFTINE el. energije.

- Dijagram energije – dnevno opterećenje





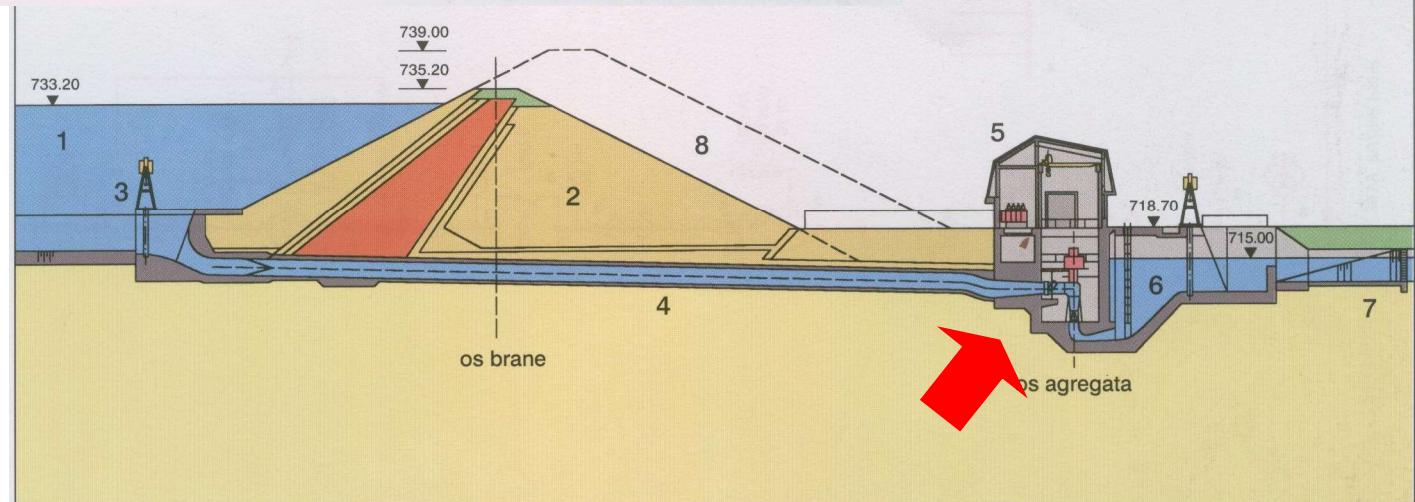
← **CHE Fužine**

LEGENDA

- AKUMULACIJSKO JEZERO LEPENICA
- BRANA
- ULAZNA GRAĐEVINA
- TEMELJNI ISPUST I TLAČNI CJEVOVOD
- STROJARNICA
- SLAPIŠTE
- ODVODNI KANAL
- PLANIRANA II FAZA IZGRADNJE

POPREČNI PRESJEK STROJARNICE

**CHE
Lepenica** →



→ **CHE
Lepenica**

HE prema veličini

- Male HE $P < 10 \text{ MW}$ (5 MW)
- Mini HE $P < 2 \text{ MW}$
- Mikro HE $< 500 \text{ KW}$



TURBINE

- Turbine su hidraulički strojevi u kojima se mehanička energija vode: potencijalna i kinetička pretvara u mehaničku energiju vrtnje stroja.
- Podjela turbina s obzirom na opći tok strujanja vode kroz rotor turbine:
 - Radijalne: **Francis**
 - Aksijalne: **Propeler i Kaplan**
 - Tangencijalne: **Pelton**
 - Radijalno-aksijalne: **Dijagonalne**
- S obzirom na dio turbine koji je pod vodom:
 - Turbine slobodnog mlaza - AKCIJSKE: **Pelton**
 - Predtlačne turbine (s viškom tlaka) - REAKCIJSKE: **Francis, Kaplan, Propeler, Dijagonalna**

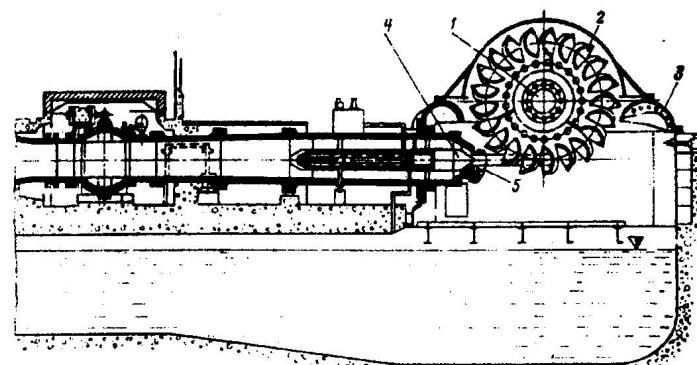
PELTON turbine

(H=400-1600m)

- Primjenjuje se kod vrlo velikih padova (pritisaka).

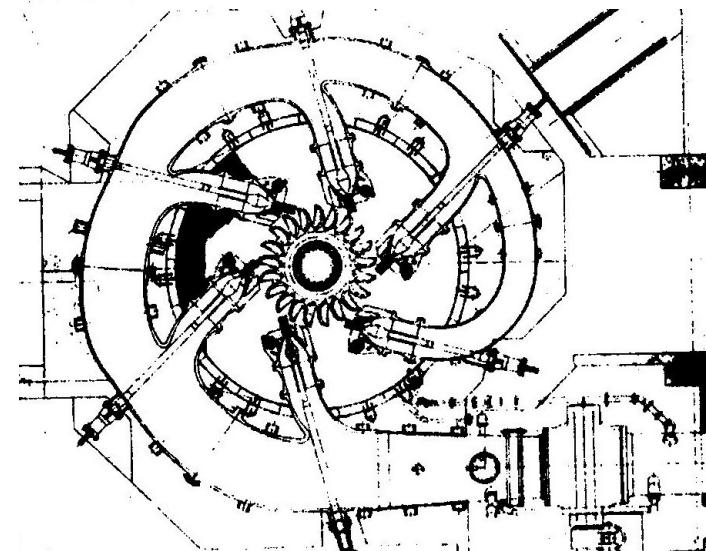


1. osovina okretnog kola
2. lopatice
3. limeno kućište
4. regulacijska igla
5. otklanjač mlaza



Pelton turbina s jednom mlaznicom

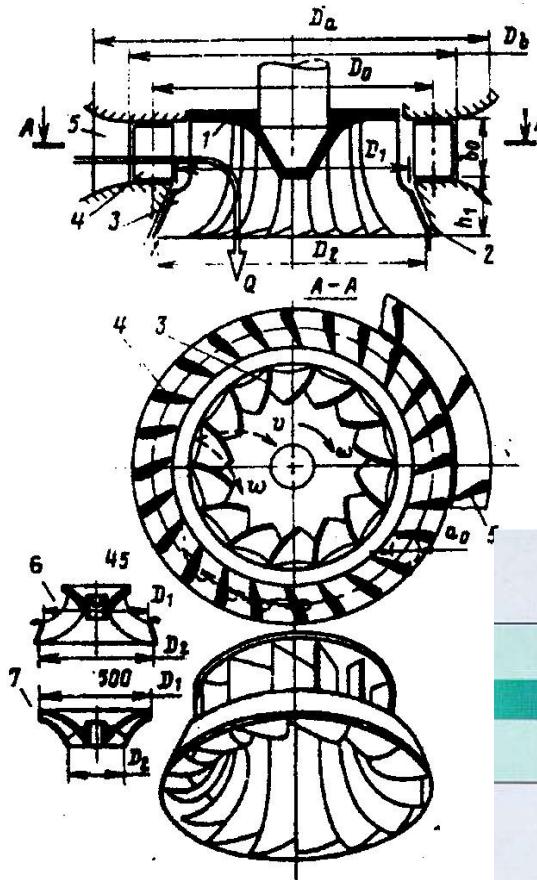
Pelton turbina s 6 mlaznicama



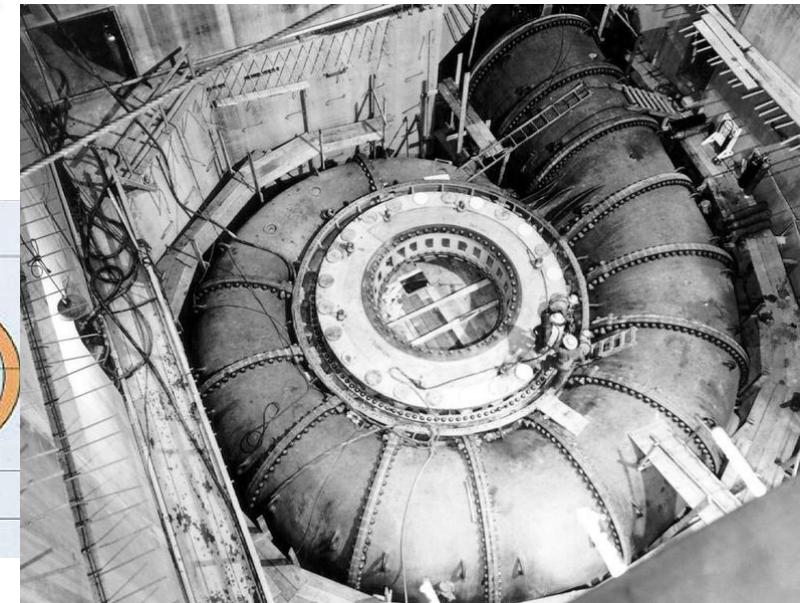
FRANCIS turbine

(H=300-600m)

- Primjenjuje se kod većih padova (pritisaka).

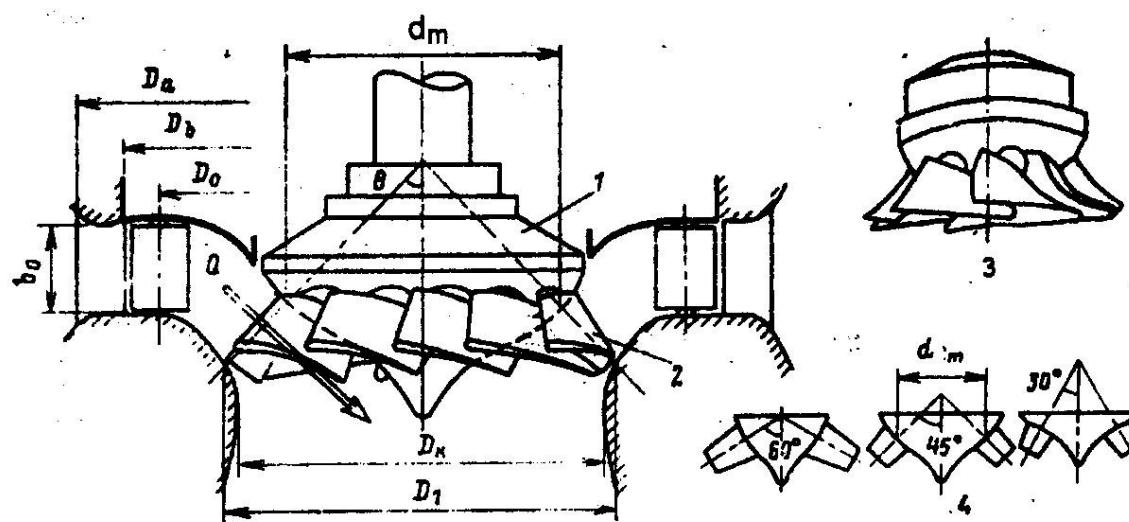
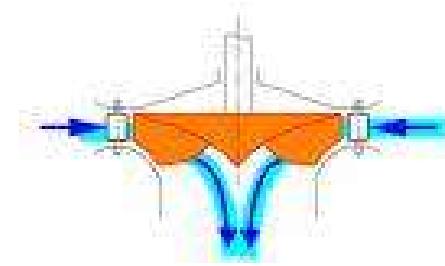


1. poklopac turbine
2. okretno kolo
3. lopatice okretnog kola
4. pokretne lopatice sprovodnog kola
5. nepokretne lopatice statora
6. oblik rotora za pad 45 m
7. oblik rotora za pad 500 m



DIAGONALNE turbine

(H=40-220m)

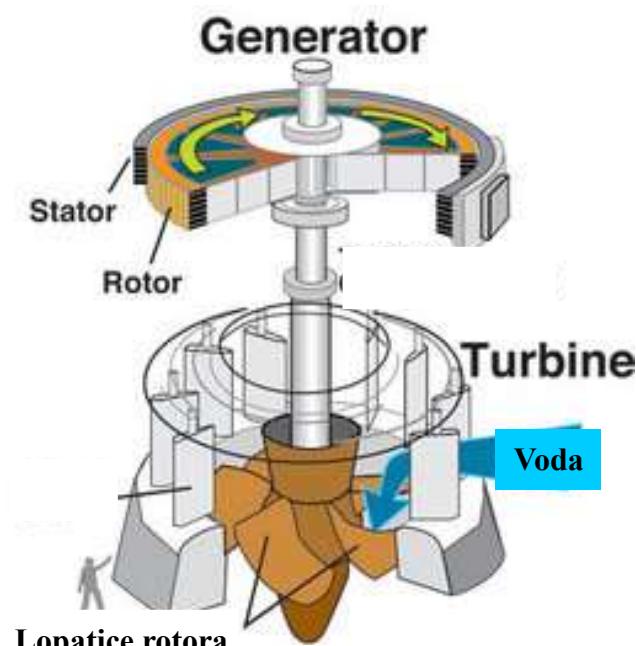
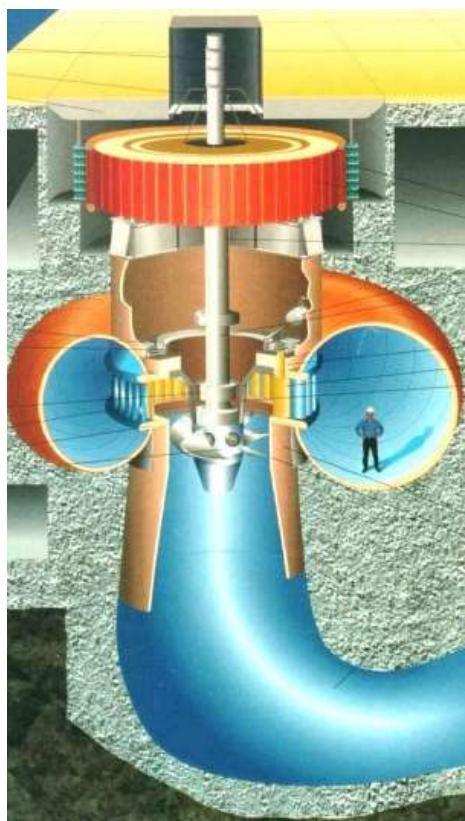


KAPLAN turbina

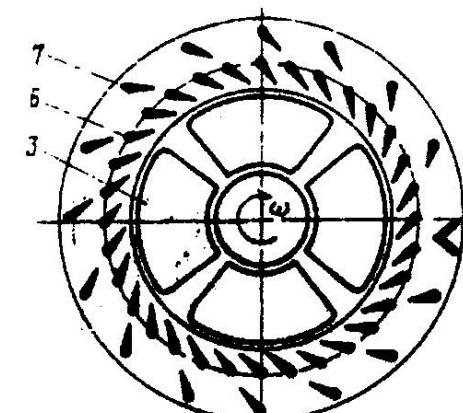
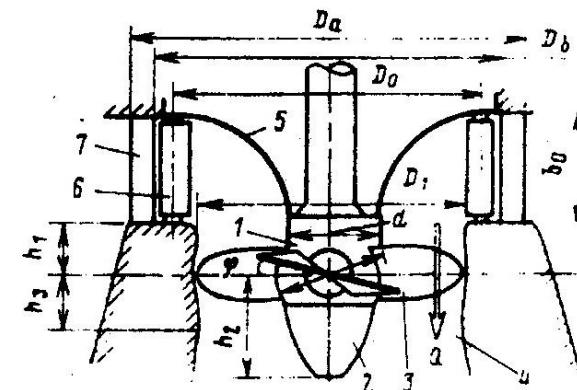
(H=10-80m (propelerna 5-70m))



- Ima rotor u obliku propeler-a, a lopatice mogu biti pokretne ili nepokretne, ako su nepokretne tada su to PROPELER turbine. (propeler turbine se koriste se kod riječnih protočnih pribranskih HE).

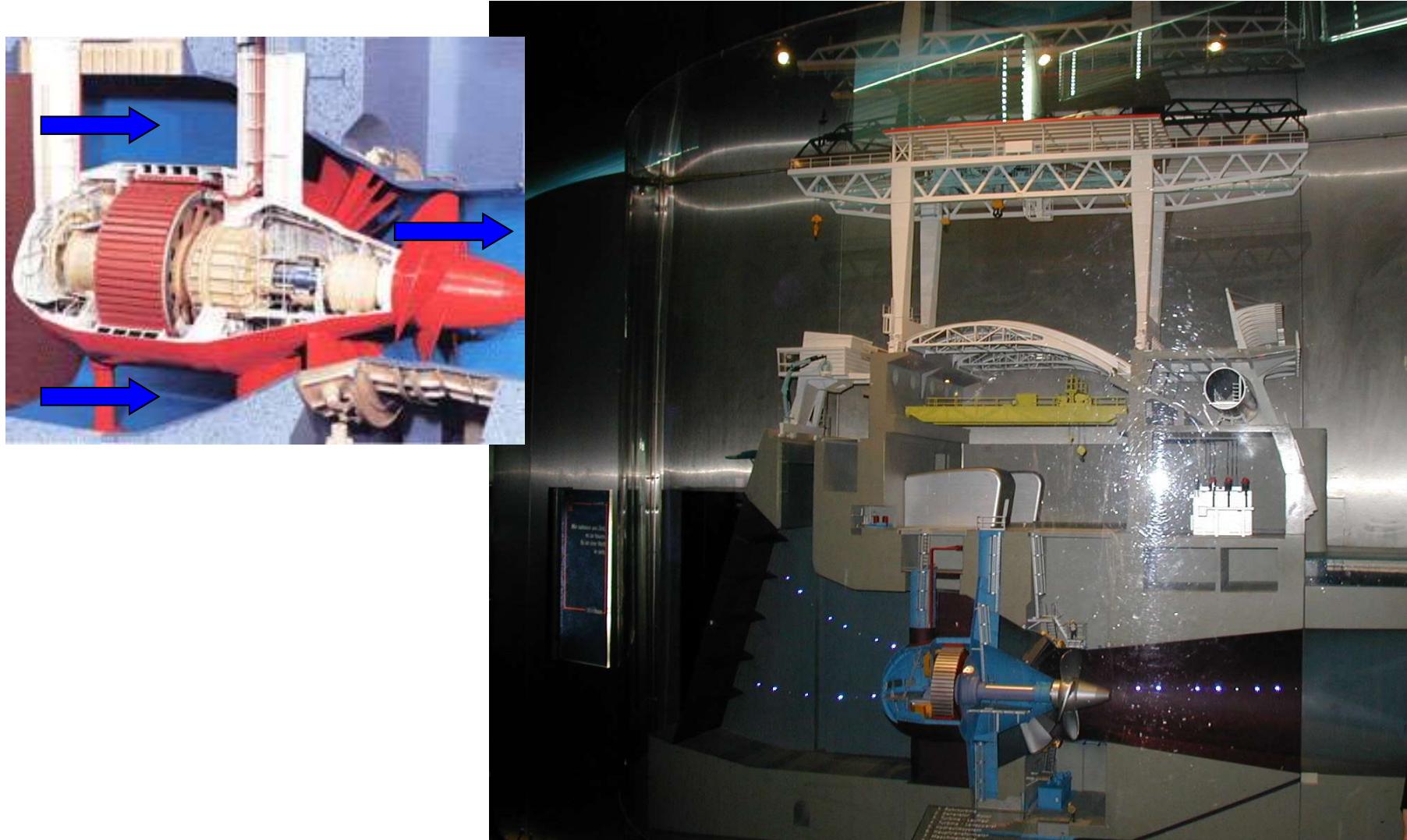


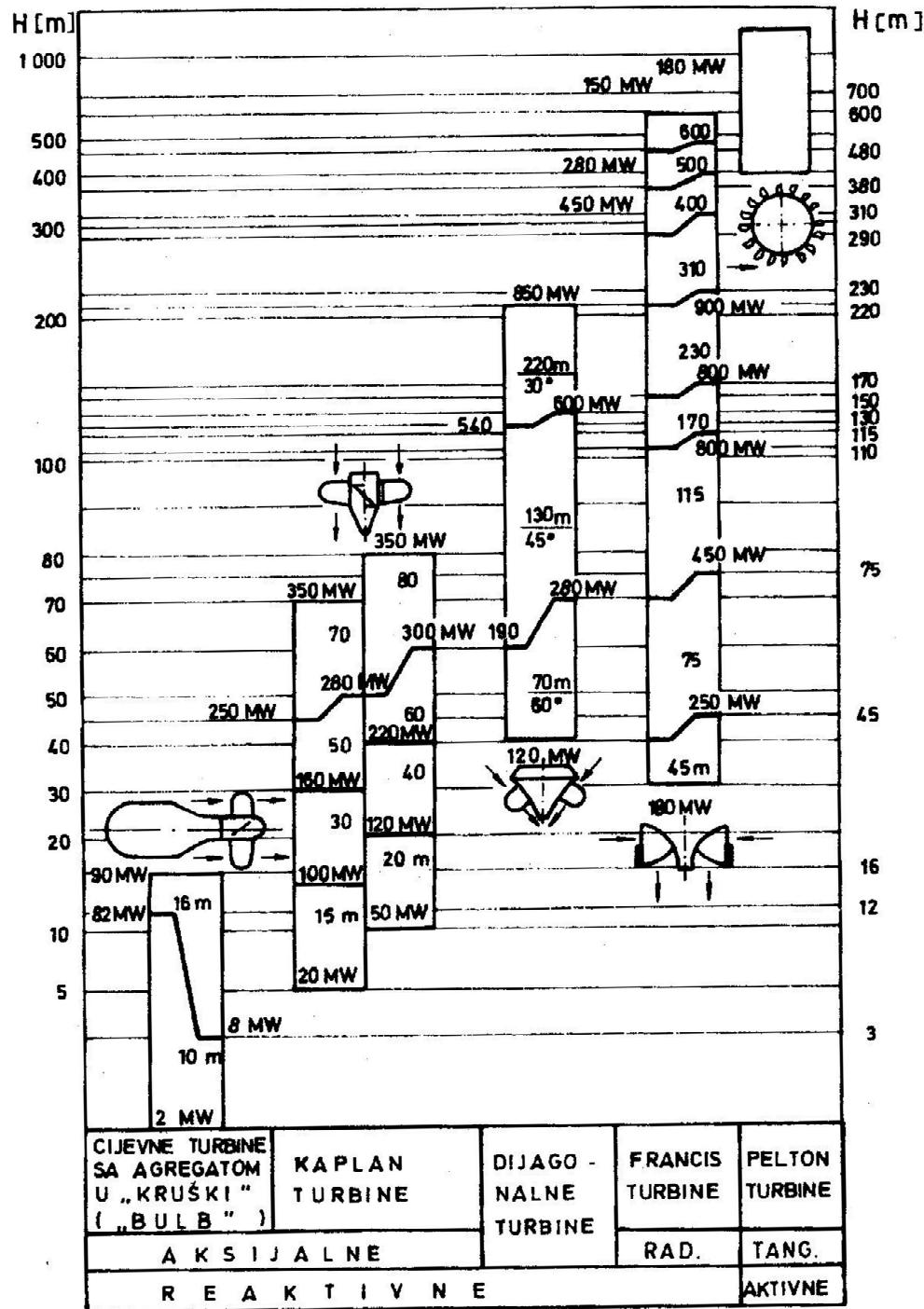
1. rotor
2. "kapa" okretnog kola
3. pokretne lopatice
4. difuzor
5. gornji poklopac turbine
6. pokretne lopatice sprovodnog kola
7. nepokretne lopatice



CIJEVNE turbine (“bulb”)

(H=1-16 m)





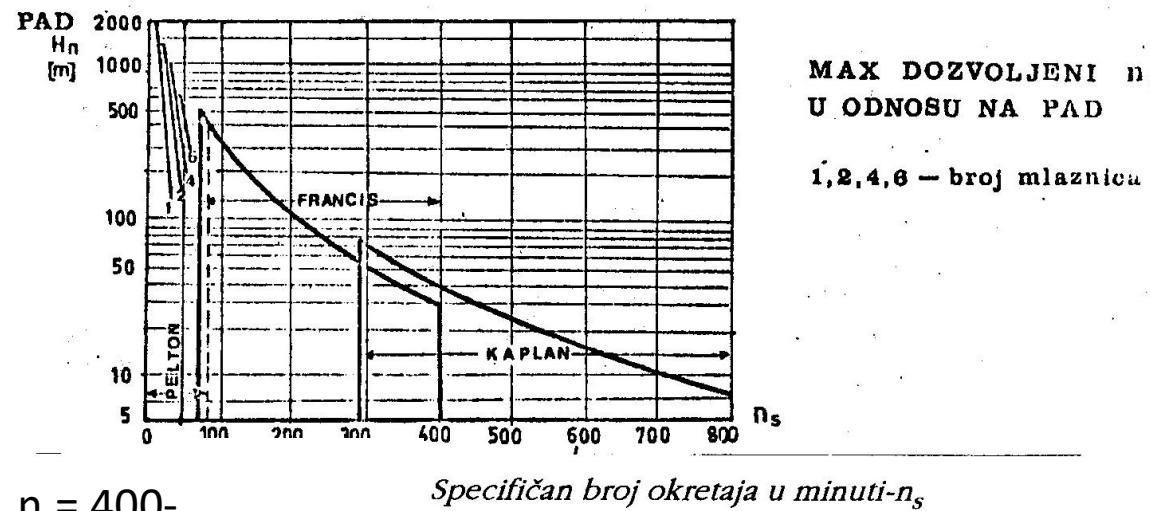
Područje primjene turbina u ovisnosti o padu s približnom snagom

Specifičan broj okretaja turbine n_s

- Specifičan broj okretaja turbine n_s (u minuti) naziva se SPECIFIČNA BRZINA ILI KOEF. BRZOHODNOSTI TURBINE.
- Na temelju spec. broja okretaja može se ustvrditi pripadnost turbine.
- Određuje se na temelju modela turbine snage 1 KS (0,73549 kW) i pada 1 m:

$$n_s = n \frac{\sqrt{P}}{H_{\text{netto}} \sqrt[4]{H_{\text{netto}}}}$$

- Pelton $n_s = 2-70$
- Francis $n_s = 60-450$
- Propeler, Kaplan i cijevne $n_s = 400-1000$





swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



PRIMJERI HIDROELEKTRANA I HE SUSTAVA U HRVATSKOJ

Barbara Karleuša

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Niš



www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

PRIMJERI HIDROELEKTRANA I HE SUSTAVA U HRVATSKOJ

Project title: Winter school

Acronym: SWARM

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

Work package	Title
6	Dissemination & exploitation
Activity	Title
6.5	Winter/summer schools

Dates	15.11.2021. – 26.11.2021.
City	Rijeka
Meeting venue	University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering (UNIRIFCE) – ONLINE (MS Teams)
Address	Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Croatia

Opis HES SENJ



Hidroenergetski sustav Senj nalazi se u središnjem dijelu Republike Hrvatske u Ličko-senjskoj županiji, a koristi hidroenergetski potencijal rijeka Like i Gacke na energetskoj stepenici od Ličke visoravni do Jadran-skog mora.

Rijeka Like, s površinom sliva oko 1125 km^2 , srednjom godišnjom visinom oborina oko 1630 mm i srednjim protokom oko $28,76 \text{ m}^3/\text{s}$, izraziti je bujični vodotok čiji protoci variraju od 0 do $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ (10000 godišnji vodni val). Rijeka Like u prirodnom stanju, prije izgradnje HES Senj, ponirala je u Lipovom polju na oko 480 m n.m.

Rijeka Gacka ima površinu sliva 584 km^2 , srednju godišnju visinu oborina 1350 mm i srednji godišnji protok od $15,65 \text{ m}^3/\text{s}$. Vodotok je s prirodno izravnanim vodnim režimom kojega protoci variraju od najmanjih $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ do 10000 godišnjih od $149 \text{ m}^3/\text{s}$. U prirodnom stanju rijeka Gacka ponirala je u Gackom polju u niz ponora na oko 430 m n.m.

Osnovna koncepcija hidroenergetskog sustava Senj je prevođenje vode rijeke Like u rijeku Gacku, dovođenje zajedničkim derivacijskim sustavom kroz Gacko polje i Velebit, na njegovu primorsku stranu, te energetsko korištenje u hidroelektrani Senj na najvećem bruto padu od 437 m.

Za izravnanje voda Like izgrađena je nasuta brana Sklope visine 81 m, koja formira jezero Krušćica korisne zapremnine $128 \times 10^6 \text{ m}^3$, kod najvećeg radnog vodostaja 554 m n.m. Koncentracija pada stvorena branom Sklope koristi se u istoimenoj pribranskoj elektrani.

Energetski iskorištena voda Like u hidroelektrani Sklope teče svojim koritom do betonske gravitacijske brane Selište visine 13,5 m, kojom je korito Like pregrađeno prema ponorima u krajnjem zapadnom dijelu Lipova polja. Velike vode Like preljevaju se preko brane Selište i otječu prema ponorima u Lipovu polju. Uz branu je izgrađena ulazna građevina gravitacijskog tunela Like - Gacka kojim se vode Like prebacuju u sliv Gacke i spajaju s vodom Gacke u čvoru Šumečica. Tunel je dužine oko 10,5 km, protočnog kapaciteta $49 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vode Gacke do čvora Šumečica dovode se njezinim prirodnim koritom, koje je od nasute brane Vivoze, visine 8,5 m, regulirano za velike vode. Branom Vivoze pregrađen je sjeverni krak rijeke Gacke te se sva njezina voda, osim biološkog minimuma, dovodi do čvora Šumečica. Velike vode Gacke, koje ne mogu biti energetski iskorištene, preljevaju se preko brane Šumečica i poniru u Donjem Švickom jezeru. Od čvora Šumečica, vode Like i Gacke zajedno teku derivacijskim dovodom do kompenzacijskog bazena Gusić polje. Dovod se sastoji od kanala Šumečica - Gornja Švica, dužine 1500 m, trapeznog poprečnog presjeka. Na ovaj se kanal nadovezuje gravitacijski tunel potkovastog presjeka Gornja Švica - Marasi dužine 9216 m, te kanal Marasi dužine 1993 m, trapeznog oblika. Cijeli derivacijski dovod od Šumečice do Gusić polja ima protočni kapacitet od $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kompenzacijski bazen Gusić polje korisne je zapremnine $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ pri najvećem radnom vodostaju od 436,5 m n.m. i služi za dnevno reguliranje protoka za HE Senj. Na zapadnom dijelu bazena nalazi se ulazna građevina tlačnog tunela Gusić polje - Hrmotine, dužine 13574 m, koji dovodi vodu do vodne i zasunskih komora gdje počinje tlačni cjevovod HE Senj. Tlačni cjevovod je podzemni i njime se voda dovodi do strojarnice HE Senj koja je smještena u podzemnoj kaverni na obali Jadranskog mora.

Na kraju dovodnog tunela, kod vodne komore, nalazi se zahvat za vodoopskrbni sustav Hrvatskog primorja i otoka južno od Senja, planiranog kapaciteta 900 l/s.

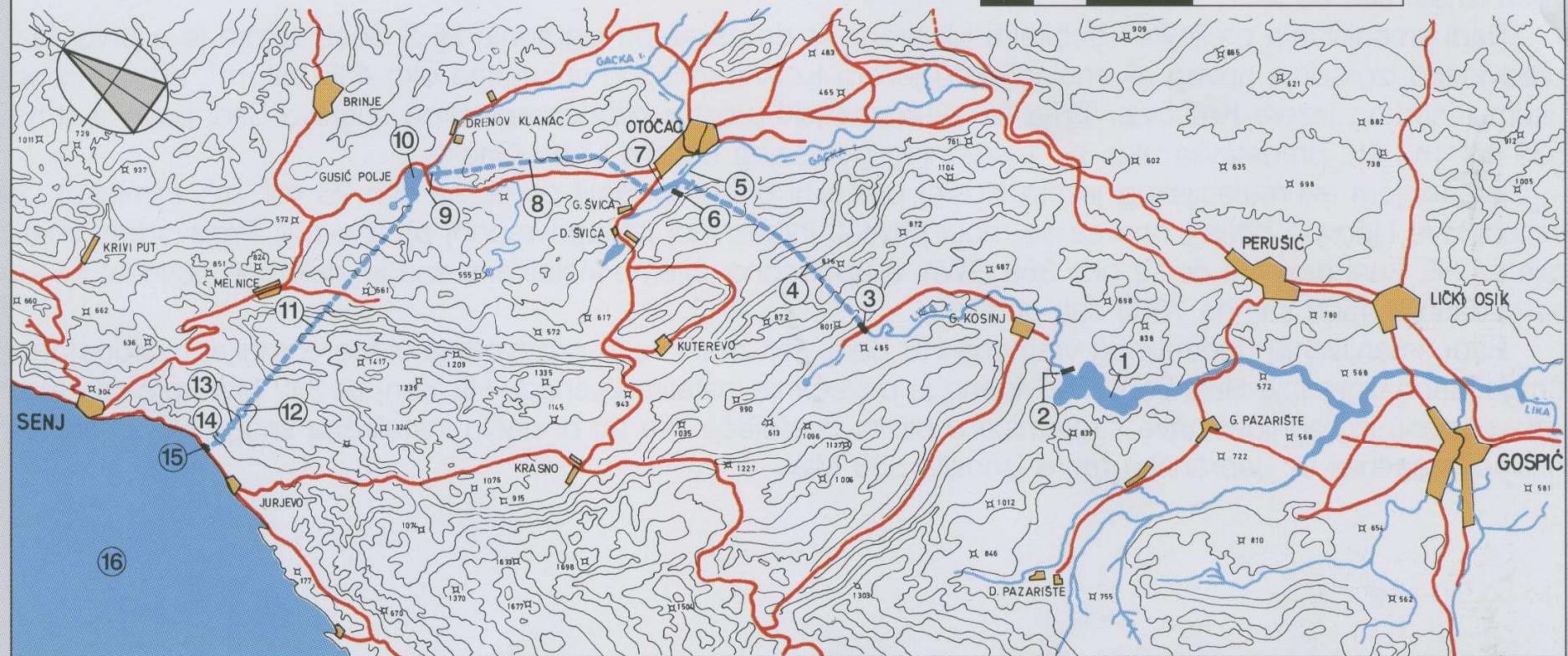
Tijekom rada HES Senj registrirani su na brani Sklope prosječni godišnji preljevni gubici vode od oko 308 mil. m^3 , što predstavlja oko 22 % prosječnog godišnjeg volumena dotoka rijeka Like i Gacke. Razlozi tome su premaleni izgrađeni akumulacijski prostor za reguliranje protoka rijeke Like i bujični karakter njezinog vodnog režima. Potvrda za to je omjer korisnog volumena jezera Krušćice i srednjeg godišnjeg volumena njezinog dotoka koji iznosi 0,14.

Osim toga, pomanjkanje akumulacijskog prostora u slivu rijeke Gacke uvjetovalo je takav način korištenja voda obiju rijeka za HE Senj da se prioritetno koriste vode rijeke Gacke, čiji se prirodni protoci dopunjavaju do zahtjevanih protoka hidroelektrane protocima iz akumulacijskog jezera Krušćice.

LEGENDA

- | | | | |
|----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| 1 | AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA | 9 | KANAL MARASI - GUSIĆ POLJE |
| 2 | BRANA I HE SKLOPE | 10 | KOMPENZACIJSKI BAZEN GUSIĆ POLJE |
| 3 | BRANA I ULAZNA GRAĐEVINA SELIŠTE | 11 | TUNEL GUSIĆ POLJE - HRMOTINE |
| 4 | TUNEL LIKA - GACKA | 12 | VODNA KOMORA |
| 5 | REGULIRANO KORITO GACKE | 13 | ZASUNSKA KOMORA I TLAČNI CJEVOVOD |
| 6 | BRANA ŠUMEĆICA | 14 | HIDROELEKTRANA SENJ |
| 7 | KANAL ŠUMEĆICA - GORNJA ŠVICA | 15 | ODVODNI TUNEL I IZLAZNA GRAĐEVINA |
| 8 | TUNEL GORNJA ŠVICA - MARASI | 16 | JADRANSKO MORE |

0 10 20 km

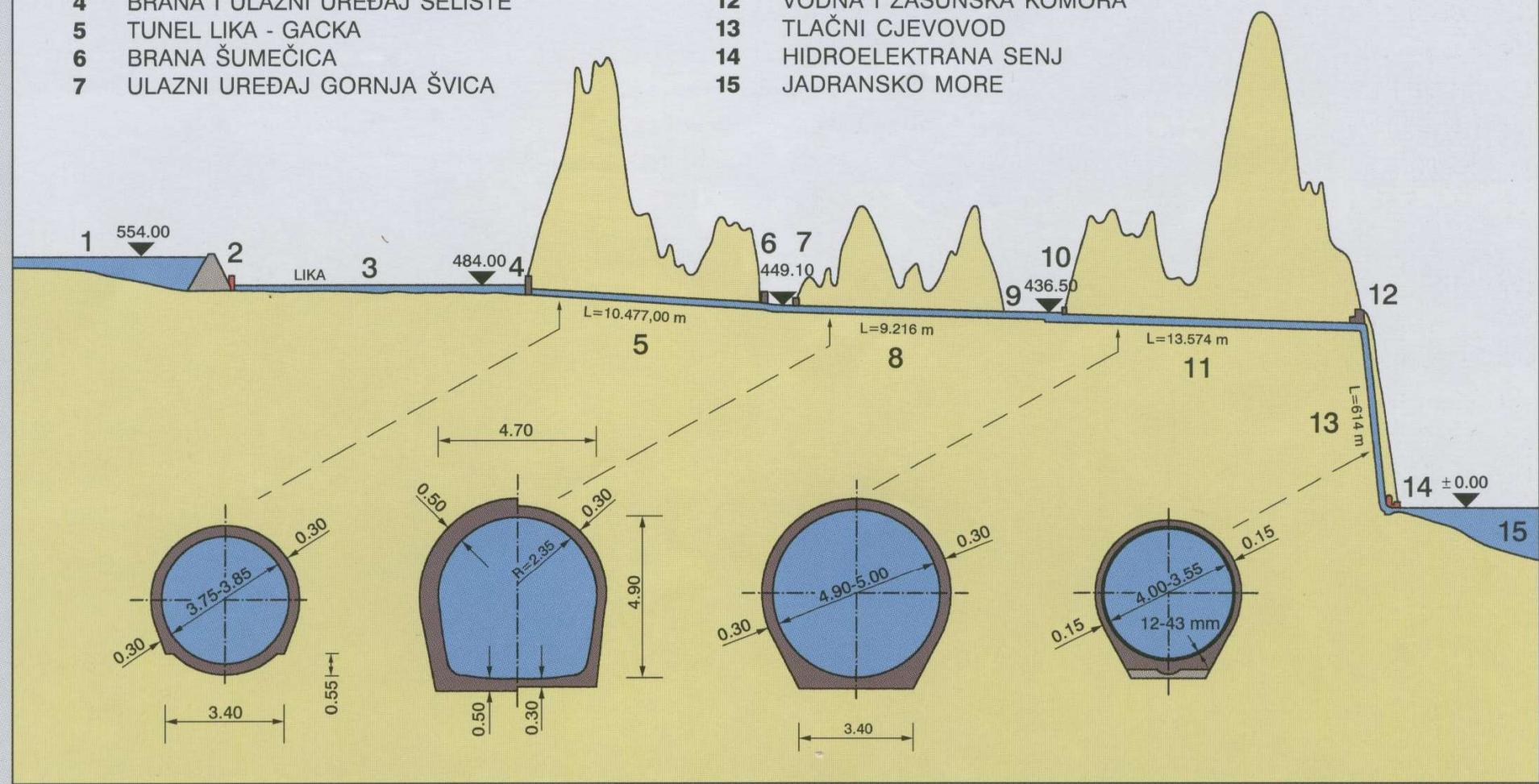


PREGLEDNA SITUACIJA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ

LEGENDA

- 1 AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA
- 2 BRANA I HE SKLOPE
- 3 KORITO LIKE
- 4 BRANA I ULAZNI UREĐAJ SELIŠTE
- 5 TUNEL LIKA - GACKA
- 6 BRANA ŠUMEČICA
- 7 ULAZNI UREĐAJ GORNJA ŠVICA

- 8 TUNEL GORNJA ŠVICA - MARASI
- 9 KOMPENZACIJSKI BAZEN GUSIĆ POLJE
- 10 ULAZNI UREĐAJ GUSIĆ POLJE
- 11 TUNEL GUSIĆ POLJE - HRMOTINE
- 12 VODNA I ZASUNSKA KOMORA
- 13 TLAČNI CJEVOVOD
- 14 HIDROELEKTRANA SENJ
- 15 JADRANSKO MORE



UZDUŽNI PROFIL HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ

S obzirom da su varijacije protoka Gacke znatno manje u odnosu na Liku, te s obzirom da je trajanje protoka većih od instaliranog protoka HE Senj od $60 \text{ m}^3/\text{s}$ manje od 1 %, vodne količine rijeke Gacke gotovo se u potpunosti energetski iskorištavaju. Međutim, ovakvim načinom rada akumulacijsko jezero Krušćica služi ne samo za reguliranje protoka rijeke Like već posredno i rijeke Gacke, tako da omjer korisnog volumena izgrađenog akumulacijskog prostora u HES Senj i srednjeg godišnjeg dotoka rijeka Like i Gacke iznosi 0,093. Veličina ovog pokazatelja, karakter vodnih režima rijeka Like i Gacke, te rukovanje njihovim vodama za energetsko korištenje pokazuju da je izgrađeni akumulacijski prostor u HES Senj premalen, te da se preljevni gubici vode u ovom sustavu gotovo isključivo odnose na vode rijeke Like. Zato stupanj iskorištenja njezinih voda iznosi oko 66 %.

Radi smanjivanja preljevnih gubitaka planirana je druga etapa izgradnje HES Senj, kojom je u prvoj fazi predviđena izgradnja novog akumulacijskog jezera Kosinj korisnog volumena oko 405 mil. m^3 , nizvodno od akumulacijskog jezera Krušćica. Time se akumulacijski prostor hidroenergetskog sustava Senj povećava na 535 mil. m^3 , što predstavlja oko 38 % srednjeg godišnjeg dotoka Like i Gacke.

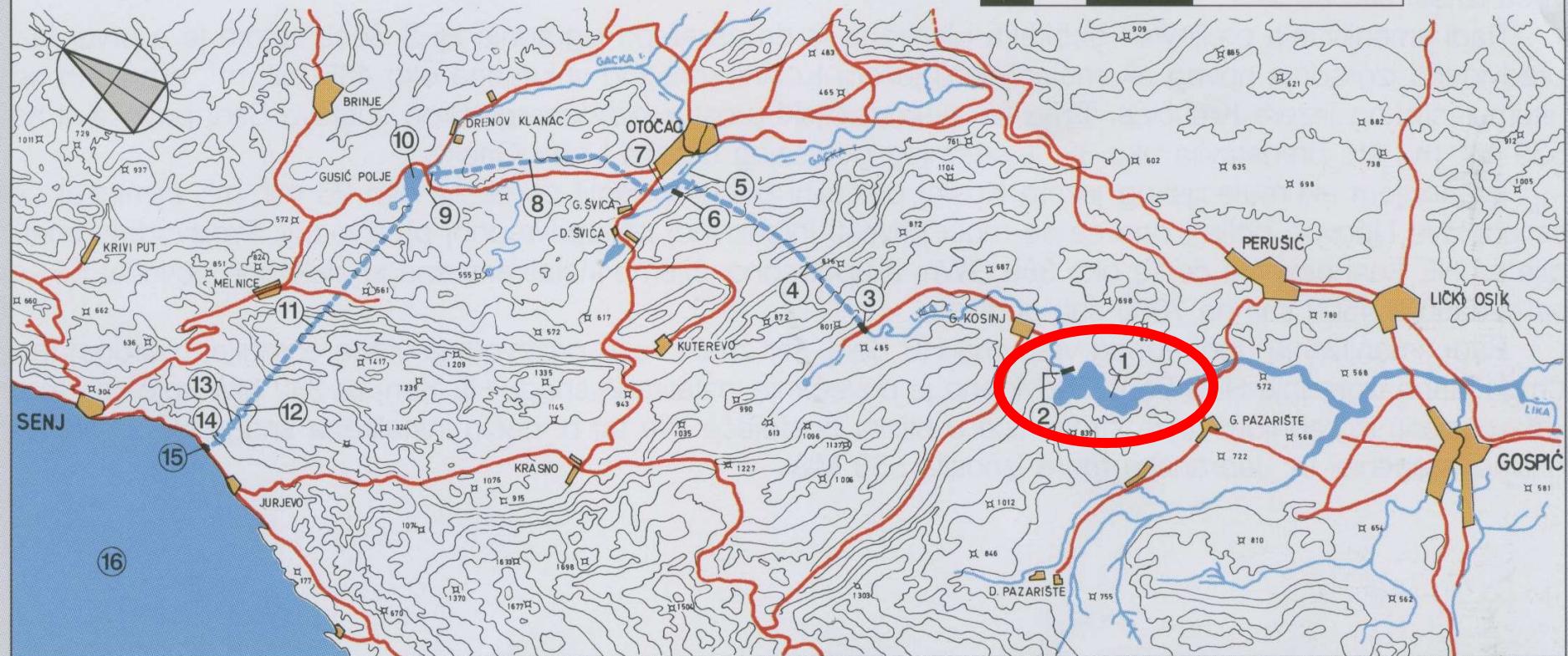
Izgradnjom akumulacijskog jezera Kosinj preljevni gubici smanjit će se na oko 26 mil. m^3 , eliminirat će se poplave Lipovog polja i ono će se moći privesti intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Proizvodnja energije na HE Senj povećat će se oko 380 GWh, a upotrebljivo vrijeme instalirane snage elektrane povećat će se sa sadašnjih 4500 sati na 7000 sati godišnje.

Radi smanjivanja upotrebnog vremena HE Senj, što znači veću proizvodnju vršne energije, u drugoj fazi druge etape izgradnje HES Senj predviđeno je povećanje instalirane snage HE Senj za 342 MW koje se predviđa ostvariti izgradnjom nove strojarnice u blizini postojeće. Na taj bi način instalirana snaga HES Senj na glavnoj stepenici uz Jadransko more iznosila 558 MW.

LEGENDA

- | | | | |
|---|----------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1 | AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA | 9 | KANAL MARASI - GUSIĆ POLJE |
| 2 | BRANA I HE SKLOPE | 10 | KOMPENZACIJSKI BAZEN GUSIĆ POLJE |
| 3 | BRANA I ULAZNA GRAĐEVINA SELIŠTE | 11 | TUNEL GUSIĆ POLJE - HRMOTINE |
| 4 | TUNEL LIKA - GACKA | 12 | VODNA KOMORA |
| 5 | REGULIRANO KORITO GACKE | 13 | ZASUNSKA KOMORA I TLAČNI CJEVOVOD |
| 6 | BRANA ŠUMEĆICA | 14 | HIDROELEKTRANA SENJ |
| 7 | KANAL ŠUMEĆICA - GORNJA ŠVICA | 15 | ODVODNI TUNEL I IZLAZNA GRAĐEVINA |
| 8 | TUNEL GORNJA ŠVICA - MARASI | 16 | JADRANSKO MORE |

0 10 20 km



PREGLEDNA SITUACIJA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ



AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA, BRANA SKLOPE I HE SKLOPE

Brana SKLOPE (dio HES Senj)



Brana i HE SKLOPE (dio HES Senj)

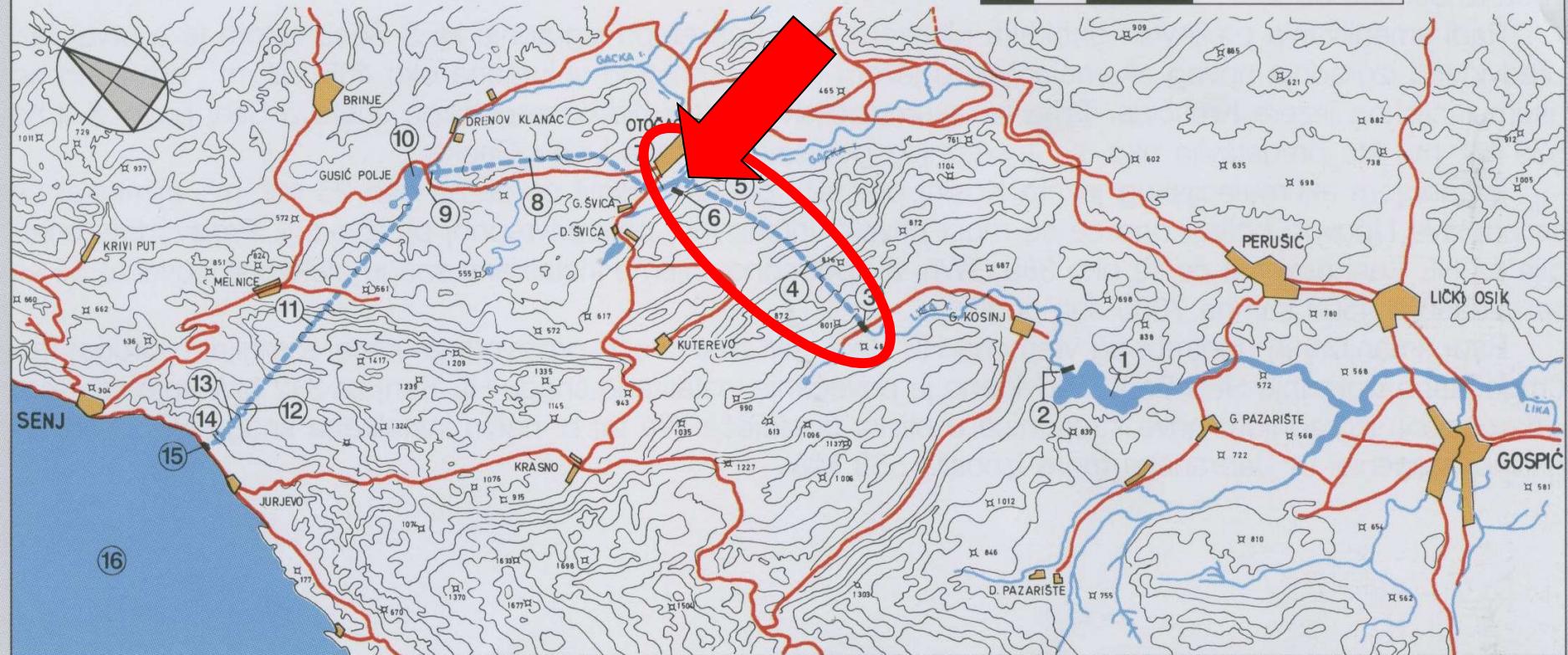


LEGENDA

- 1 AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA
- 2 BRANA I HE SKLOPE
- 3 BRANA I ULAZNA GRAĐEVINA SELIŠTE
- 4 TUNEL LIKA - GACKA
- 5 REGULIRANO KORITO GACKE
- 6 BRANA ŠUMEČICA
- 7 KANAL ŠUMEČICA - GORNJA ŠVICA
- 8 TUNEL GORNJA ŠVICA - MARASI

- 9 KANAL MARASI - GUSIĆ POLJE
- 10 KOMPENZACIJSKI BAZEN GUSIĆ POLJE
- 11 TUNEL GUSIĆ POLJE - HRMOTINE
- 12 VODNA KOMORA
- 13 ZASUNSKA KOMORA I TLAČNI CJEVOVOD
- 14 HIDROELEKTRANA SENJ
- 15 ODVODNI TUNEL I IZLAZNA GRAĐEVINA
- 16 JADRANSKO MORE

0 10 20 km



PREGLEDNA SITUACIJA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ

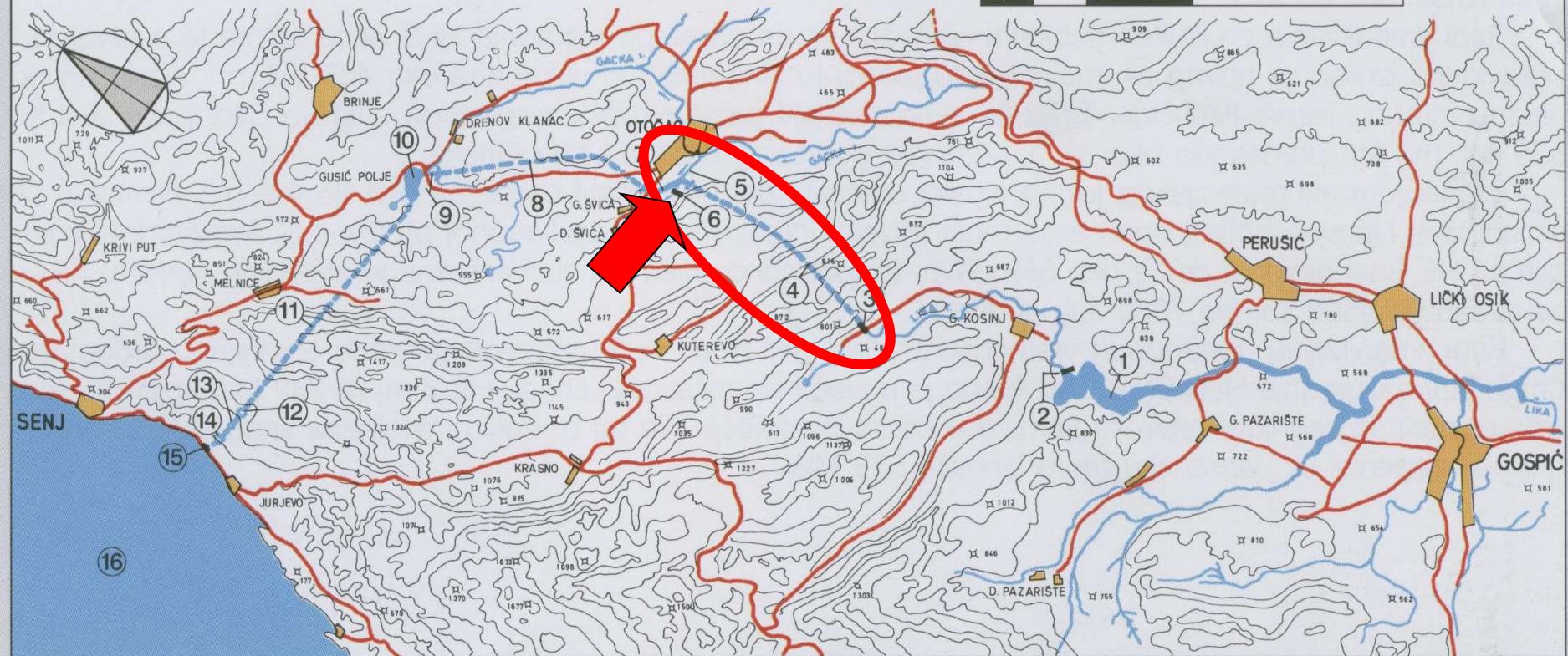




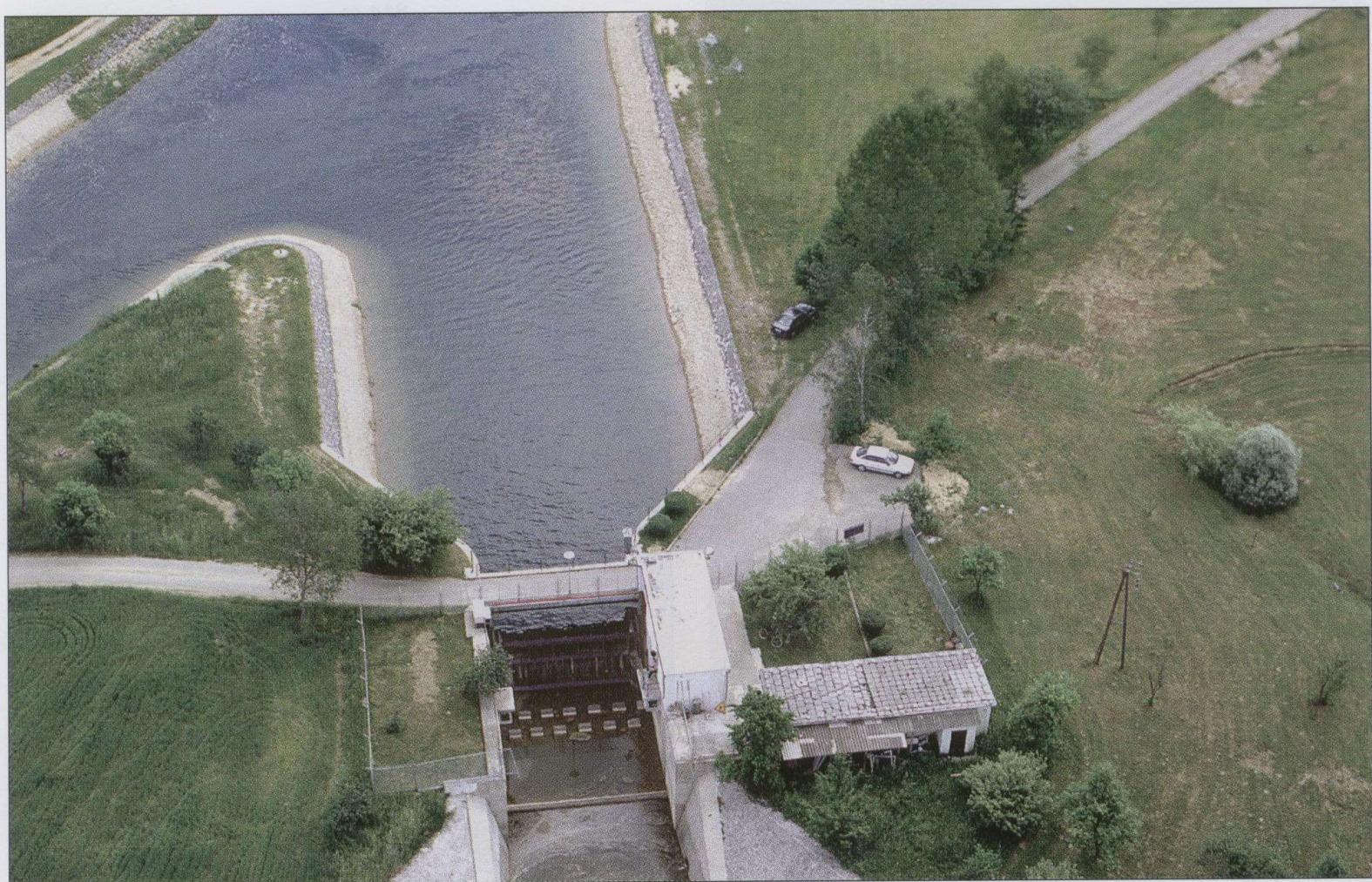
LEGENDA

- | | | | |
|---|----------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1 | AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA | 9 | KANAL MARASI - GUSIĆ POLJE |
| 2 | BRANA I HE SKLOPE | 10 | KOMPENZACIJSKI BAZEN GUSIĆ POLJE |
| 3 | BRANA I ULAZNA GRAĐEVINA SELIŠTE | 11 | TUNEL GUSIĆ POLJE - HRMOTINE |
| 4 | TUNEL LIKA - GACKA | 12 | VODNA KOMORA |
| 5 | REGULIRANO KORITO GACKE | 13 | ZASUNSKA KOMORA I TLAČNI CJEVOVOD |
| 6 | BRANA ŠUMEČICA | 14 | HIDROELEKTRANA SENJ |
| 7 | KANAL ŠUMEČICA - GORNJA ŠVICA | 15 | ODVODNI TUNEL I IZLAZNA GRAĐEVINA |
| 8 | TUNEL GORNJA ŠVICA - MARASI | 16 | JADRANSKO MORE |

0 10 20 km



PREGLEDNA SITUACIJA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ

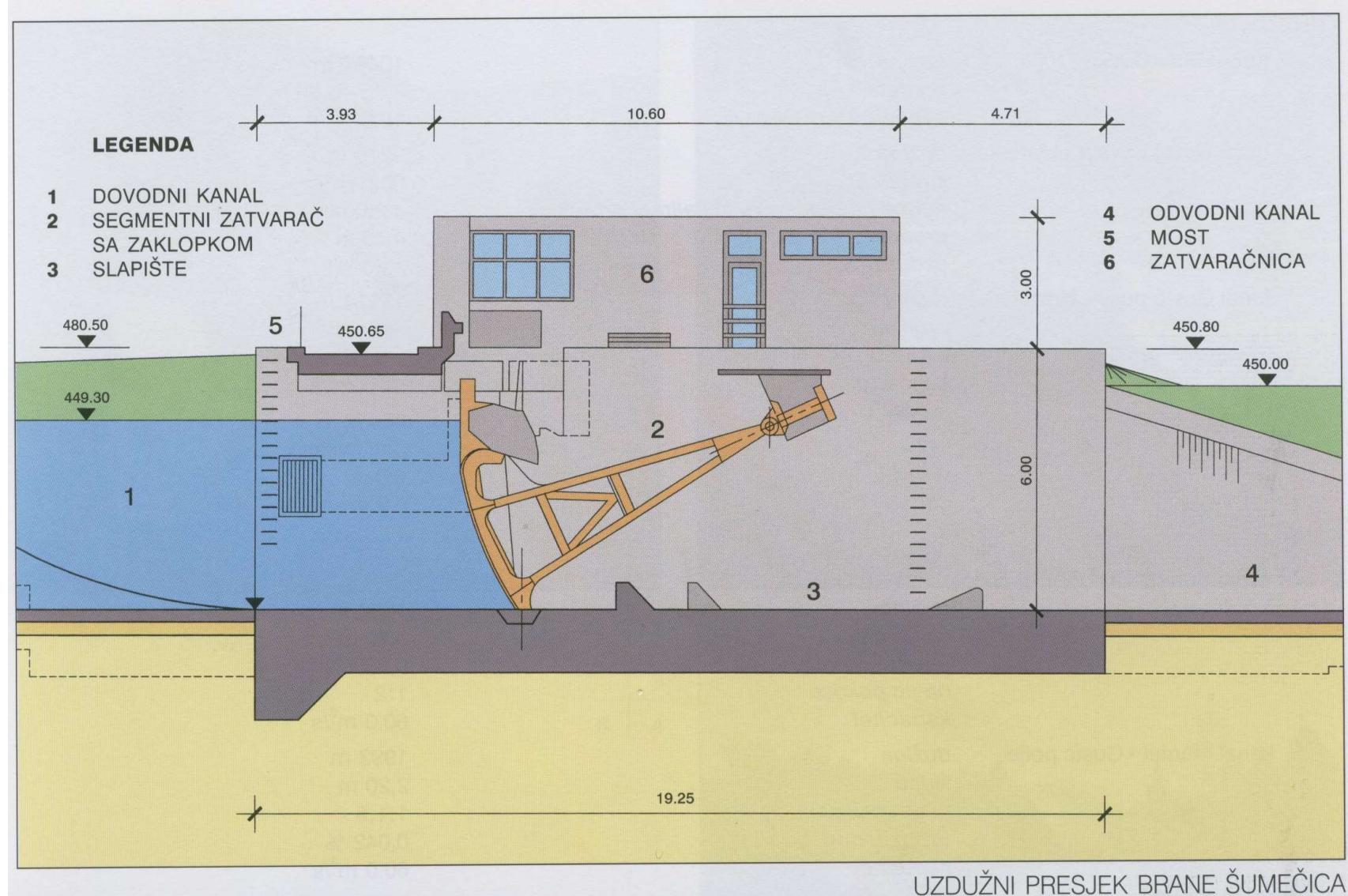


BRANA ŠUMEČICA

LEGENDA

- 1** DOVODNI KANAL
- 2** SEGMENTNI ZATVARAČ SA ZAKLOPKOM
- 3** SLAPIŠTE

- 4** ODVODNI KANAL
- 5** MOST
- 6** ZATVARAČNICA



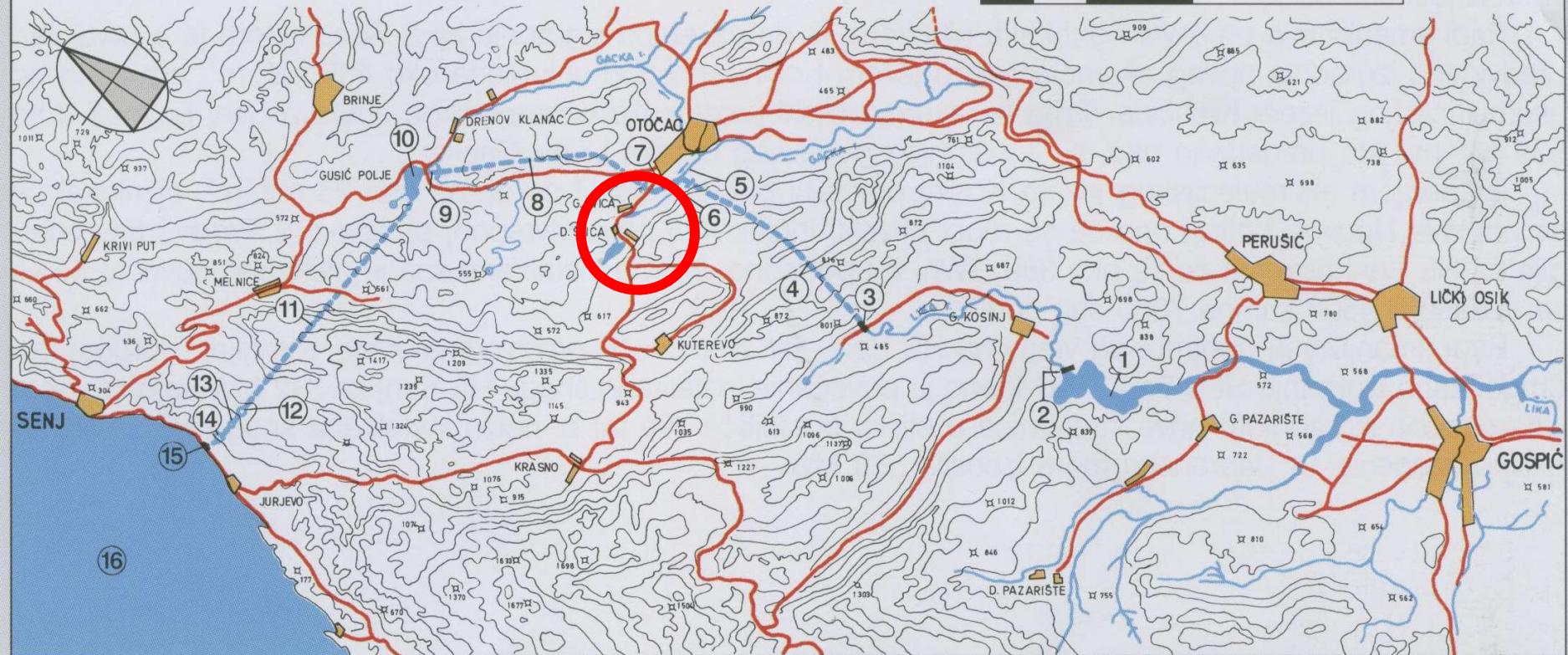
UZDUŽNI PRESJEK BRANE ŠUMEČICA



LEGENDA

- | | | | |
|---|----------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1 | AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA | 9 | KANAL MARASI - GUSIĆ POLJE |
| 2 | BRANA I HE SKLOPE | 10 | KOMPENZACIJSKI BAZEN GUSIĆ POLJE |
| 3 | BRANA I ULAZNA GRAĐEVINA SELIŠTE | 11 | TUNEL GUSIĆ POLJE - HRMOTINE |
| 4 | TUNEL LIKA - GACKA | 12 | VODNA KOMORA |
| 5 | REGULIRANO KORITO GACKE | 13 | ZASUNSKA KOMORA I TLAČNI CJEVOVOD |
| 6 | BRANA ŠUMEĆICA | 14 | HIDROELEKTRANA SENJ |
| 7 | KANAL ŠUMEĆICA - GORNJA ŠVICA | 15 | ODVODNI TUNEL I IZLAZNA GRAĐEVINA |
| 8 | TUNEL GORNJA ŠVICA - MARASI | 16 | JADRANSKO MORE |

0 10 20 km



PREGLEDNA SITUACIJA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ

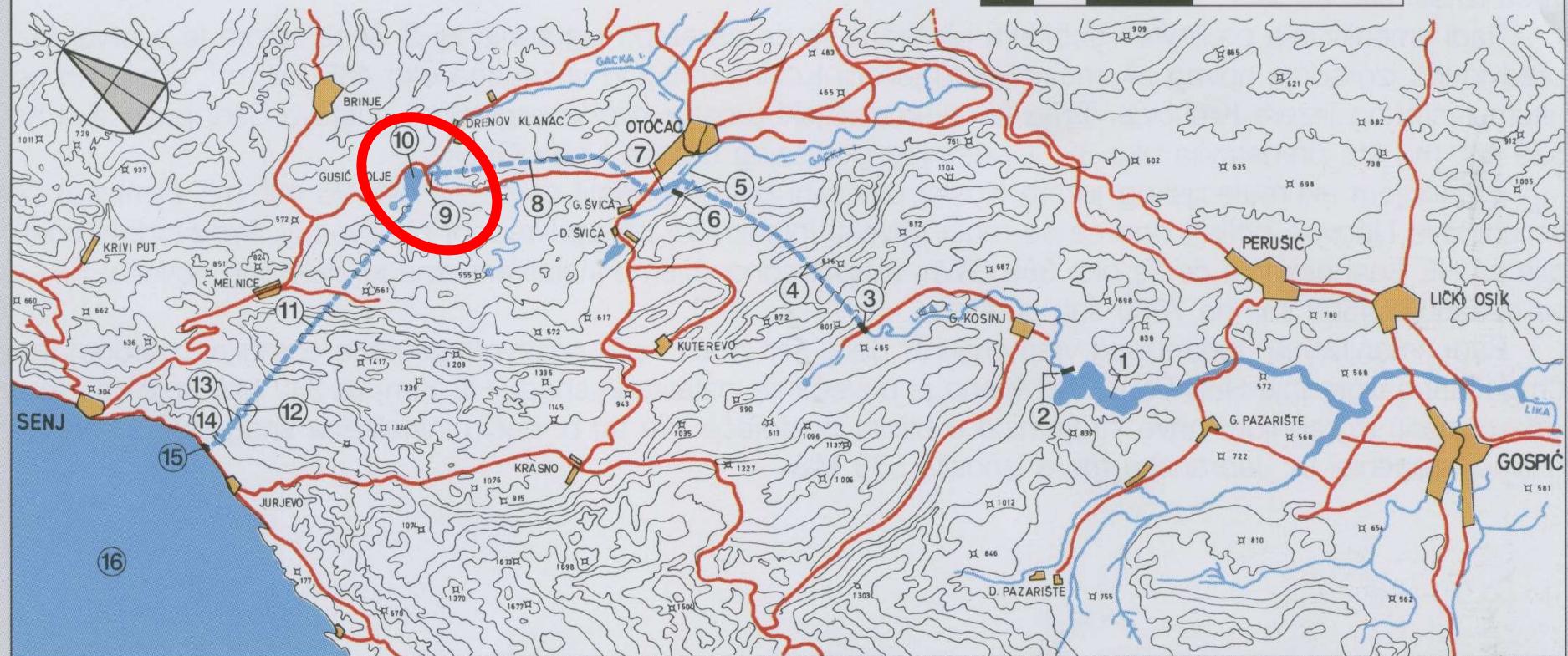




LEGENDA

- | | | | |
|----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| 1 | AKUMULACIJSKO JEZERO KRUŠĆICA | 9 | KANAL MARASI - GUSIĆ POLJE |
| 2 | BRANA I HE SKLOPE | 10 | KOMPENZACIJSKI BAZEN GUSIĆ POLJE |
| 3 | BRANA I ULAZNA GRAĐEVINA SELIŠTE | 11 | TUNEL GUSIĆ POLJE - HRMOTINE |
| 4 | TUNEL LIKA - GACKA | 12 | VODNA KOMORA |
| 5 | REGULIRANO KORITO GACKE | 13 | ZASUNSKA KOMORA I TLAČNI CJEVOVOD |
| 6 | BRANA ŠUMEĆICA | 14 | HIDROELEKTRANA SENJ |
| 7 | KANAL ŠUMEĆICA - GORNJA ŠVICA | 15 | ODVODNI TUNEL I IZLAZNA GRAĐEVINA |
| 8 | TUNEL GORNJA ŠVICA - MARASI | 16 | JADRANSKO MORE |

0 10 20 km



PREGLEDNA SITUACIJA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ









Majerovo vrilo



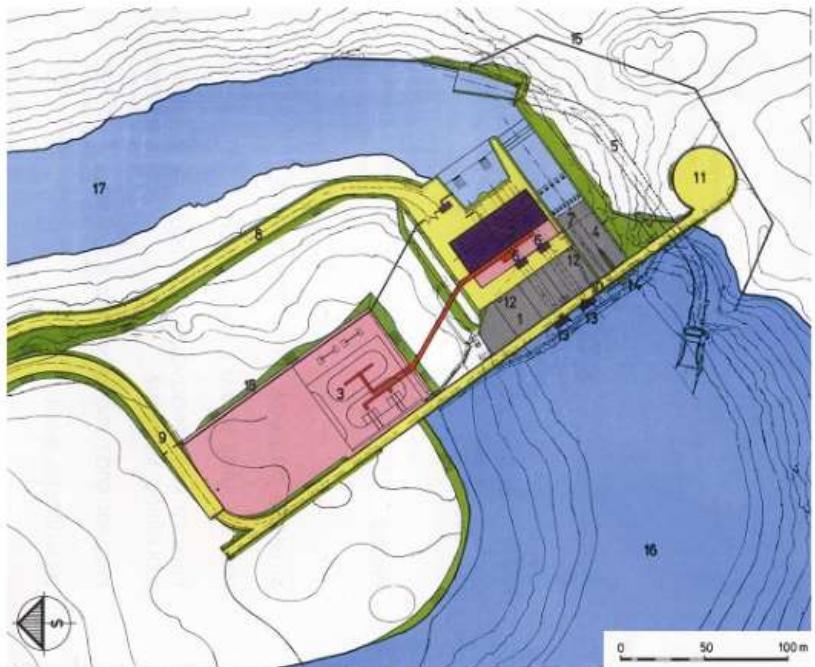


Izvor Gacke



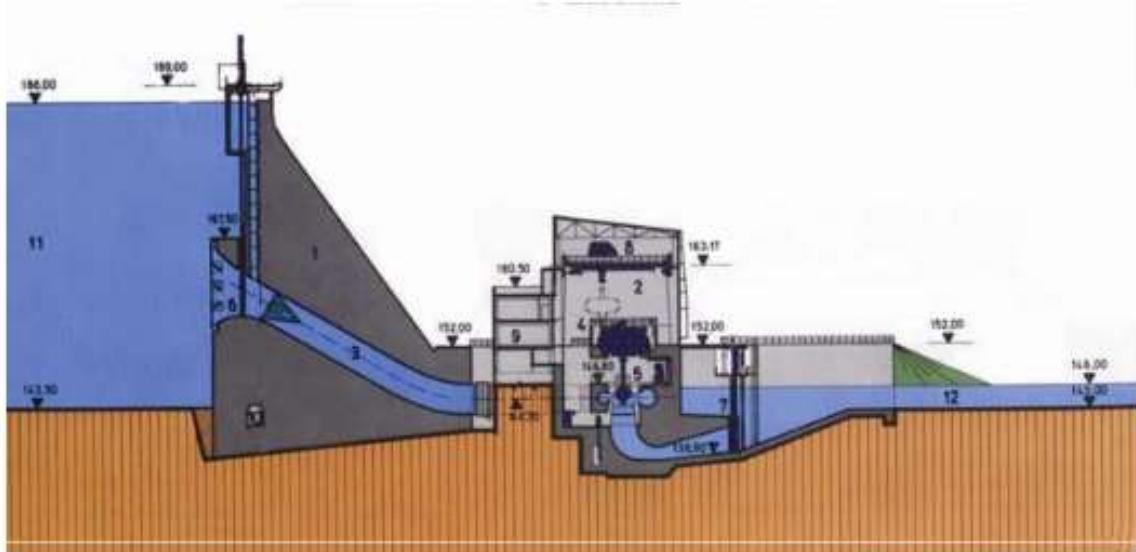
HE LEŠĆE

rijeka Dobra – izgradnja betonske masivne gravitacijske brane (snimci 2005 – 2007)

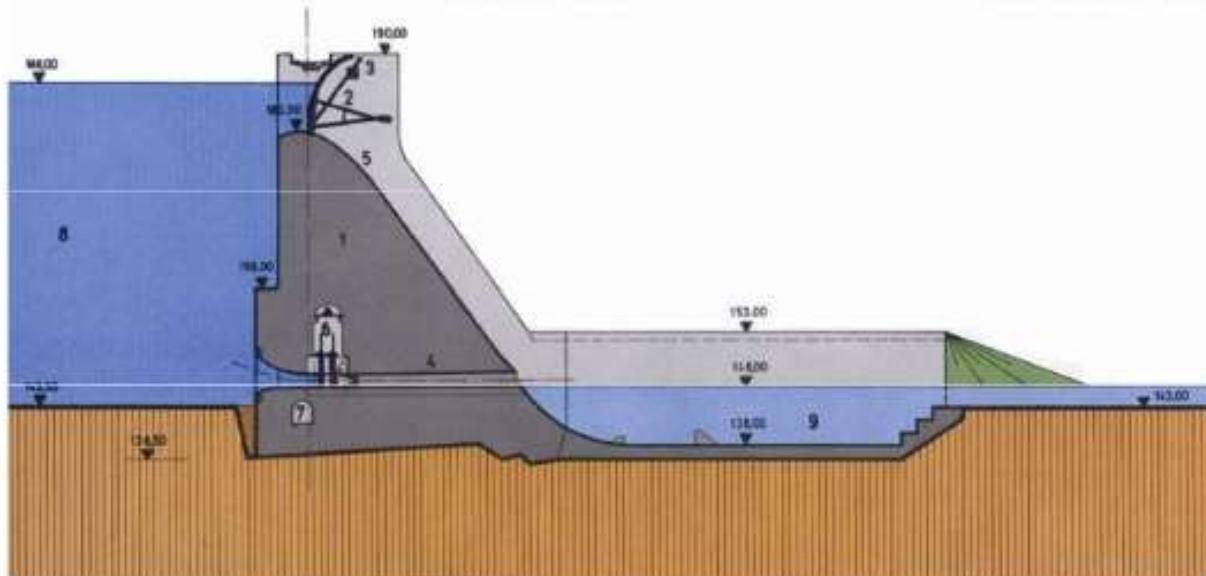


Situacija građevina HE Lešće (1. – brana, 2. – strojarnica, 3.- rasklopno postrojenje, 4. – preljev,
5. – optični tunel, 6. – tlačni cjevovod, 7. – temeljni ispust, 8. – pristupna cesta za strojarnicu,
9. – pristupna cesta za krunu brane, 10. – kruna brane, 11. – okretište, 12. – ulaz u galeriju, 13. –
glavni zatvarač, 14. – zatvarač preljeva, 15. – ograda, 16. – akumulacijsko jezero, 17. – donja voda)





Presjek kroz branu i strojarnicu (1. – brana, 2. – strojarnica, 3. – tlačni cjevovod, 4. – generator, 5. – turbina, 6. – ulazni zatvarač, 7. – izlazni zatvarač, 8. – mosna dizalica, 9. – kontrolna galerija, 11. – normalni uspor, 12. – donja voda)



Presjek kroz protočno polje brane (1. – brana, 2. – segmentni zatvarač, 3. – servomotor, 4. – temeljni ispust, 5. – slapište, 6. – galerija zatvarača, 8. – kontrolna galerija, 9. – donja voda)

Kanjon Dobre – područje buduće akumulacije



HE Lešće – početak radova



HE Lešće – ulaz u obilazni tunel



HE Lešće – ulaz u tunel i dio uzvodnog zagata



HE Lešće – dovršeni uzvodni zagat



HE Lešće – izlaz iz obilaznog tunela



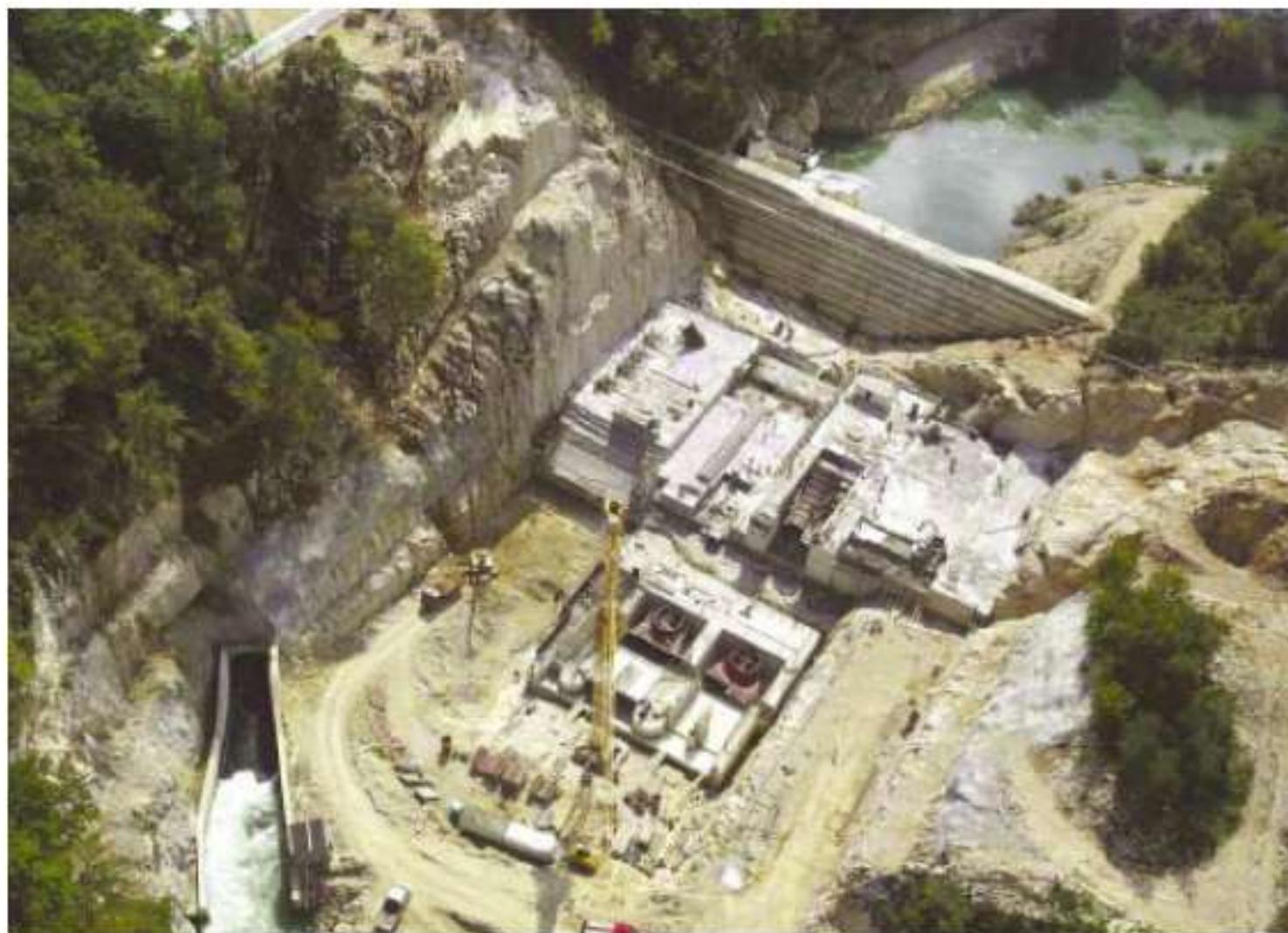
HE Lesšće – izlaz iz obilaznog tunela i nizvodni zagat (privremena brana)



HE Lešće – priprema temelja brane u građevnoj jami



HE Lešće – izgradnja brane u građevnoj jami - 2007



HE Lešće – izgradnja strojarnice i brane 2007





Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs



swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



HIDRAULIKA – LABORATORIJSKI RAD:

Prezentacija hidrotehničkog laboratorija za potrebe istraživanja i rada u nastavi

Elvis Žic

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Niš



www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

Sadržaj prezentacije

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima
2. Međunarodna suradnja (Erasmus, CEEPUS mobilnost)
3. Hidrotehnički laboratorij i praktikum
 - 3.1. Fizikalni modeli
 - 3.1.1. Primjena fizikalnih modela
 - 3.2. Mjerni instrumenti
 - 3.3. Dodatna oprema za ispitivanja na fizikalnim modelima

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu - CAMPUS



1. Uvodno o Građevinskom fakultetu ...



1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Imamo pet „izvrsno“ opremljenih laboratorijskih objekata.



Laboratorij za materijale



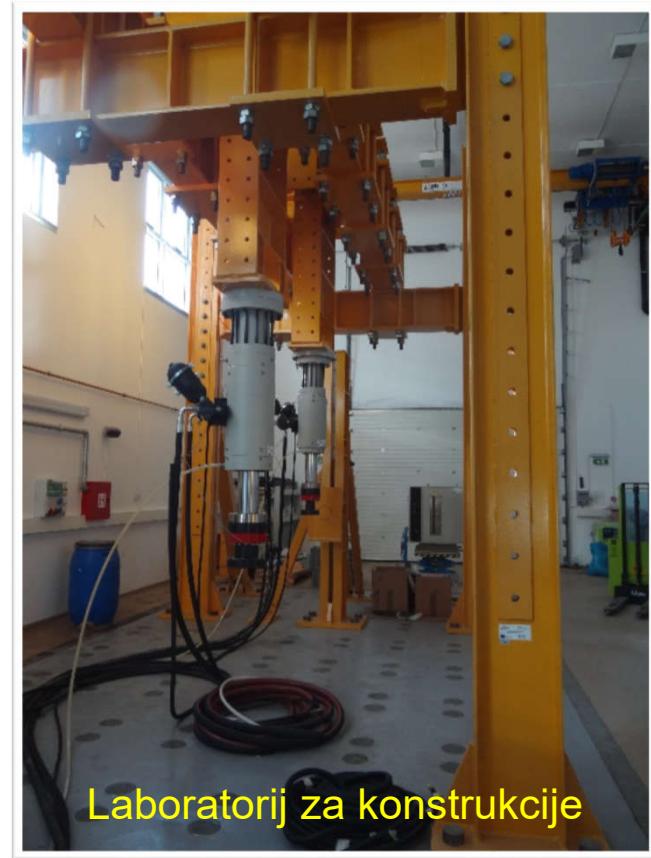
Laboratorij za hidrotehniku



Laboratorij za prometnice



Laboratorij za geotehniku



Laboratorij za konstrukcije



Europska unija
Ulaganje u budućnost



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.
Sadržaj ove prezentacije isključiva je odgovornost Sveučilišta u Rijeci.



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima



Nabava opreme za laboratorije sufinancirana je od Europske Unije sa

153.154.741,57 kuna iz

Europskog fonda za regionalni razvoj, a u okviru projekta

„Razvoj istraživačke infrastrukture za laboratorije na Kampusu Sveučilišta u Rijeci”



Europska unija
Ulaganje u budućnost



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Laboratorij za geotehniku



Oprema za laboratorijska i terenska ispitivanja tla (uzorkovanje i ispitivanje zbijenosti tla)

Uređaj za izravno smicanje (eng. *Direct Shear apparatus*)

Kompletni smični sklop za ispitne uzorke promjera 60 mm i kompletni smični sklop za ispitne uzorke četverokutnog presjeka 60 x 60 mm, mjerjenje vertikalnog i horizontalnog pomaka.

Određivanje parametara čvrstoće za opisivanje ponašanja materijala te projektiranje geot. konst.



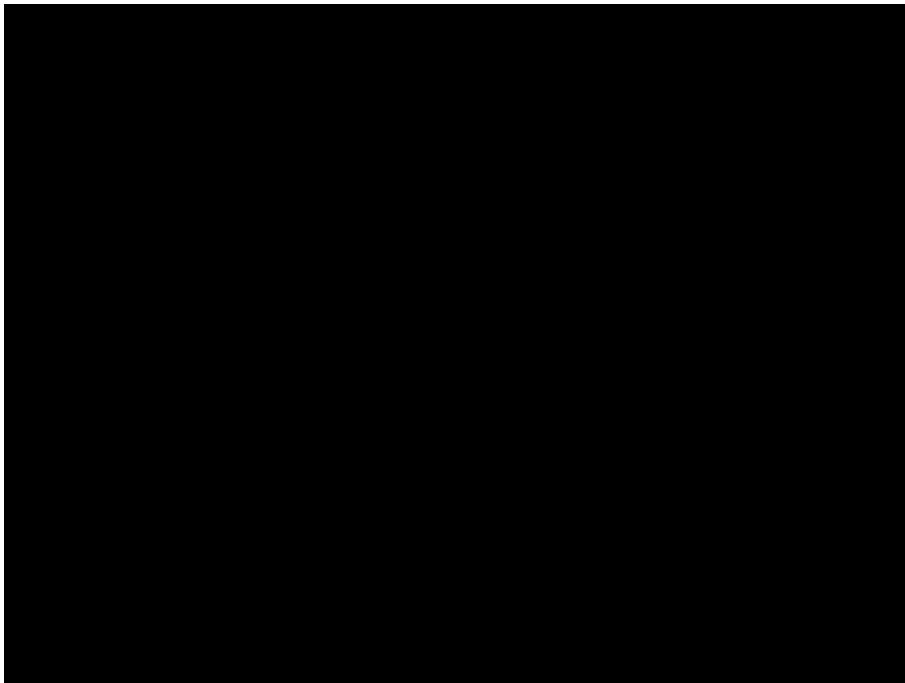
Europska unija
Ulaganje u budućnost



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Laboratorij za materijale



Oprema za nerazorno ispitivanje materijala (različita laboratorijska oprema)

Oprema za multifunkcionalno ispitivanje materijala (*eng. Multifunctional Testing Equipment*)

Servohidraulični sustav s kontroliranom silom i pomakom za statička i dinamička ispitivanja niskih frekvencija građevinskih materijala (ispitivanja betona, mortova, blokova i slično, na tlak i savijanje, cikličkih ispitivanja za određivanje sekantnog modula elastičnosti i sl.).



Europska unija
Ulaganje u budućnost



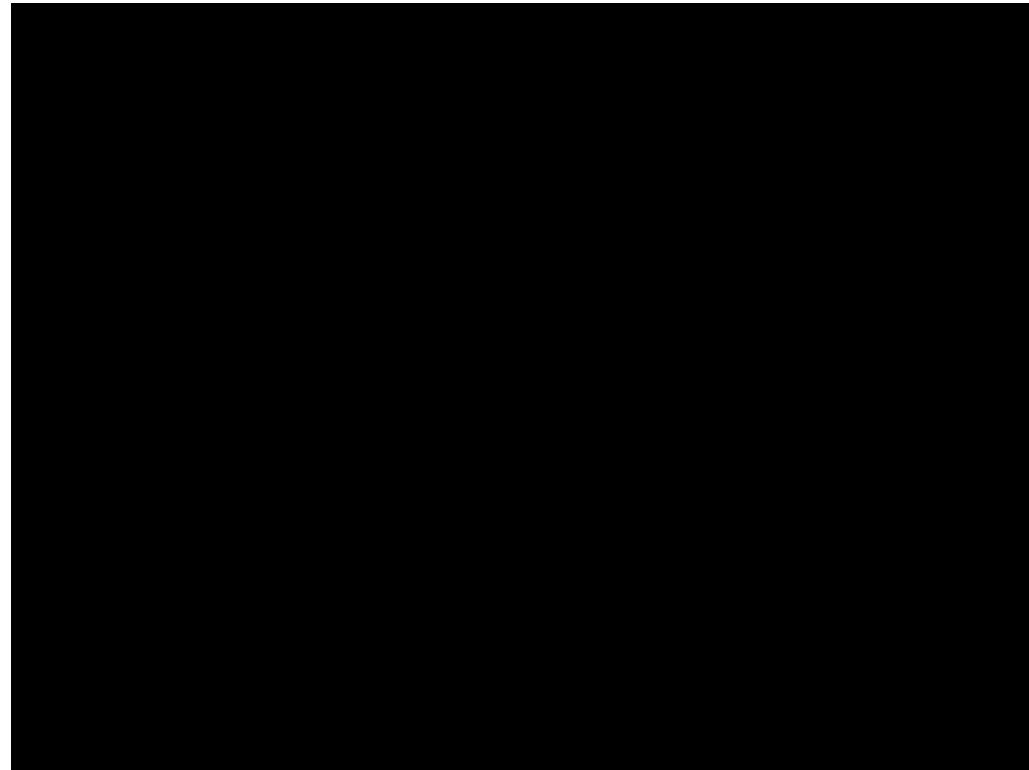
Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.
Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Sveučilišta u Rijeci.



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Laboratorij za konstrukcije



Integrirani sustav za modalnu analizu konstrukcija
Ultrazvučni uređaj i tvrdomjer za čelik
Instrumenti za direktni i indirektni snimak i sl.



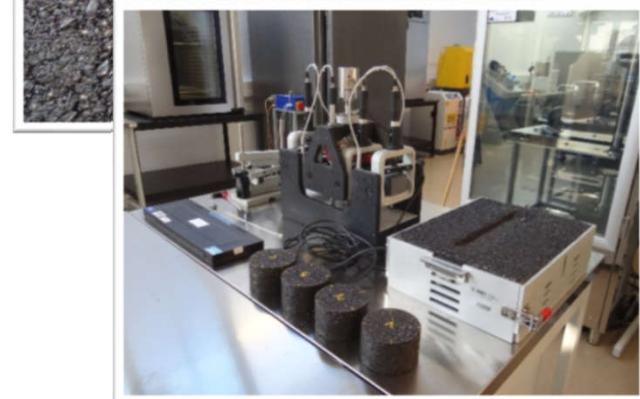
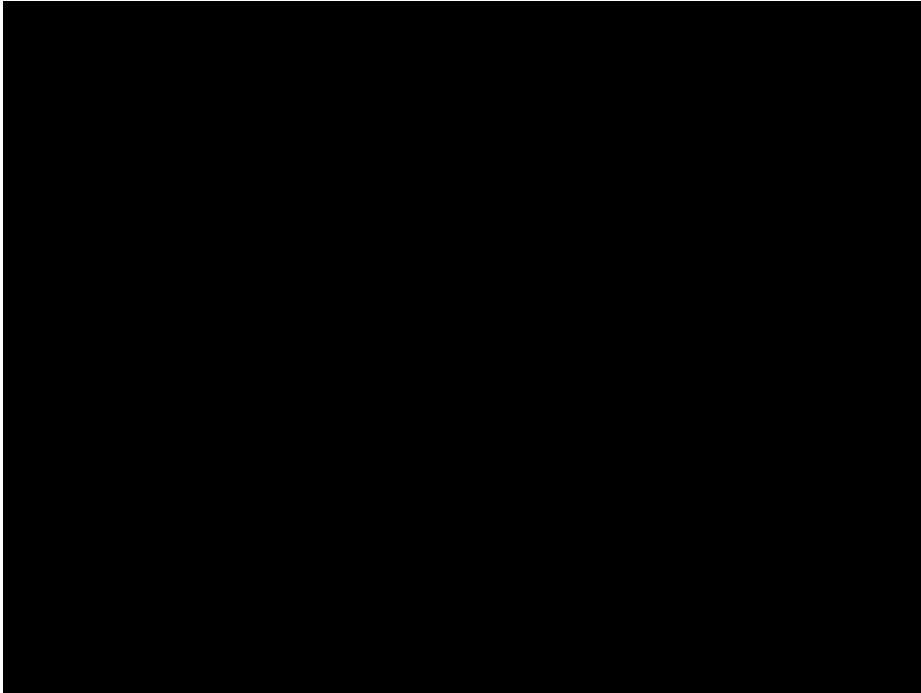
Europska unija
Ulaganje u budućnost



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Laboratorij za prometnice



Oprema za ispitivanje agregata, cementa i betona, te multifunkcionalno ispitivanje.
Oprema za ispitivanje bitumenskih mješavina. Deflektometar, laserski profilomjer, georadar.
Uredaj za kolotraženje s dvostrukim kotačem (eng. *Double Wheel Tracker*) koji služi za određivanje otpornosti asfaltne mješavine na plastične deformacije tipa kolotraga mjeranjem dubine kolotraga pod ponavljanim opterećenjem.



Europska unija
Ulaganje u budućnost



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

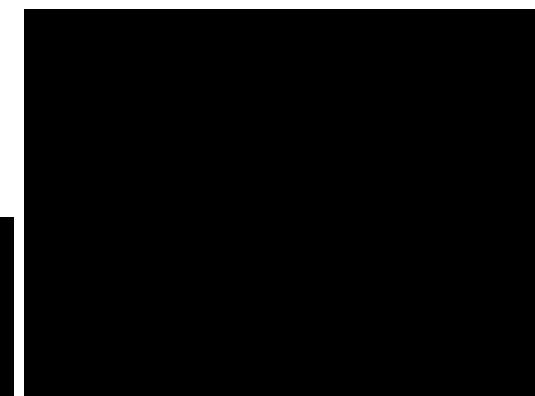
1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Laboratorij za hidrotehniku

Terenske i laboratorijske sonde za tlak i stupanj saturacije, oprema za indukciju i mjerjenje brzine tekućine, oprema za vizualizaciju i analizu strujanja tekućine i mjerjenje mehaničkih, kemijskih i bioloških karakteristika vode.

Eksperimentalni žlijeb za modeliranje toka u otvorenim koritima, eksperimentalne komore za modeliranje oborina i podzemnih strujanja vode.

Video oprema za snimanje hidrodinamičkih efekata i procesa. Komplet za modeliranje tlačnih sustava, akustičnih strujomjera tipa ADCP, Vectrino uredaj i još mnogo mnogo toga.



Europska unija
Ulaganje u budućnost



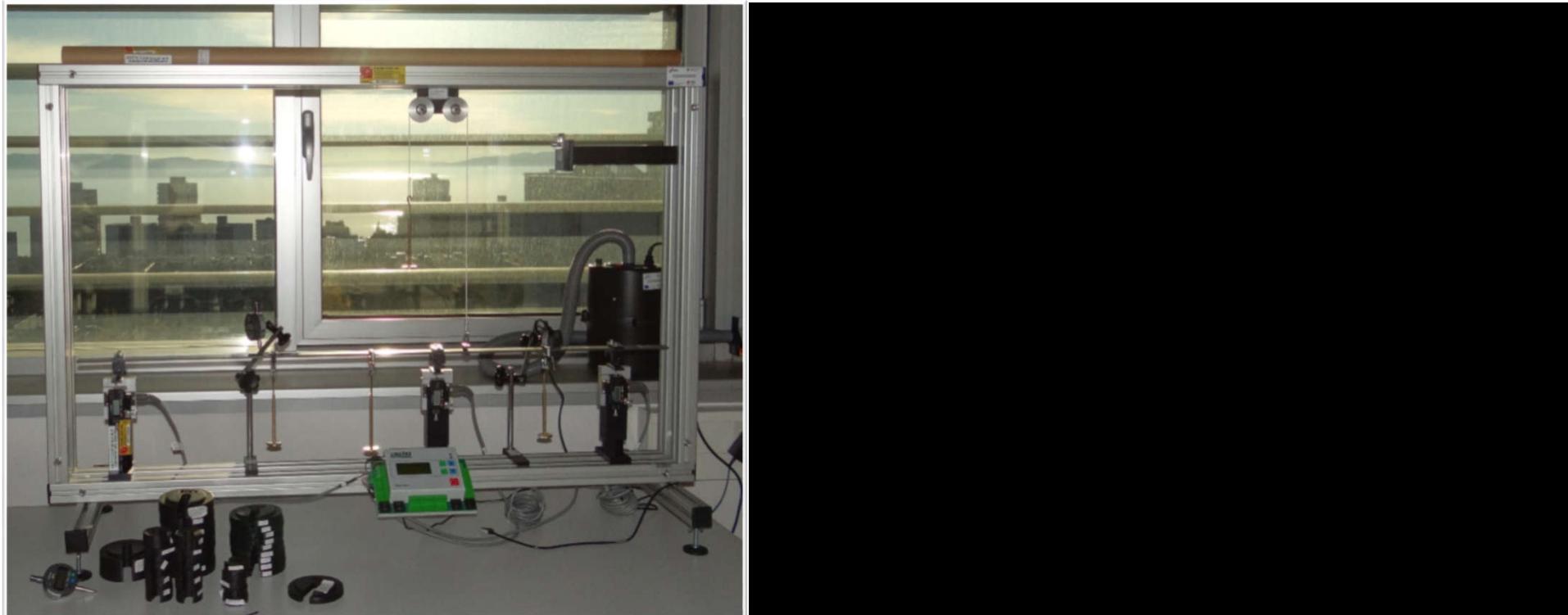
Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.
Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Sveučilišta u Rijeci.



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Poučavamo studente u zabavnim praktikumima.



Europska unija
Ulaganje u budućnost



Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.
Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Sveučilišta u Rijeci.

1. Uvodno o Građevinskom fakultetu i laboratorijima

Vodimo studente na terensku nastavu



2. Međunarodna suradnja (Erasmus, CEEPUS mobilnost)

Međunarodna suradnja Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci provodi se temeljem sporazuma o suradnji, ugovora o razmjenama studenata, nastavnika i pomoćnog osoblja te bilateralnim znanstvenim projektima i kontaktima nastavnika s inozemnim kolegama.

Fakultet surađuje sa slijedećim inozemnim institucijama u područjima znanosti, istraživanja i visokoškolskoga obrazovanja:

- Northwestern University Evanston, Department of Civil and Environmental Engineering
- Boston University, Physics Department
- University of Pecs, Faculty of Architecture
- University of Glasgow, Department of Civil Engineering
- Universitat Politècnica de Catalunya, Departamento de Matematica Aplicada III
- Tampere University of Technology, Institute of Applied Mechanics and Optimization
- Ecole Normale Supérieure de Cachan, Department of Civil Engineering
- Univerzitet «Džemal Bijedić» u Mostaru, Građevinski fakultet
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
- Università di Padova, Dipartimento di costruzioni e trasporti
- Università IUAV di Venezia, Facoltà di architettura
- Niigata University, Research Centre for Natural Hazards and Disaster Recovery
- Kyoto University, Disaster Prevention Research Institute
- Wiesbaden University of Applied Sciences, Faculty of Architecture and Civil Engineering
- University of Stuttgart, Institute of Construction Materials
- Građevinski fakultet u Beogradu, Sveučilište u Beogradu
- Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Sveučilište u Novom Sadu

2. Međunarodna suradnja (Erasmus, CEEPUS mobilnost)

Sporazumi o suradnji:

- [Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo](#)
- [Univerzitet «Džemal Bijedić» u Mostaru, Građevinski fakultet](#)
- Stuttgart University of Applied Sciences, Hochschule für Technik

Erasmus ugovori o razmjeni:

- [Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo](#)
- [Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo](#)
- [Università di Padova, Dipartimento di costruzioni e trasporti](#)
- [Hochschule RheinMain / University of Applied Sciences Wiesbaden Rüsselsheim Geisenheim](#)
- Universität für Bodenkultur Wien
- Università degli Studi di Salerno
- Avrasya Üniversitesi
- Conservatoire national des arts et métiers
- Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

CEEPUS ugovori o razmjeni:

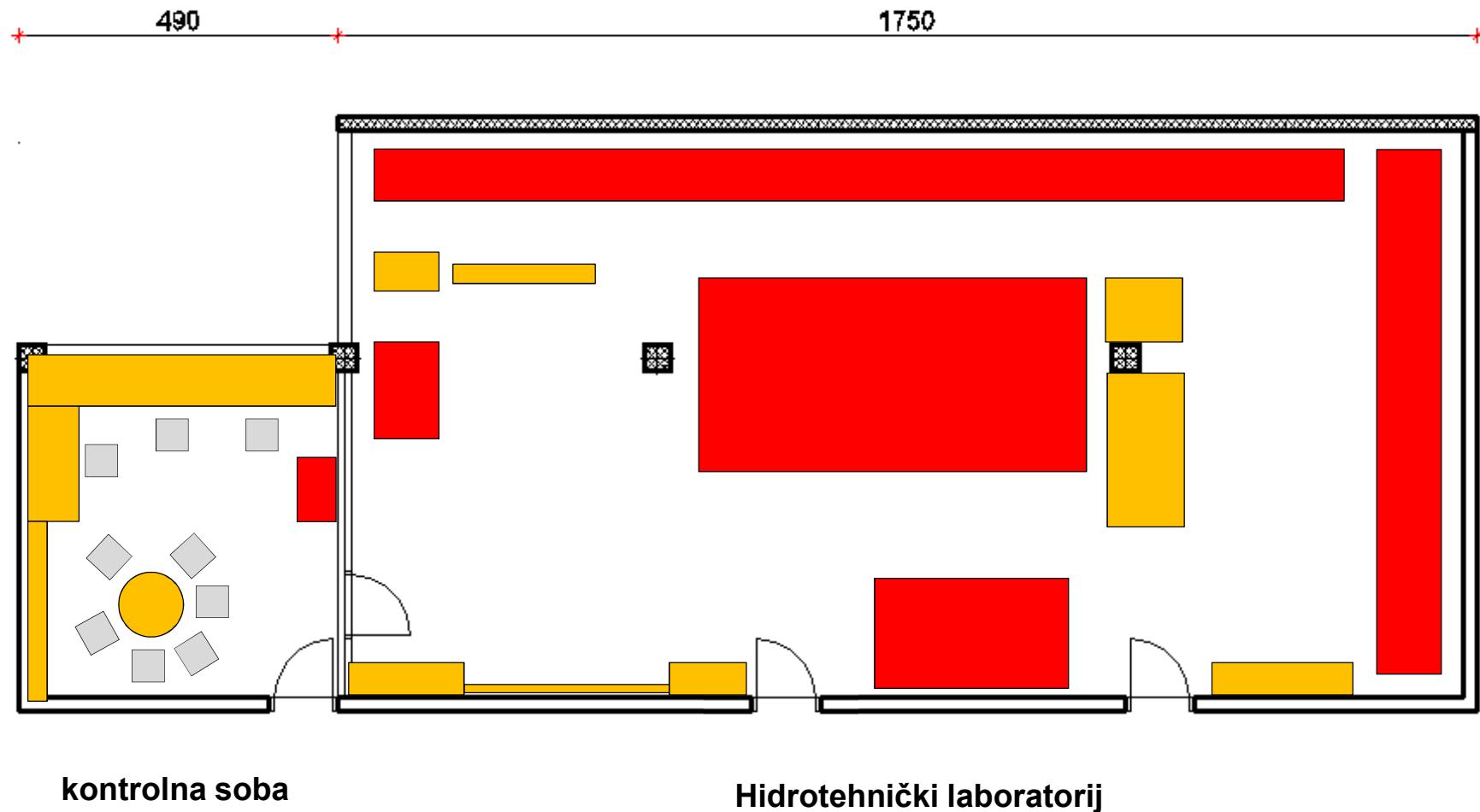
- Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu (CEEPUS III projekt: *Building Knowledge and Experience Exchange in CFD* (CIII-RS-1113-05-2122))
- Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Nišu (*Applied Hydroinformatics*, CIII-RS-1112-05-2021, Umbrella)

3. Hidrotehnički laboratorij i praktikum

Fizikalni modeli i njihova popratna mjerna
oprema u hidrotehničkom laboratoriju
Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci

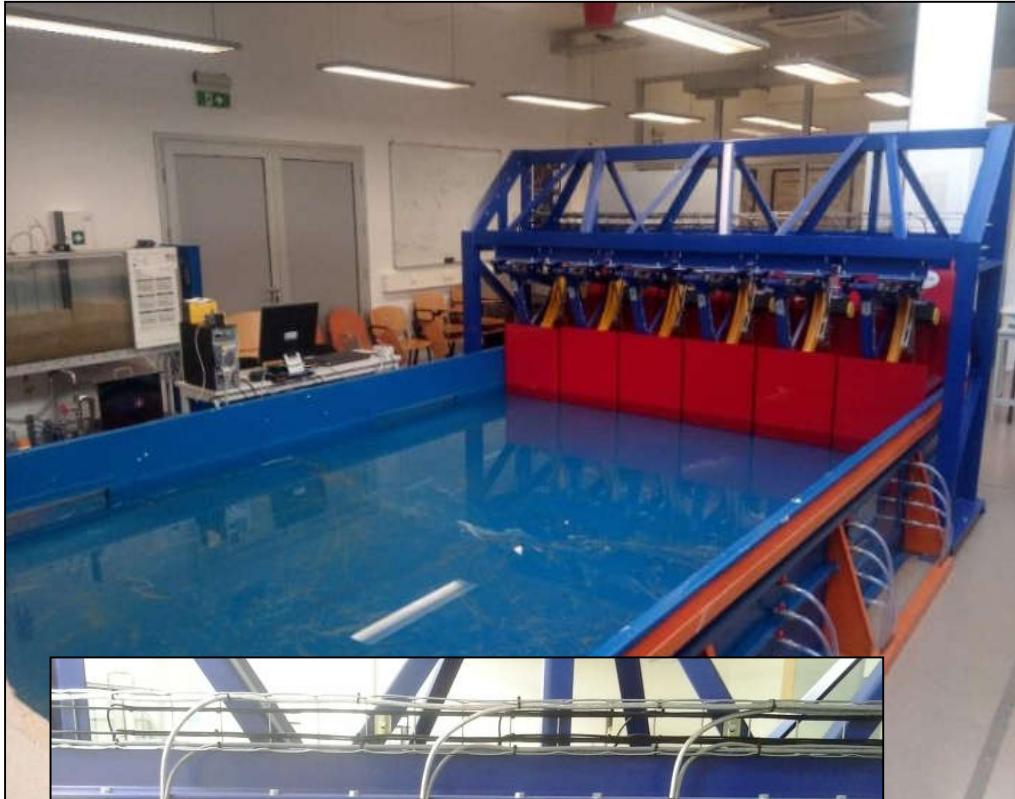
3. Hidrotehnički laboratorij

Tlocrt laboratorija

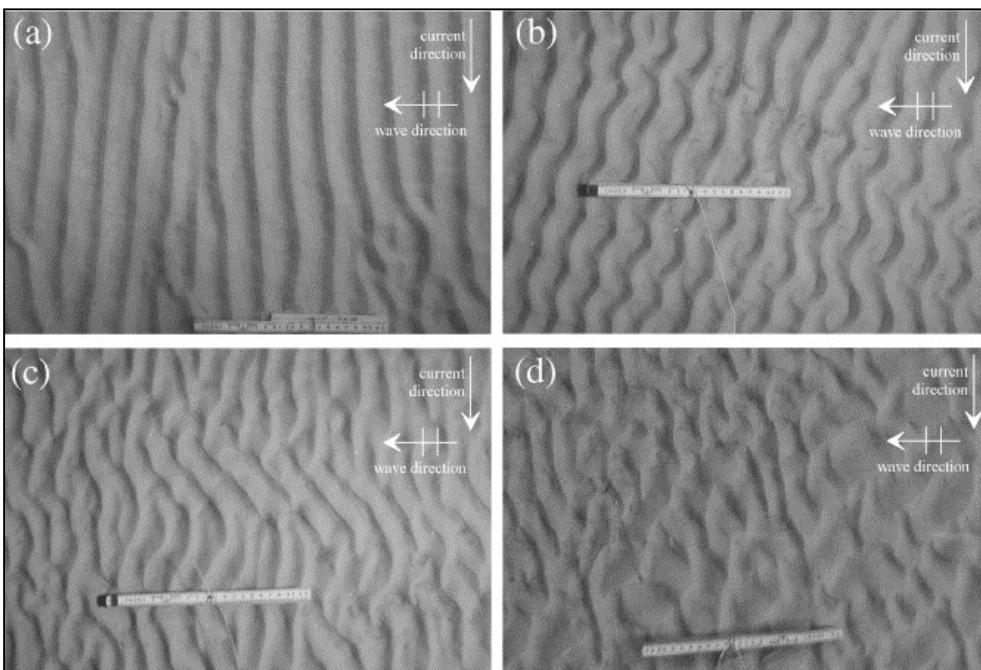


Eksperimentalni bazen sa generatorom valova

1 kom = 80,000.00 kn



Kratki opis opreme:	<p><i>Bazen sa generatorom valova u svrhu ispitivanja fizikalnih modela pomorskih građevina i deformacije morskih valova.</i> <i>Eksperimentalni bazen nudi mogućnost modeliranja morskih struja.</i></p>
Namjena opreme:	<p><i>Ispitivanje interakcija morskih valova i pomorskih građevina putem zadavanja spektra vjetrovnih morskih valova.</i></p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• <i>600 x 300 x 40 cm</i>• <i>6 lopatica sa senzorima povratnog vala sa mogućnošću generiranja ritmičnih i neritmičnih valova paralelnih sa generatorom ili pod kutom.</i>• <i>Upravljanje generatorom valova putem računala i specifikacije različitih spektra vjetrovnih morskih valova</i>• <i>Mogućnost modeliranja monokromatskih valova do visine 0.25 m</i>



- Generator valova sa hidraulički pokretanim dijelovima
- Uključuje i programski paket za kontrolu
- 4 hidraulički pokretana klipa omogućavaju kreiranje cijelog niza valova:
 - regularni valovi
 - iregularni - filtrirani bijeli šum
 - iregularni - Fourierova serija
 - valovi definirani prema želji korisnika
- Osim valova omogućava i kreiranje stanja mora prema raznim skalama:

Pierson-Moskowitz

JONSWAP

ITTC

ISSC

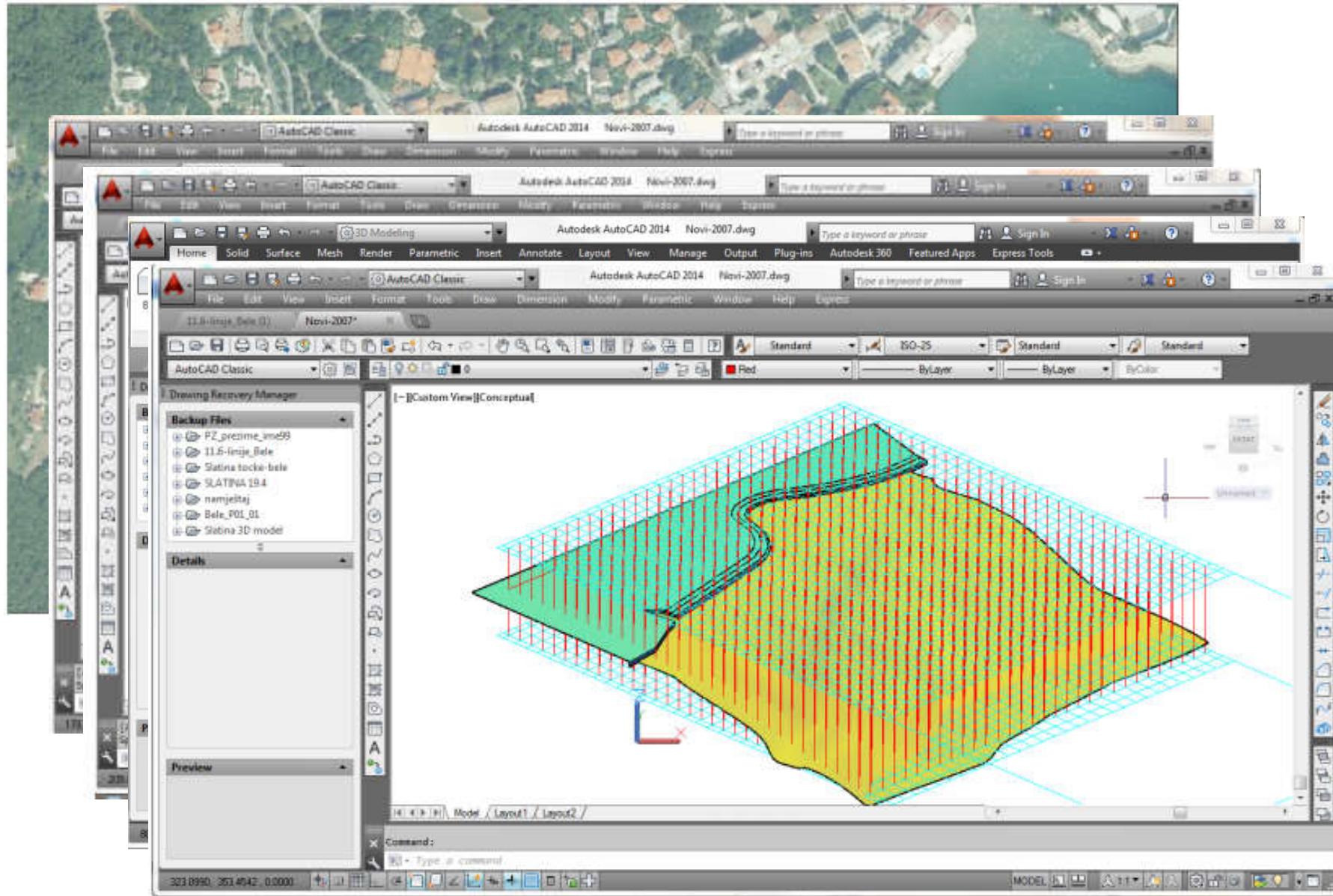
Darbyshire Coastal

Darbyshire Ocean

Neuman

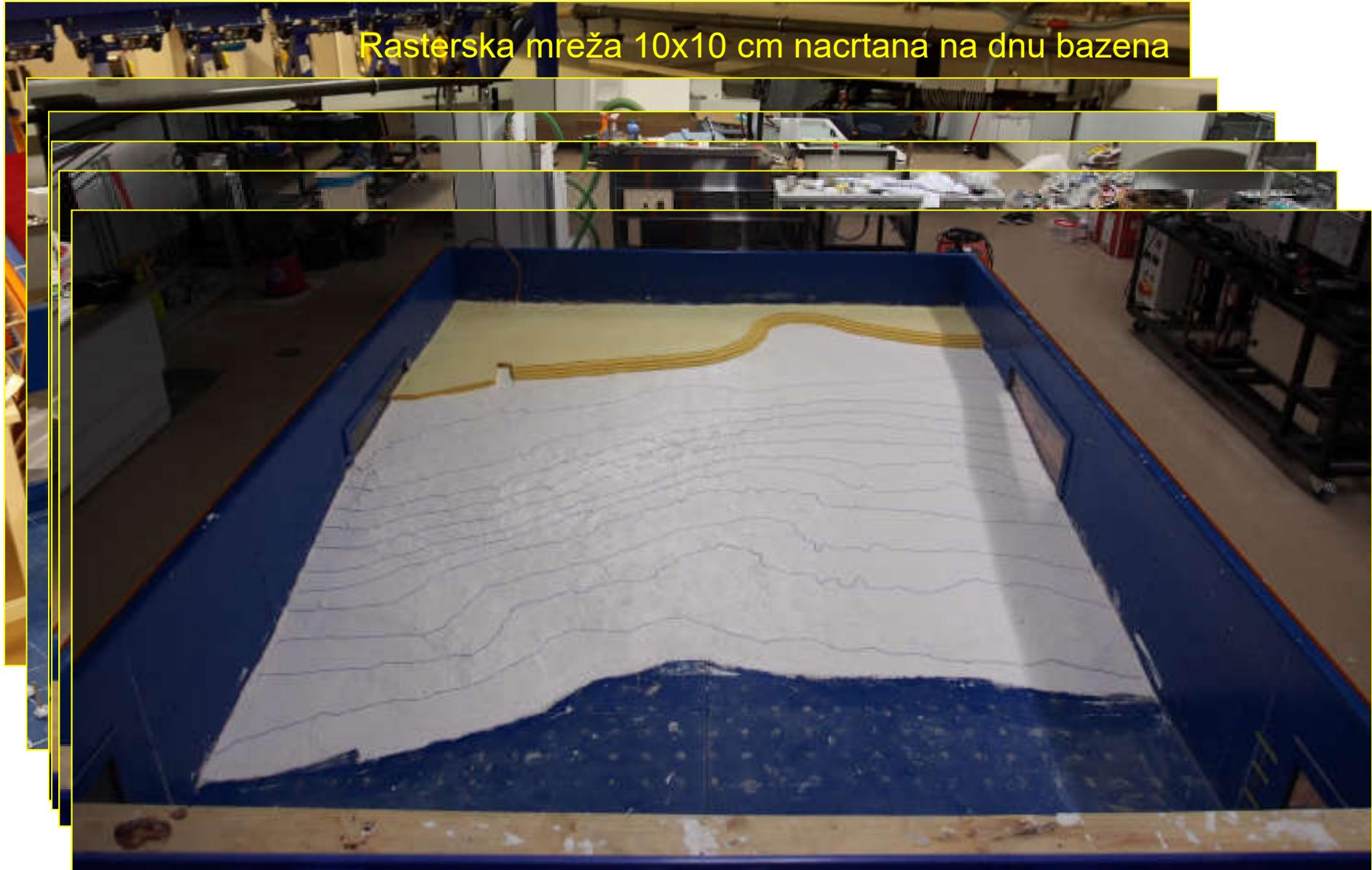
Bazen sa generatorom valova – diplomske radovi

Izrada fizikalnog modela obalne linije i podmorja kupališta Slatina



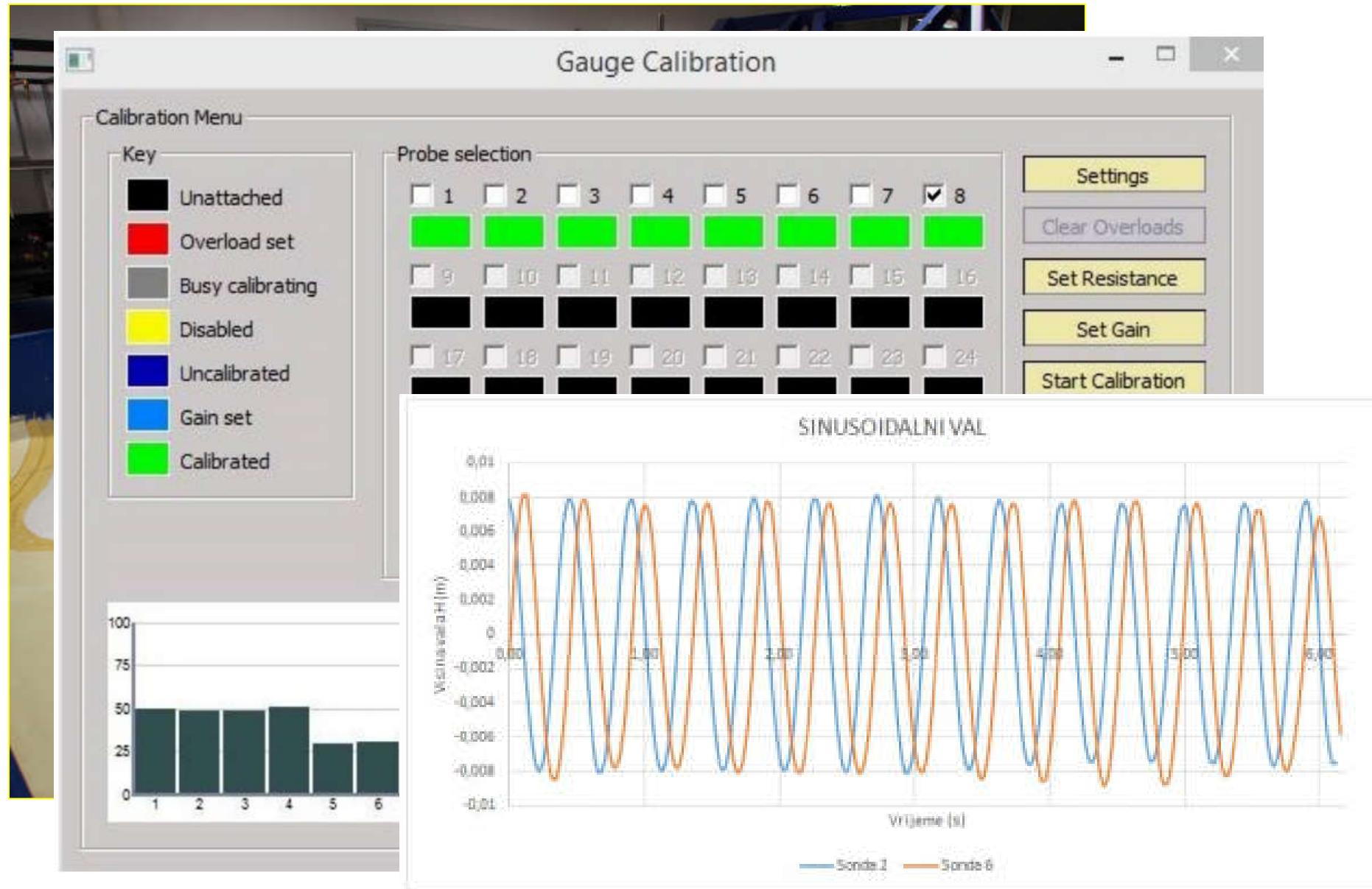
Bazen sa generatorom valova – diplomske radovi

Izrada fizikalnog modela obalne linije i podmorja kupališta Slatina



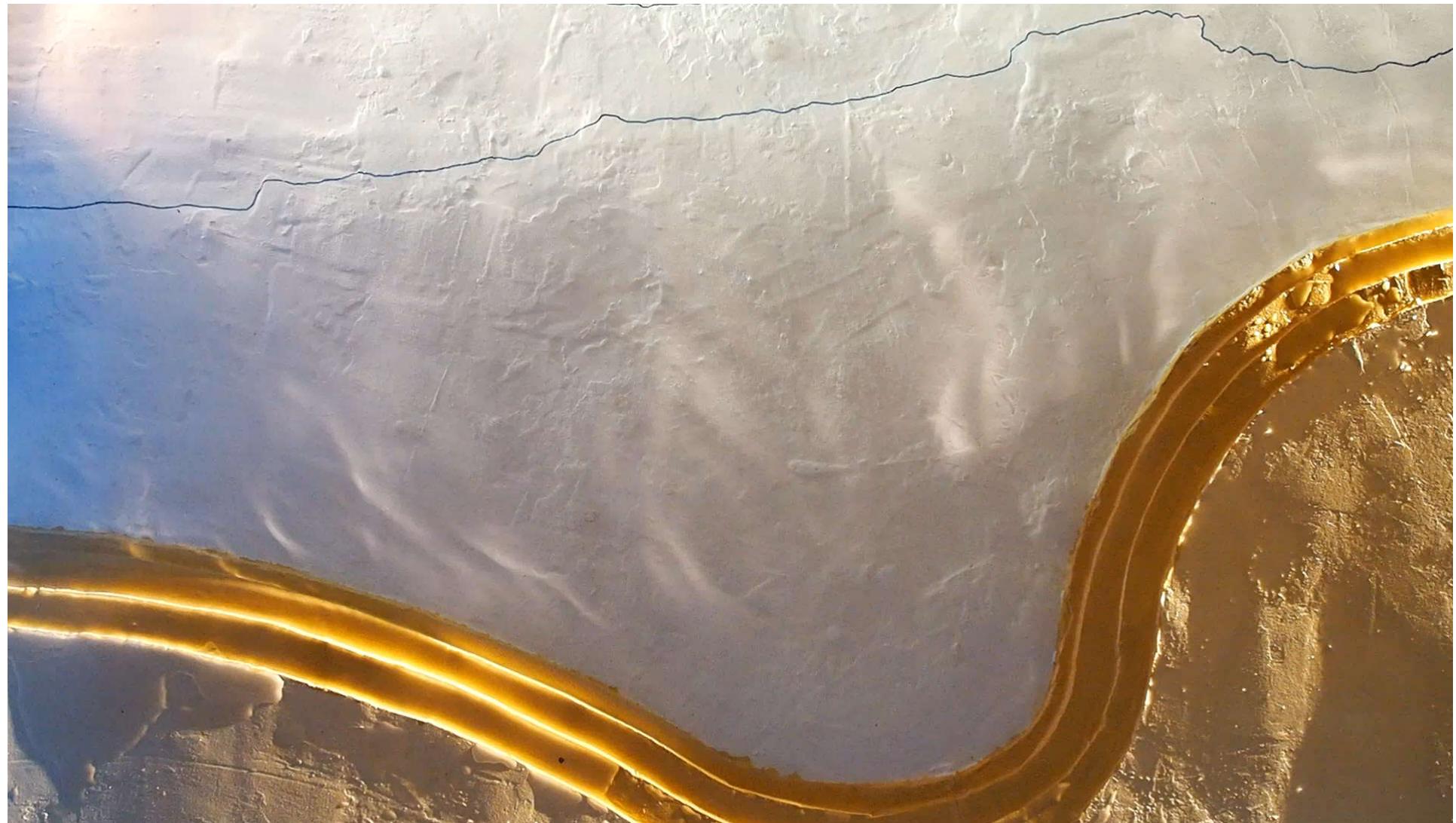
Bazen sa generatorom valova – diplomske radovi

Prilog laboratorijskog ispitivanja valovanja u blizini obalne linije kupališta Slatina



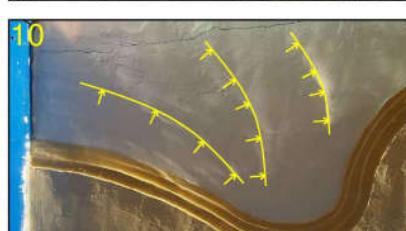
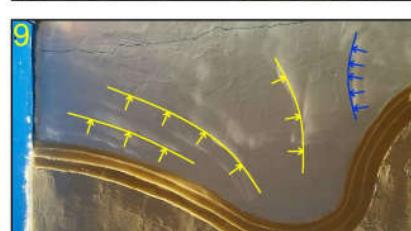
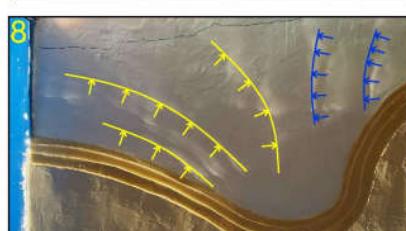
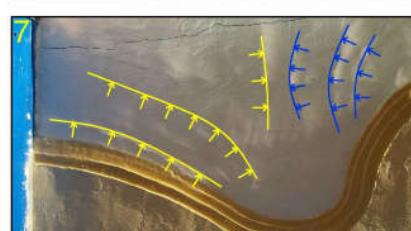
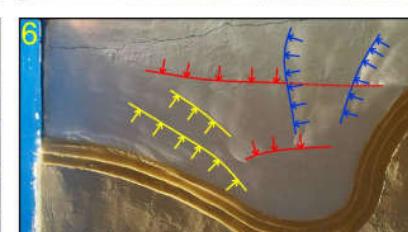
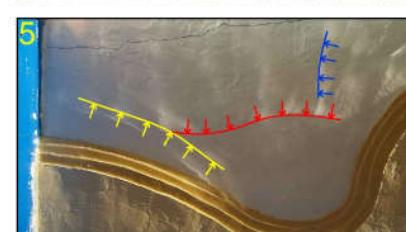
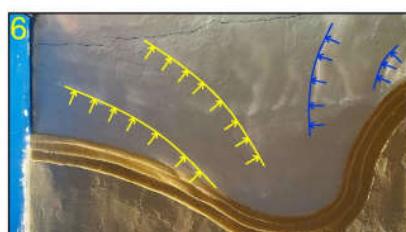
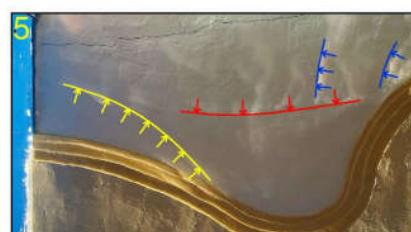
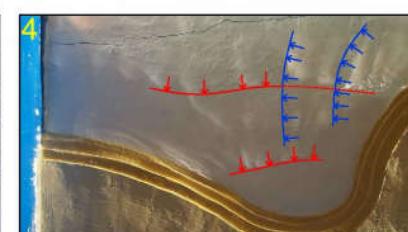
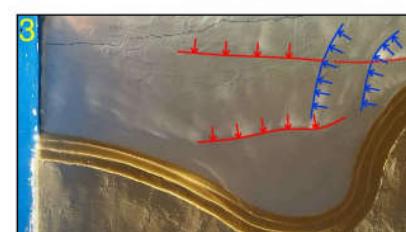
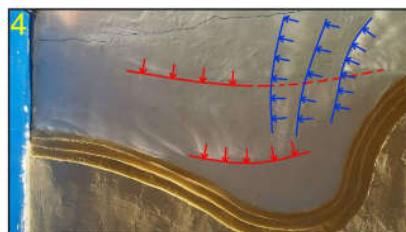
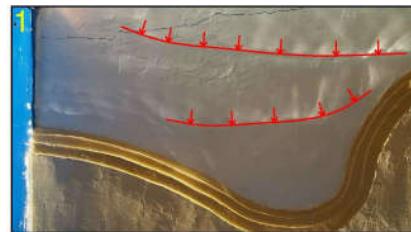
Bazen sa generatorom valova – diplomske radovi

Prilog laboratorijskog ispitivanja valovanja u blizini obalne linije kupališta Slatina



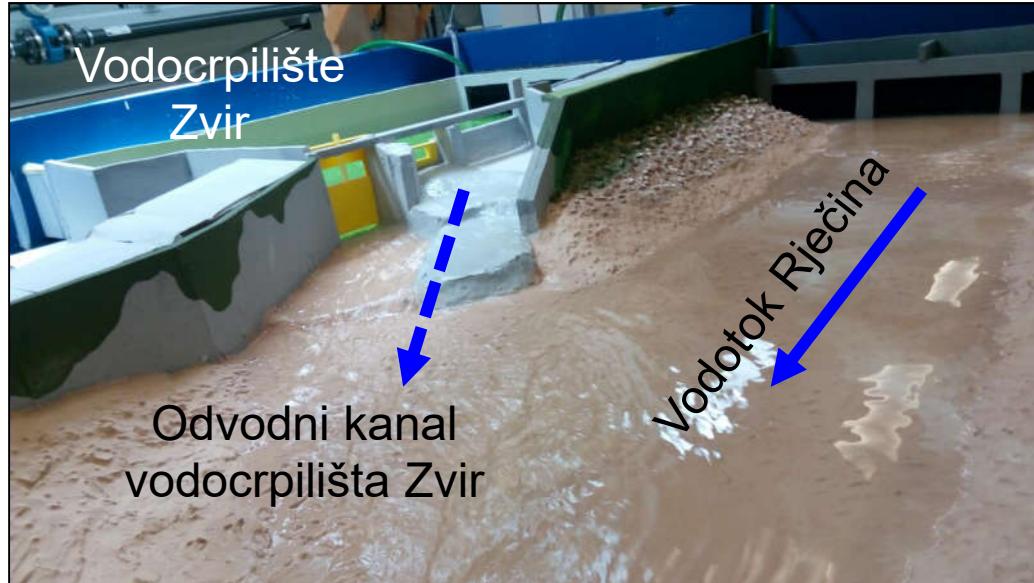
Bazen sa generatorom valova – diplomske radovi

Prilog laboratorijskog ispitivanja valovanja u blizini obalne linije kupališta Slatina



Bazen sa generatorom valova – diplomske radovi

Laboratorijska analiza evakuacijskih preljevnih polja vodocrpilišta Zvir u Rijeci (2017.)



Eksperimentalni hidraulički kanal

1 kom = 1,131,972.00 kn



- Osnovni dio mehanike umjetne rijeke
- Umjetna rijeka je dimenzija 12,5 m (radna sekcija) i presjeka 300 x 450 mm
- Uljev sa umirenjem toka i izljevni sifon su dio kompleta
- Stranice rijeke su od temperiranog stakla i omogućavaju dobar pregled doqadađanja unutar toka
- Podnica je od nehrđajućeg čelika
- Stabilnost dimenzija je +/- 0,5 mm za pod i +/- 1 mm za podnicu na kompletnoj duljini
- Mogućnost nagiba +ve slope: 1:40 max (1.4°) -ve slope: 1:200 max (0.28°)
- U setu se nalaze i pumpe sa manualnom kontrolom, mjerač protoka i set tankova



Eksperim. hidr. kanal – GUNT HM-162

1 kom = 1,131,972.00 kn



Kratki opis opreme:	<ul style="list-style-type: none"><i>Eksperimentalni žlijeb</i><i>Generator monokromatskih valova</i><i>Pumpa za transport sedimenta,</i><i>50 priezometra,</i><i>10 termometara opsega 0-50 °C,</i><i>4 pokretnih nosača mjernih pretvornika</i>
Namjena opreme:	<i>Hidraulička ispitivanja hidrotehničkih građevina i hidrauličkih procesa u otvorenim koritima</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Poprečni presjek: 309 x 450 mm</i><i>Duljina: 12,5 m</i><i>Raspon nagiba - 0,5...+2,5%</i><i>Maksimalni protok: 132 m³/h (36,6 l/s)</i><i>Elektromagnetski mjerač protoka</i><i>Svi parametri se kontroliraju putem računala</i>

Eksperimentalni hidr. kanal - DODATAK

1 kom = 77,472.00 kn



- Generator valova sa hidraulički pokretanom lopatom za S6 umjetnu rijeku
- Uključuje i programski paket za kontrolu



Eksperimentalni hidr. kanal - DODATAK

1 kom = 77,472.00 kn

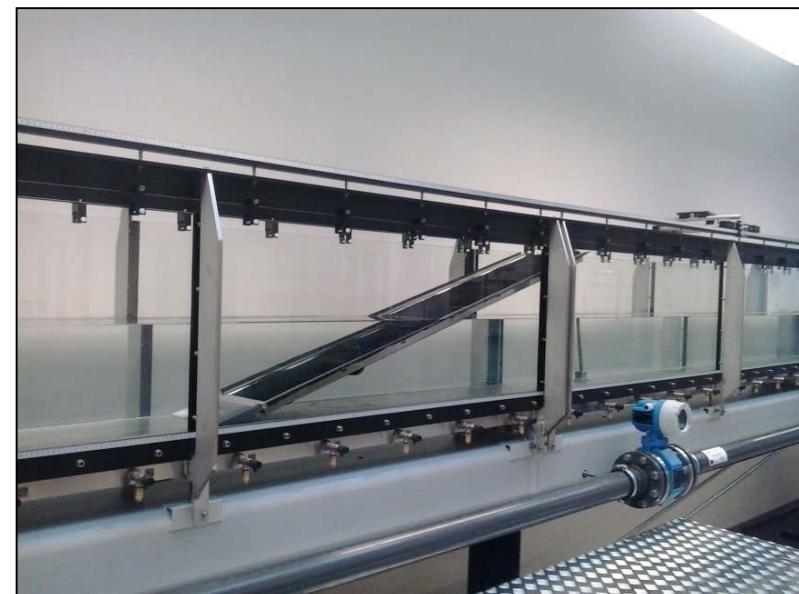




- Petlja za odvajanje sedimenta
- Prilikom eksperimenata sa transportom sedimenata nužno je potrebno isti odvojiti od toka prije nego što uđe u recirkulacijske pumpe



- Umjetna plaža za S6 rijeku
- Koristi se u kombinaciji sa generatorom valova na suprotnom kraju da se spriječi odbijanje valova i dobivanje nepravilnih uzoraka

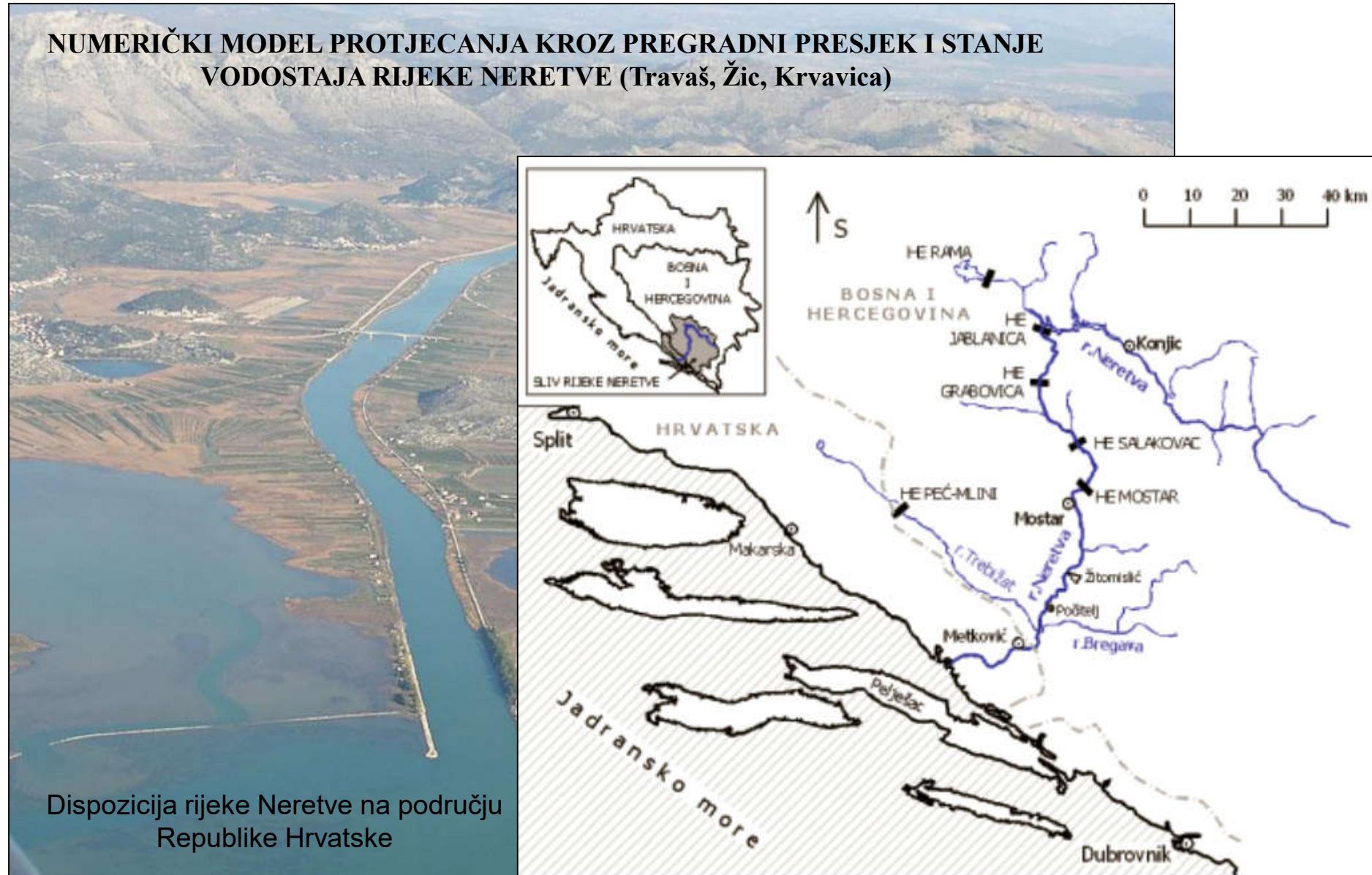




- Automatizirane dizalice za umjet. rijeke duljine 10 i 12,5 m
- Uključuje zaštitu od previsokog dizanja i spuštanja
- Komplet sa nadzornim ormarom



Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

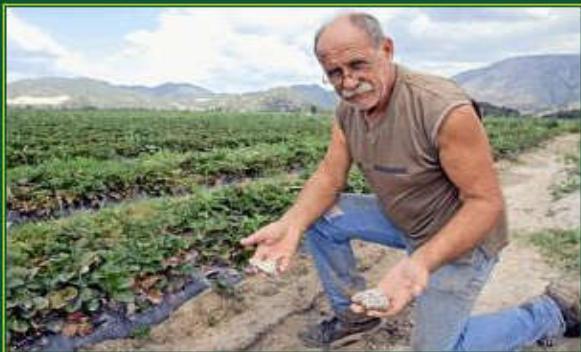


Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

NUMERIČKI MODEL PROTJECANJA KROZ PREGRADNI PRESJEK I STANJE VODOSTAJA RIJEKE NERETVE (Travaš, Žic, Krvavica)



Gdje se nalazim? [AgroKlub.com](#) » [Poljoprivredne vijesti](#) » Sol polako prodire u dolinu Neretve i polja pretvara u slanu pustinju



Navodnjavanje

Sol polako prodire u dolinu Neretve i polja pretvara u slanu pustinju

Datum: 19.07.2011.

Kategorija:

[Poljoprivredne vijesti](#)

« Nema novca za obranu od prodora morske vode

 Dijeli

0

Tweet

manji urod, a upitna je i buduća proizvodnja.

Jure Stanić, poljoprivrednik iz **Opuzena** upozorava da je salinitet u kanalima za zalijevanje prevelik, pa voda na plantažama prema ušću **Neretve** uopće nije za upotrebu.

- Zbog zalijevanja slanom vodom već sam imao štete na mandarinama. Isto tako, negativan utjecaj slane vode osjetiti će se tijekom zimskih mjeseci, kada zalijevane mandarine uopće ne mogu podnosići niže temperature, što je bio slučaj ove godine, kaže Stanić, koji je uputio apel nadležnim, gradskim, županijskim i državnim službama za spas donjeg Ponteretvija, koje bi ukoliko se i dalje nastavi prodror slane vode od pitome i plodne doline, nekada zvane hrvatska Kalifornija, moglo postati slana pustinja.

[« Poljoprivredne vijesti](#)

Izdvojeni članci - Poljoprivredne vijesti

Odrađene predprocjene šteta od proljetnog mraza
02.05.2017.

PSC Ferenčak proširio tržište u Križevcima
20.04.2017.

Saznajte činjenice o poljoprivredi EU
15.04.2017.

Kreću isplate dobavljačima Agrokora, plaća prije...
13.04.2017.

Vezani članci - Navodnjavanje

Nova generacija izraelskih sustava navodnjavanja
14.05.2017.

Ugovorenovo navodnjavanje više od 3.000 hektara
12.05.2017.

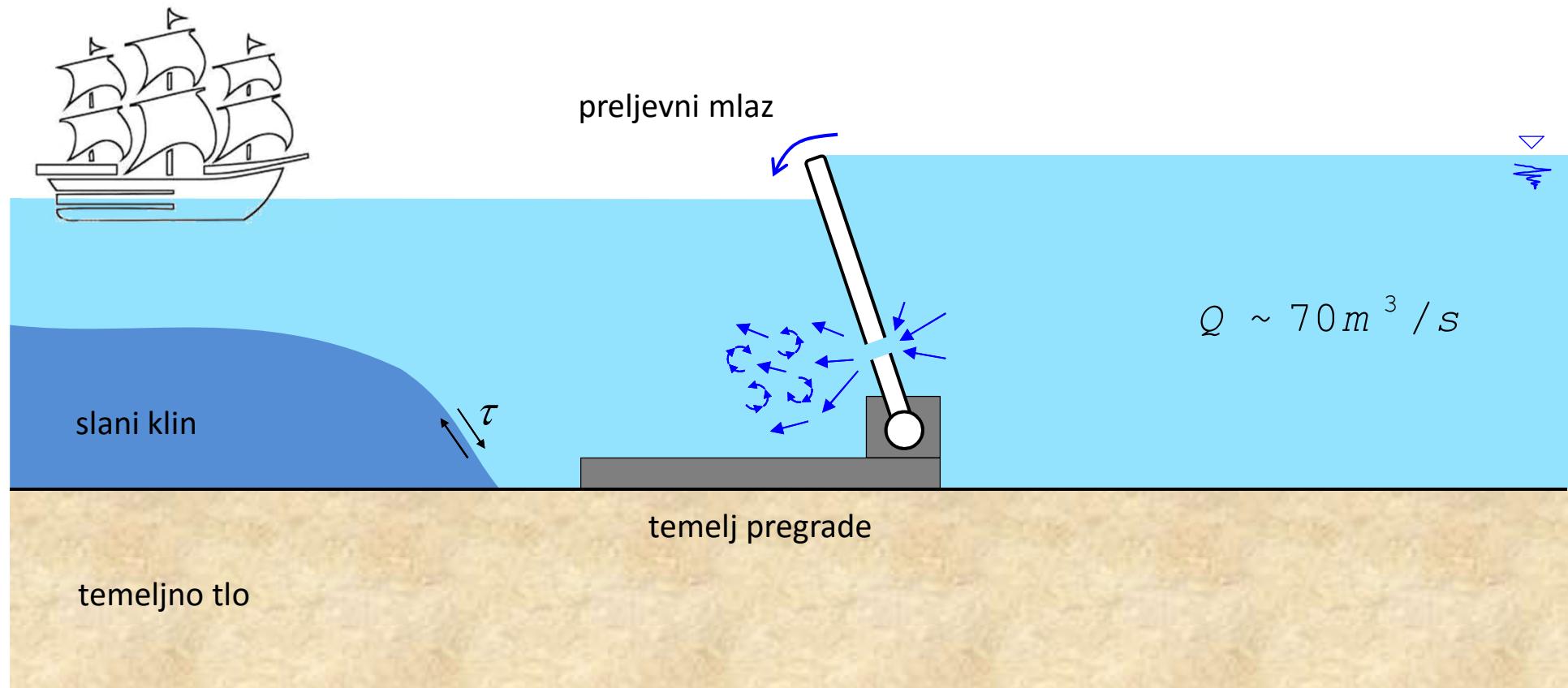
Preduvjet razvoja poljoprivrede je navodnjavanje
04.05.2017.

Besplatna predaja oglasa!

[Klikni i predaj svoj oglas >>](#)

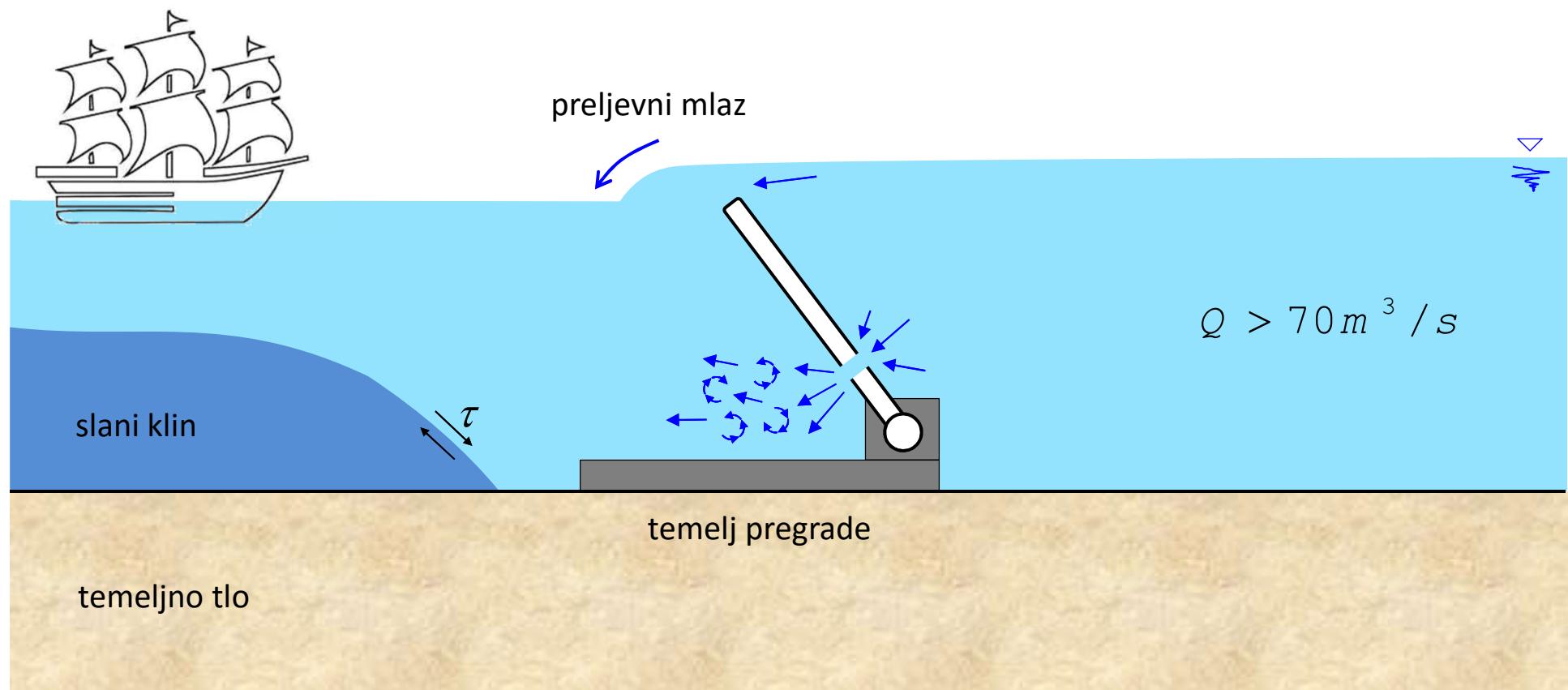
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Definiranje problema prodora slanog klina



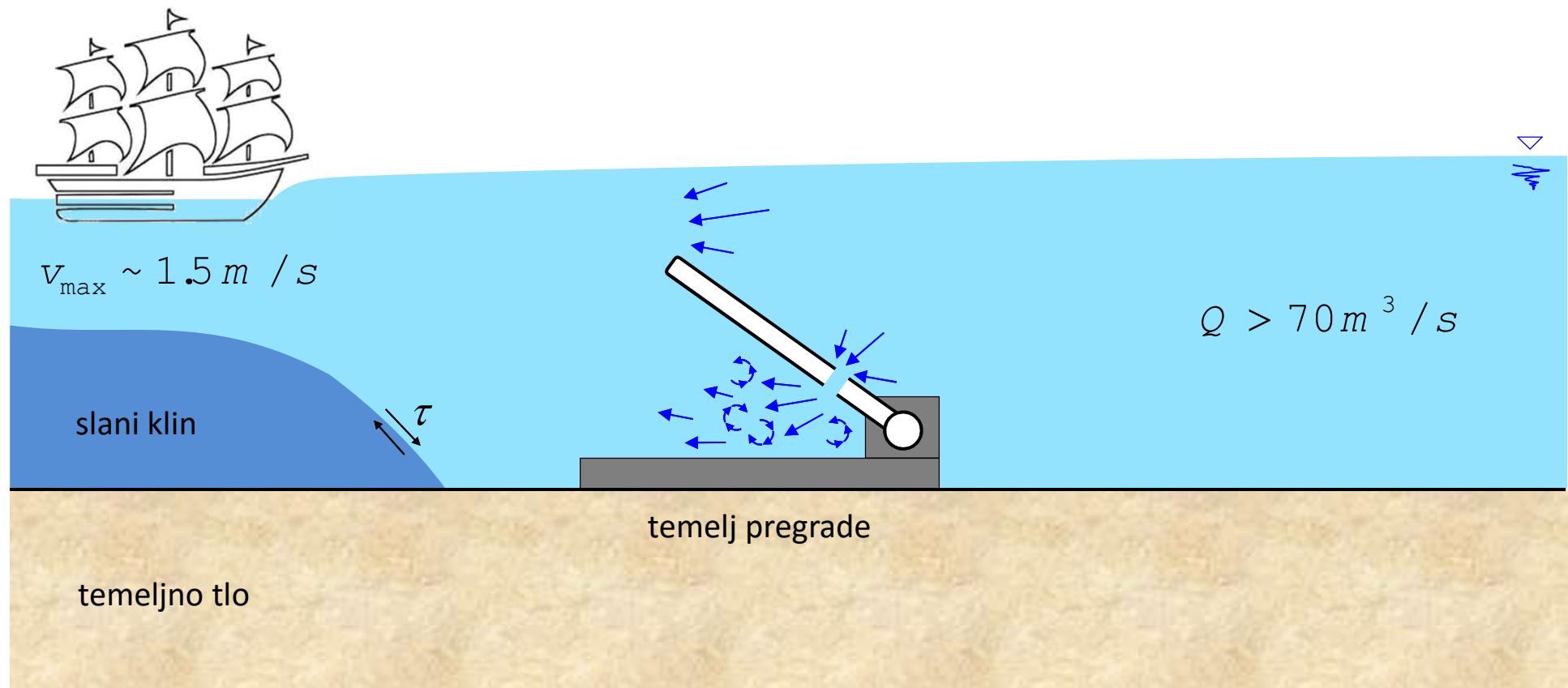
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Definiranje problema prodora slanog klina



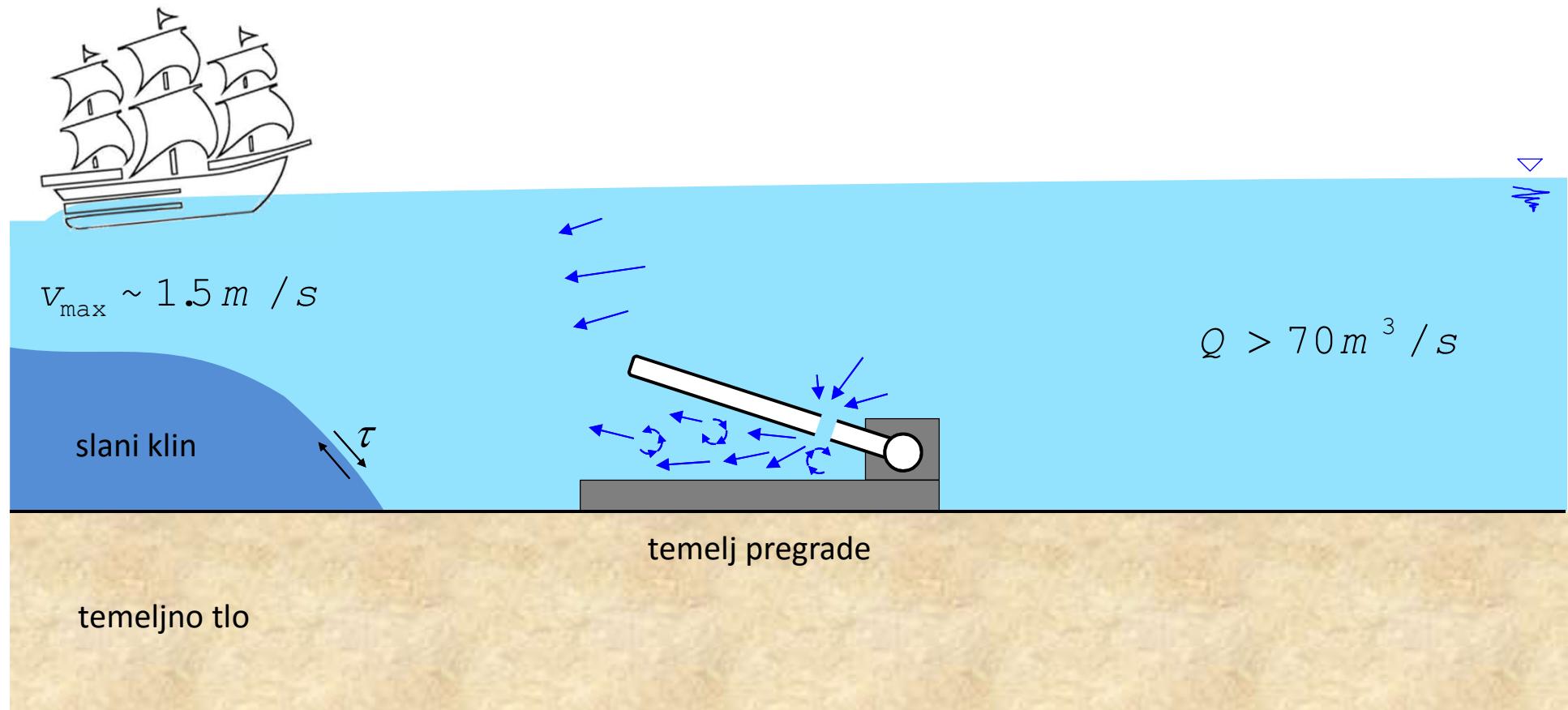
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Definiranje problema prodora slanog klina



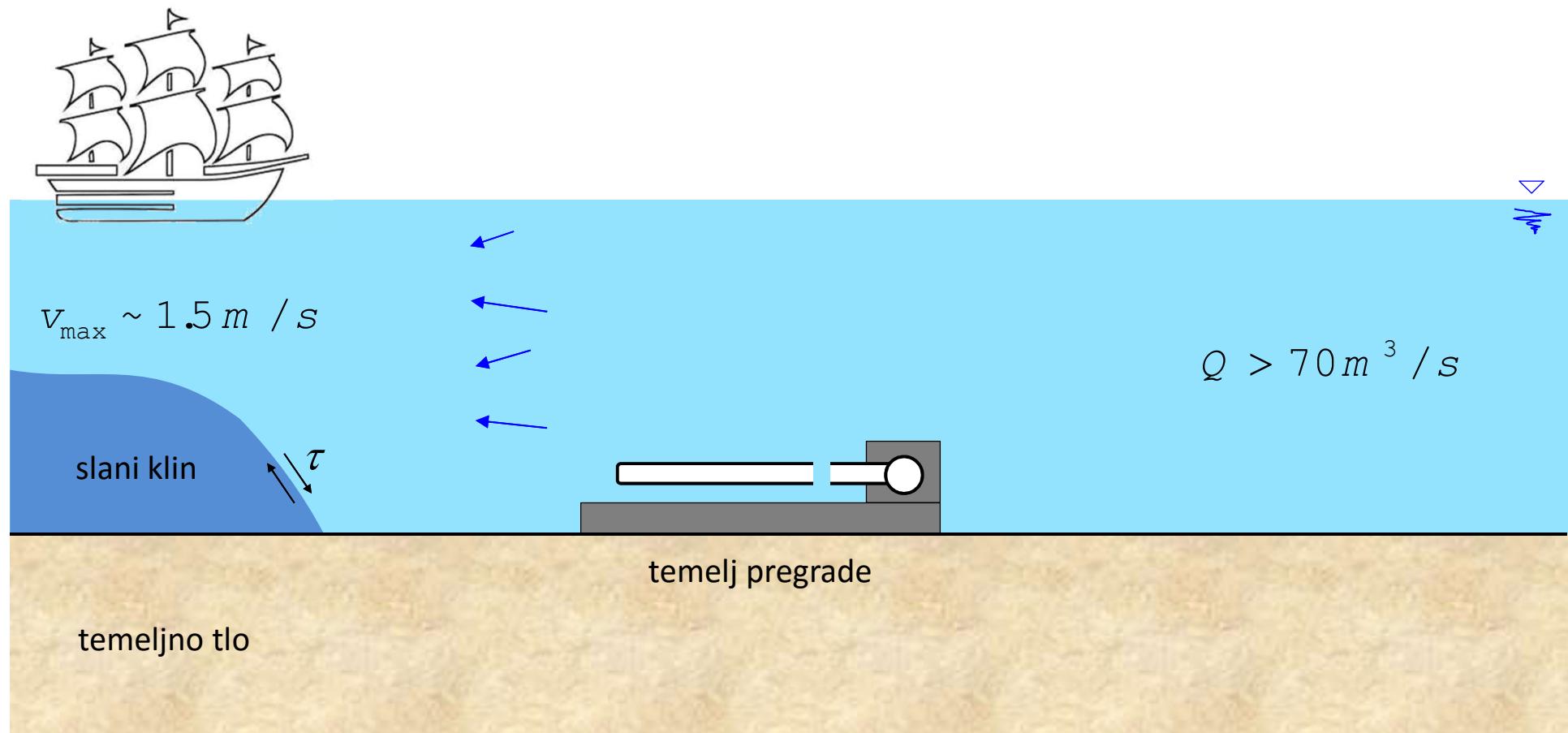
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Definiranje problema prodora slanog klina



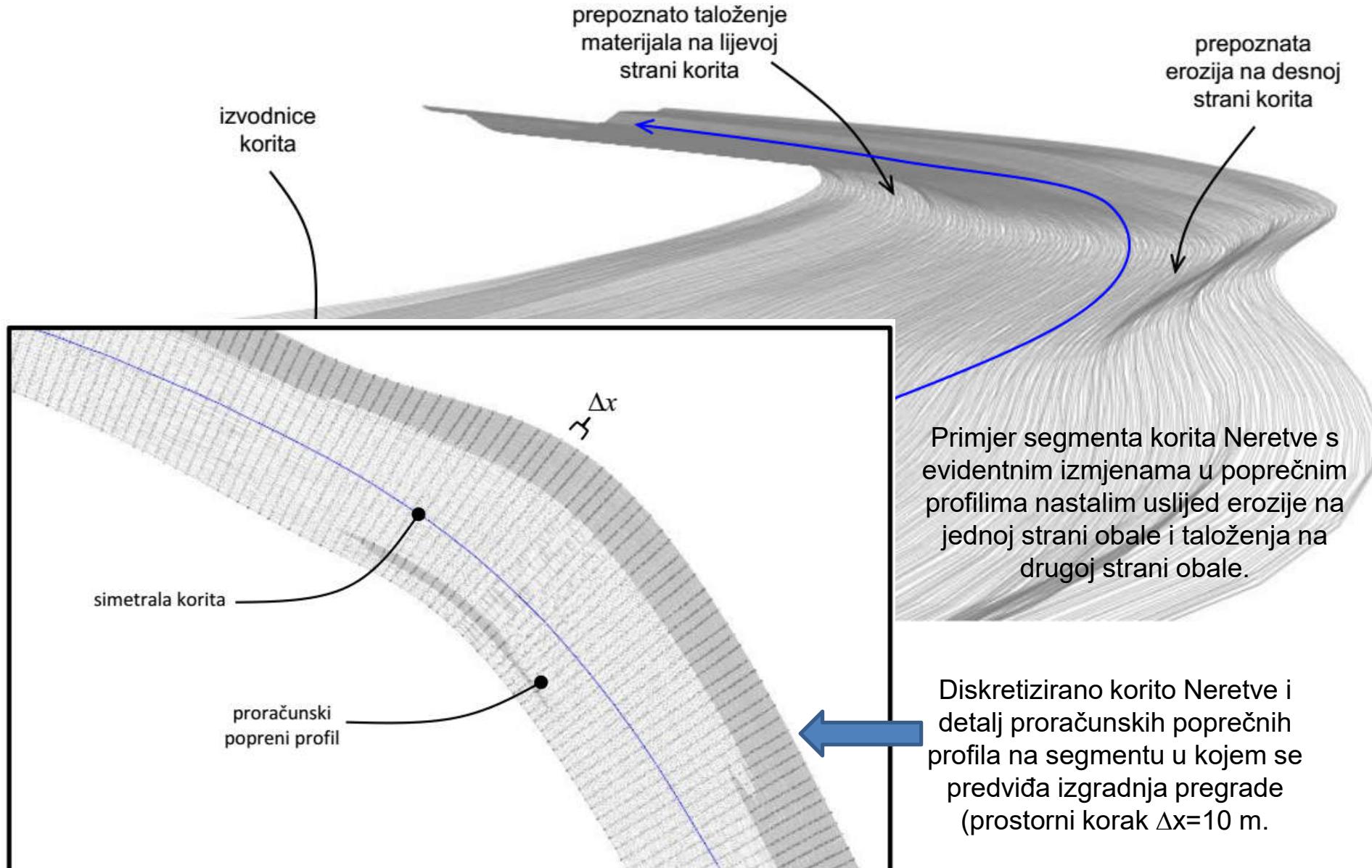
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Definiranje problema prodora slanog klina



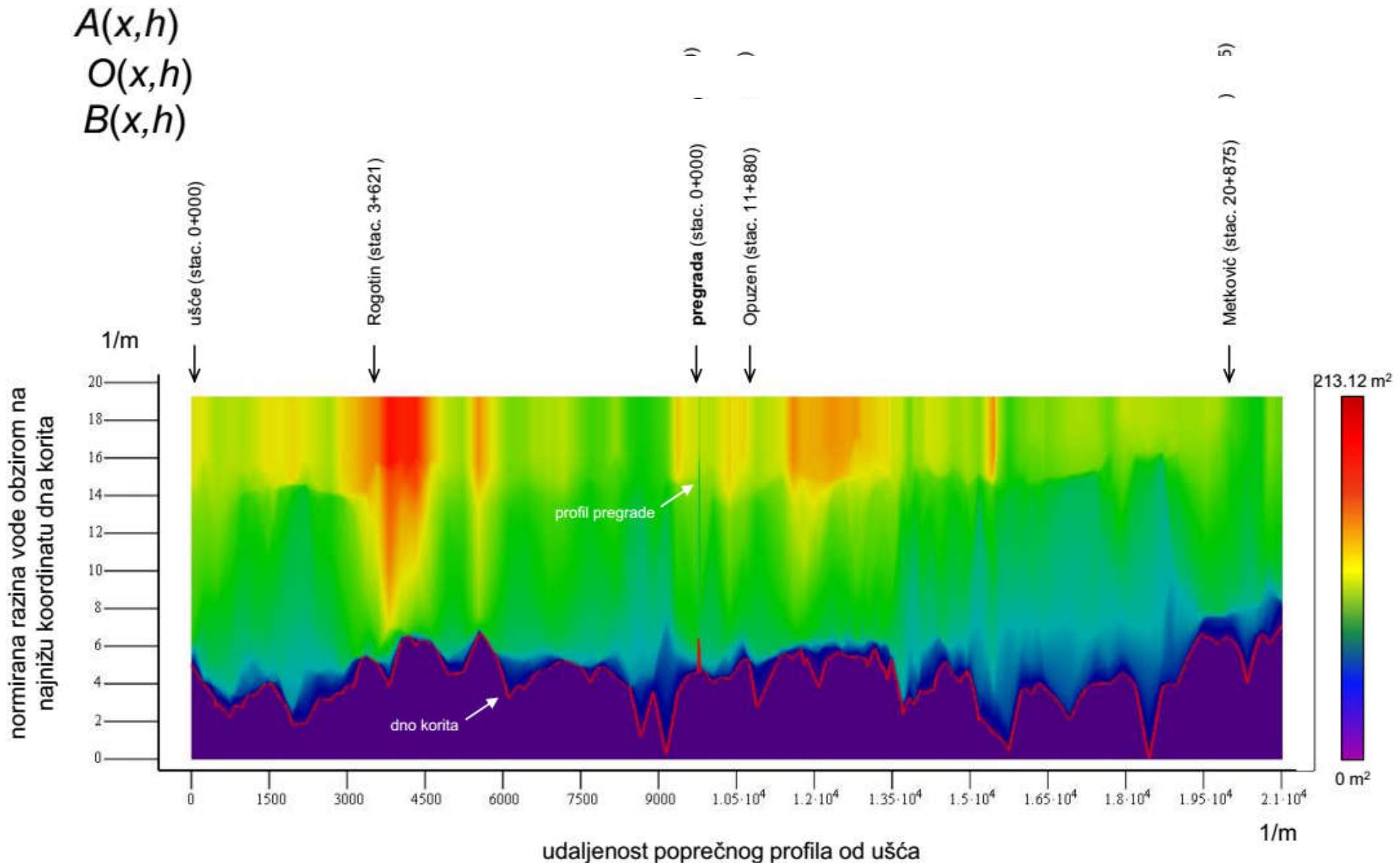
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Definiranje trase vodotoka Neretve na temelju poprečnih profila



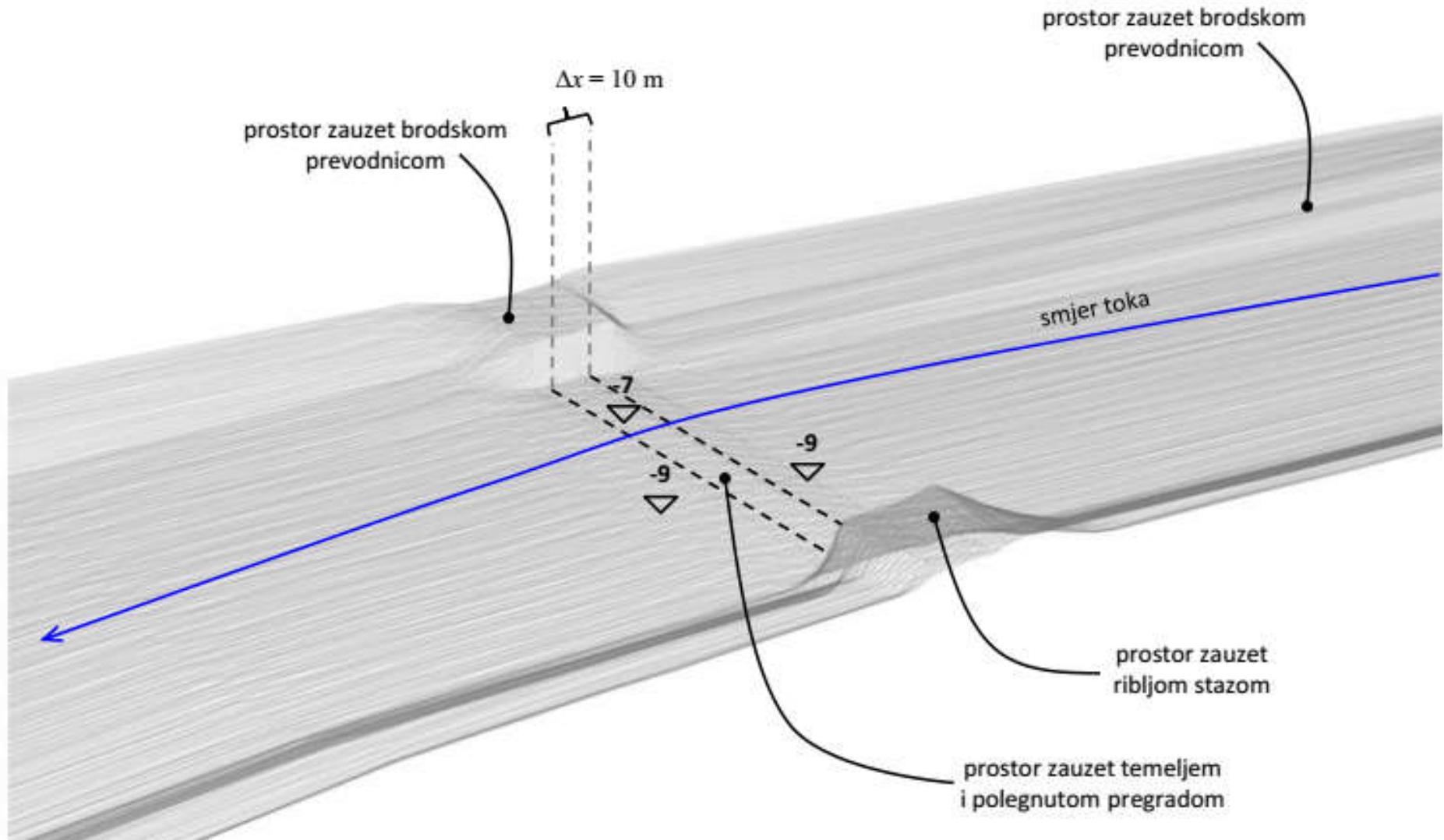
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

A – živi presjek vodotoka, O – omočeni obod, B – širina vodotoka



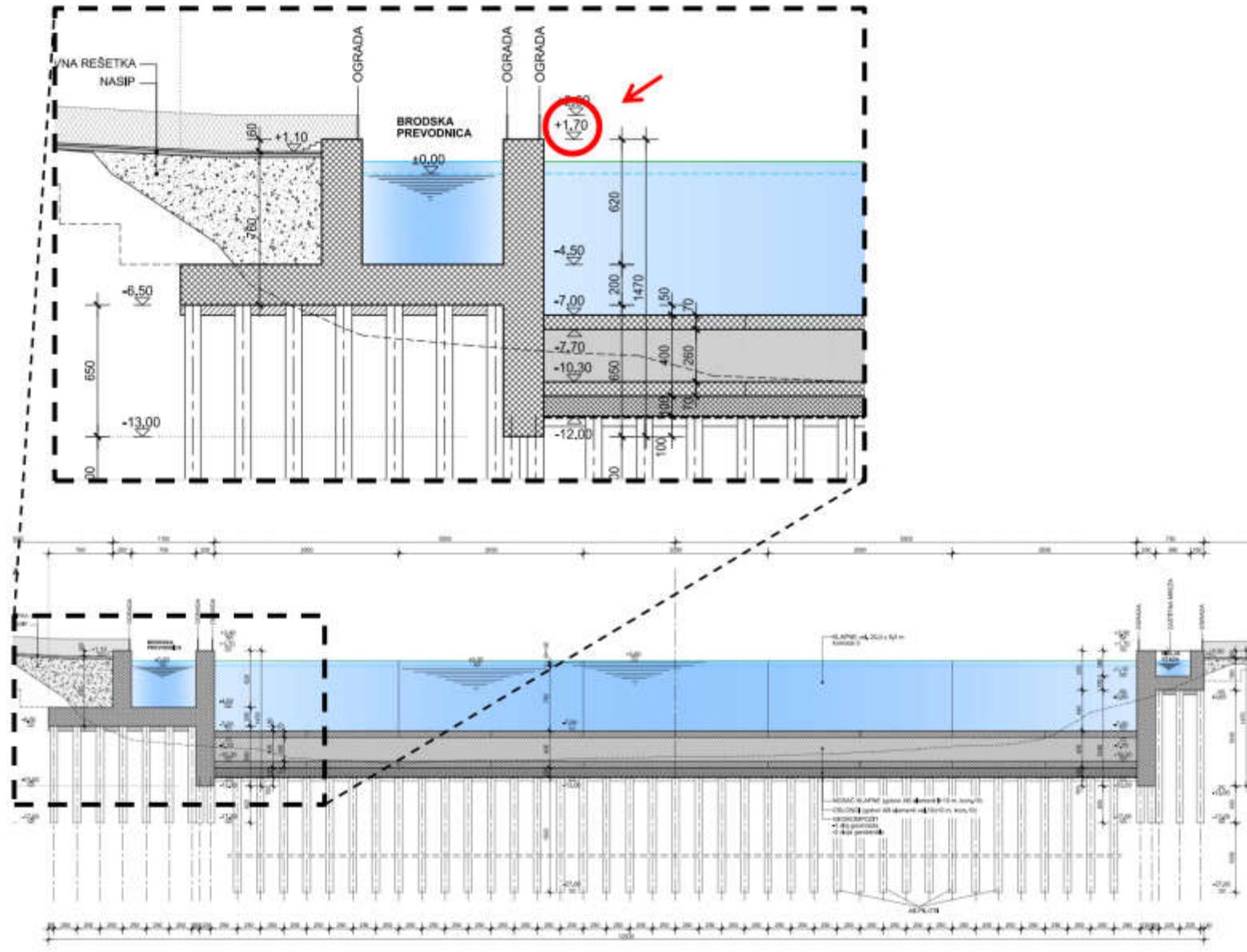
Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Prikaz geometrije korita u profilu pregrade za slučaj spuštene pregrade



Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Dispozicija buduće pneumatske brane

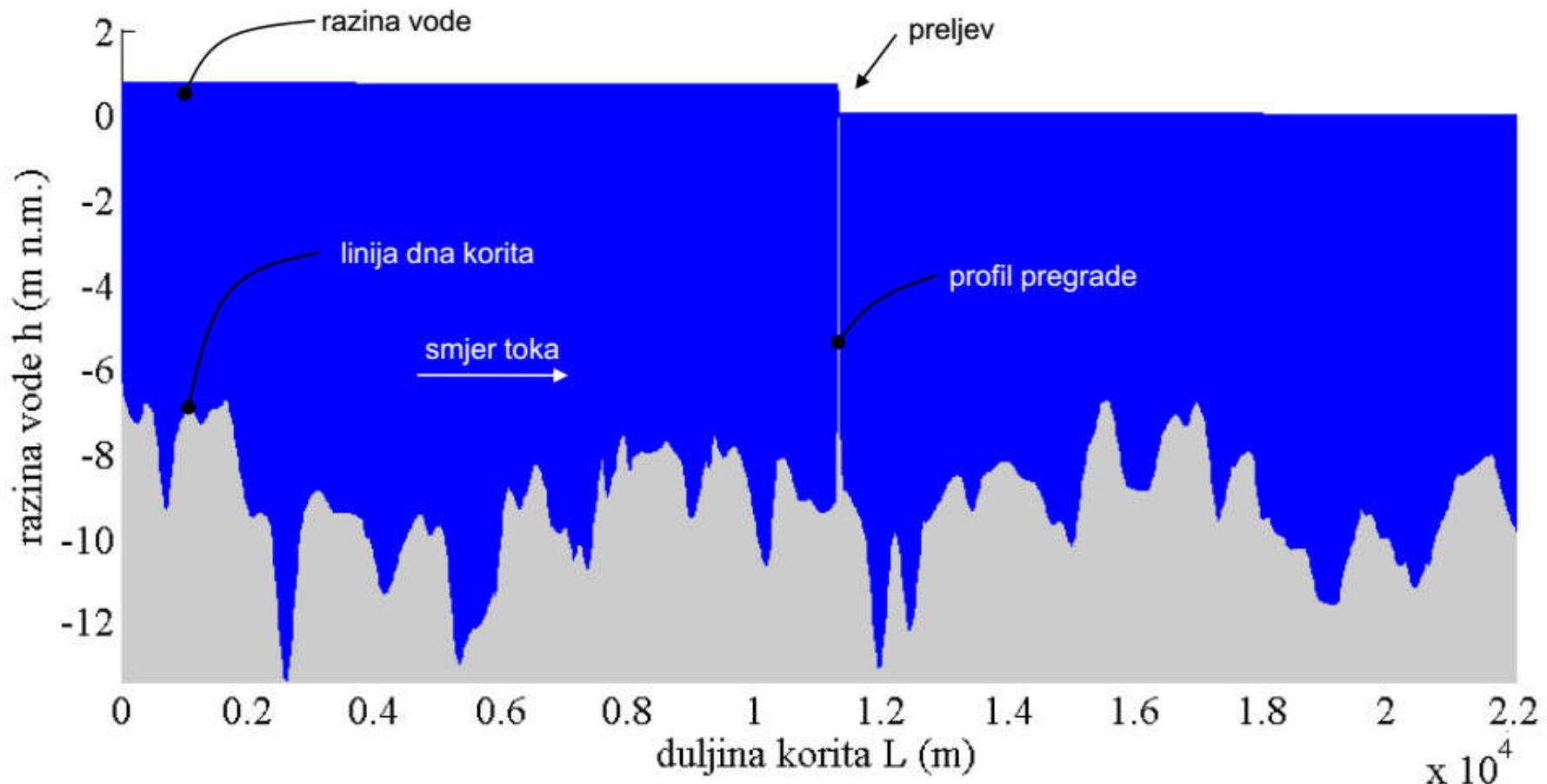


Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Stacionarna analiza toka - Varijanta Q100VR (iz tabele 6.1)

Stacionarna analiza toka - Varijanta Q200NR (iz tabele 6.1)

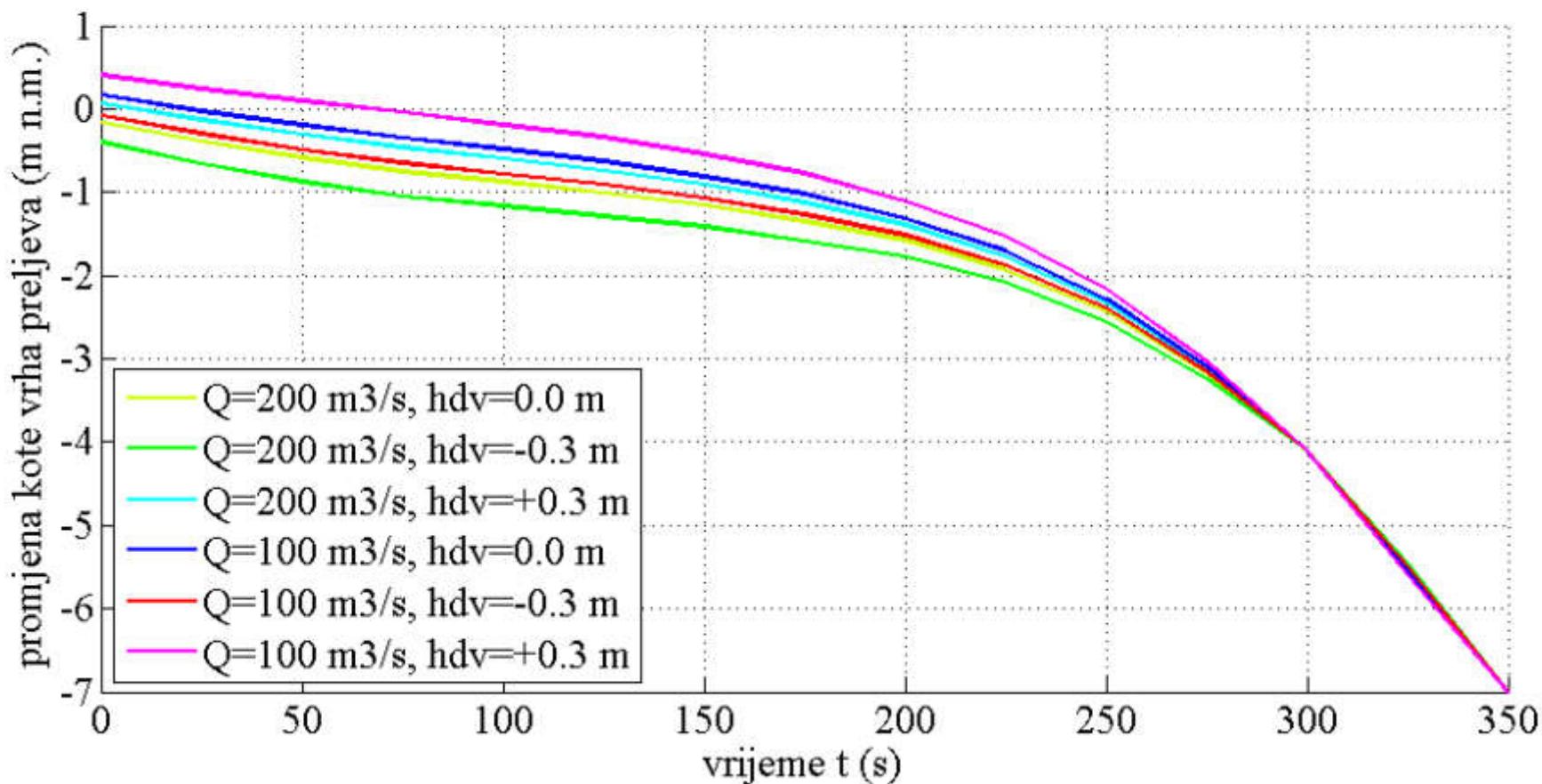
Stacionarna analiza toka - Varijanta Q200SR (iz tabele 6.1)



Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Dinamika spuštanja pregrade – vremenska izmjena nagibnog kuta

Dinamika spuštanja pregrade – vremenska izmjena kote pregrade

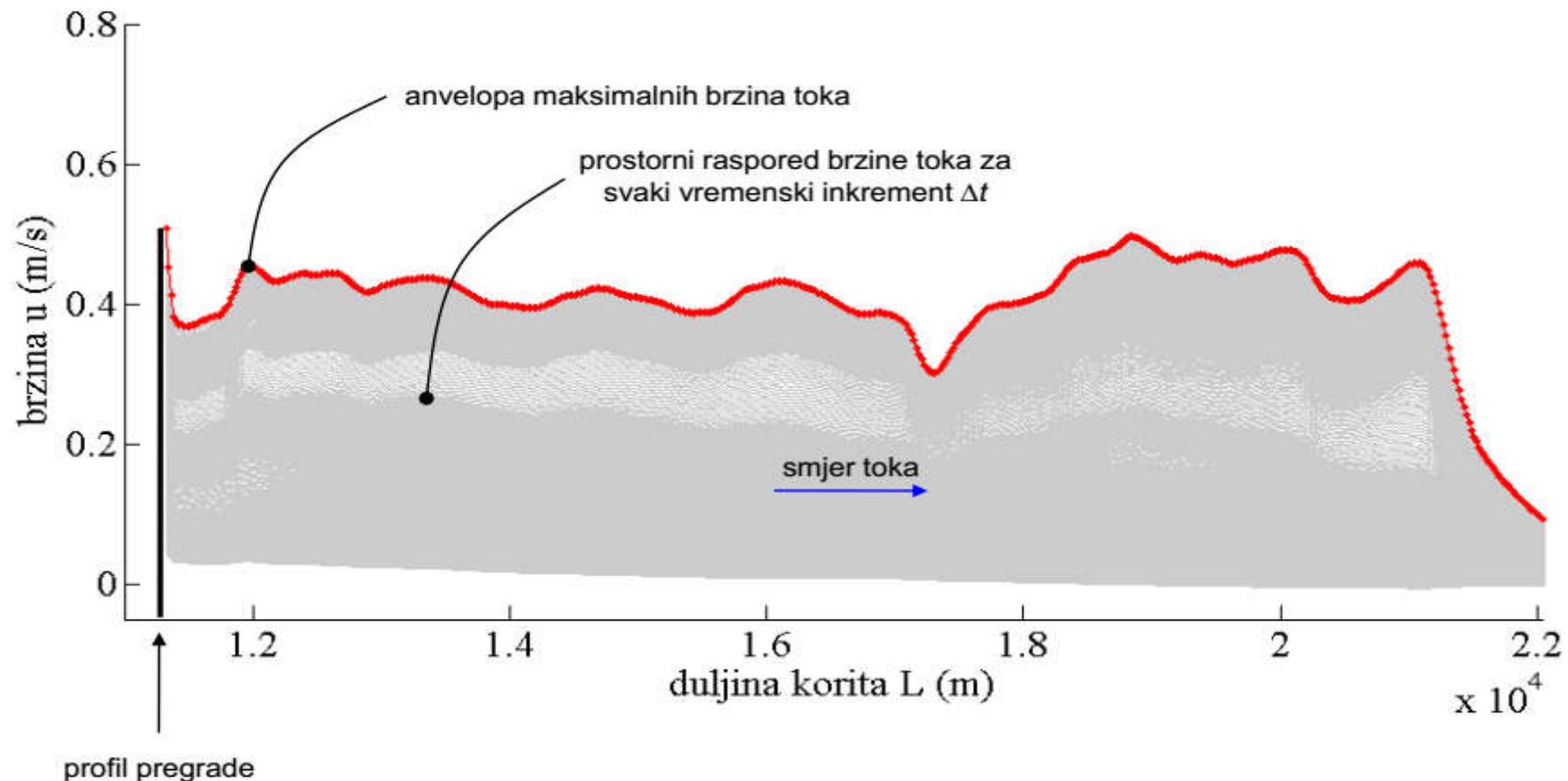


Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Nestacionarna analiza toka - Varijanta Q100NR (iz tabele 6.1)

Nestacionarna analiza toka - Varijanta Q100SR (iz tabele 6.1)

Nestacionarna analiza toka - Varijanta Q100VR (iz tabele 6.1)

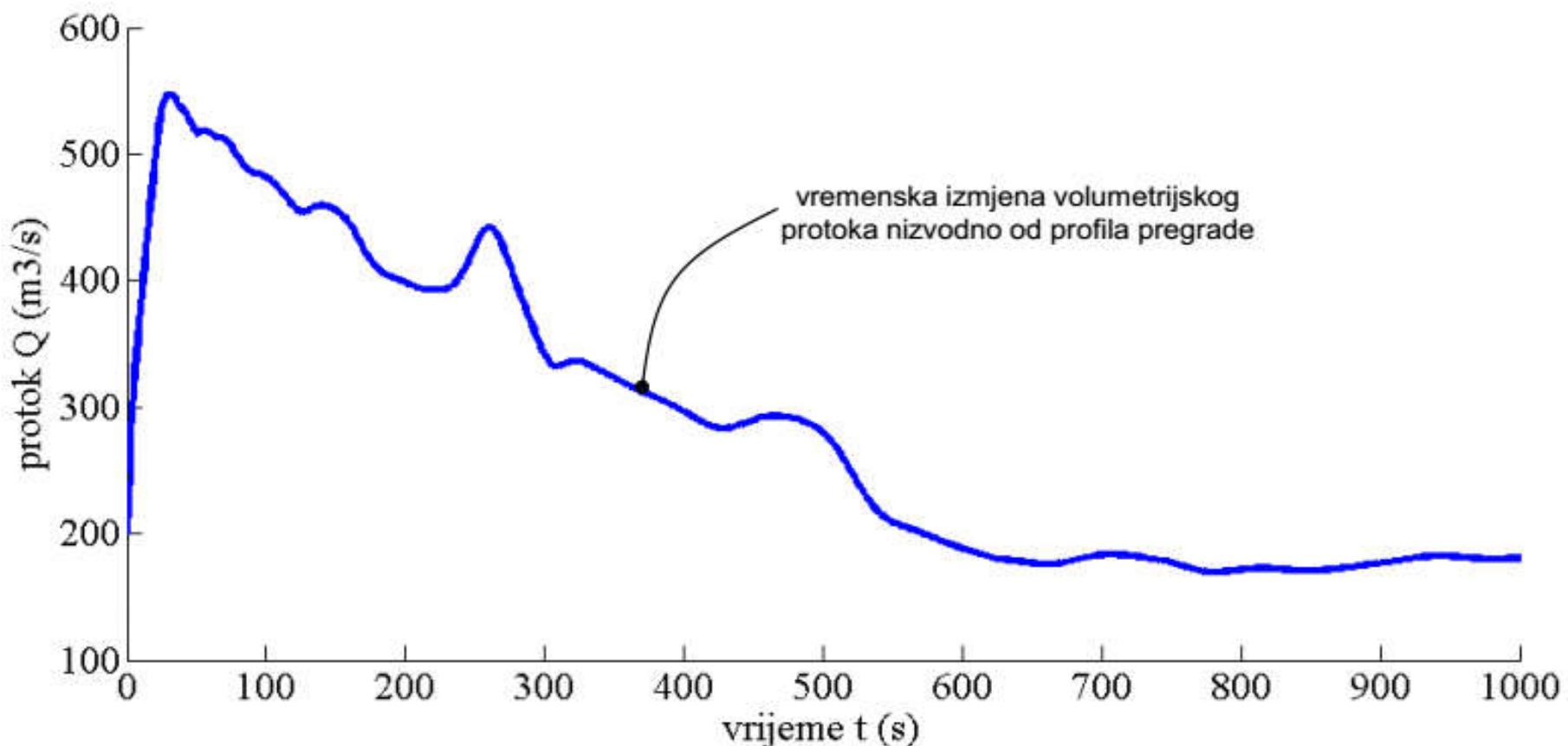


Eksperimentalni hidr. kanal – znanstvene studije

Nestacionarna analiza toka - Varijanta Q100NR (iz tabele 6.1)

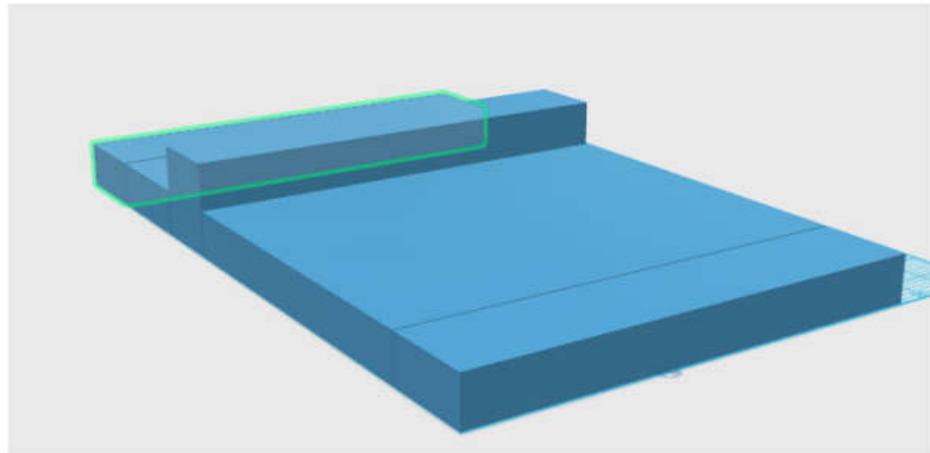
Nestacionarna analiza toka - Varijanta Q200NR (iz tabele 6.1)

Nestacionarna analiza toka - Varijanta Q200VR (iz tabele 6.1)

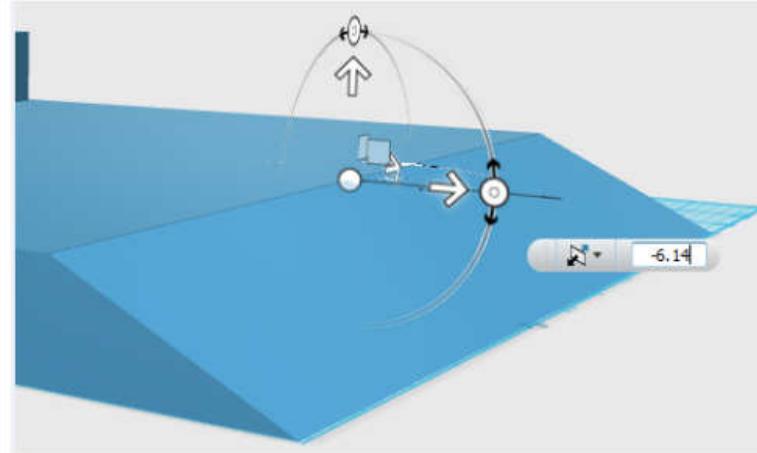


Eksperimentalni hidr. kanal – diplomski radovi

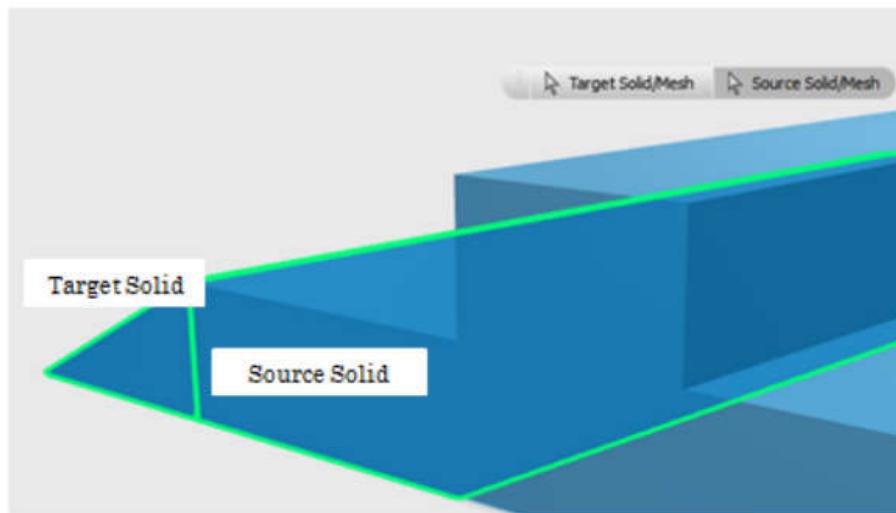
Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi



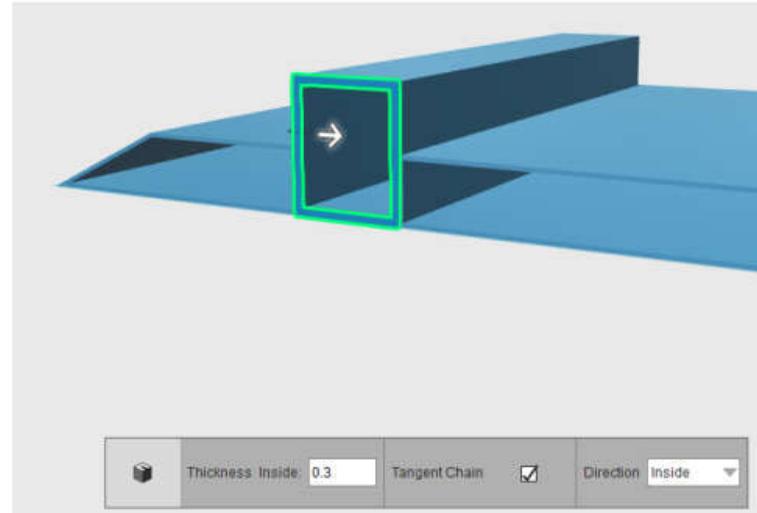
(a) Spajanje segmenata temelja (*Snap*).



(b) Zakošenje bokova temelja (*Tweak*).



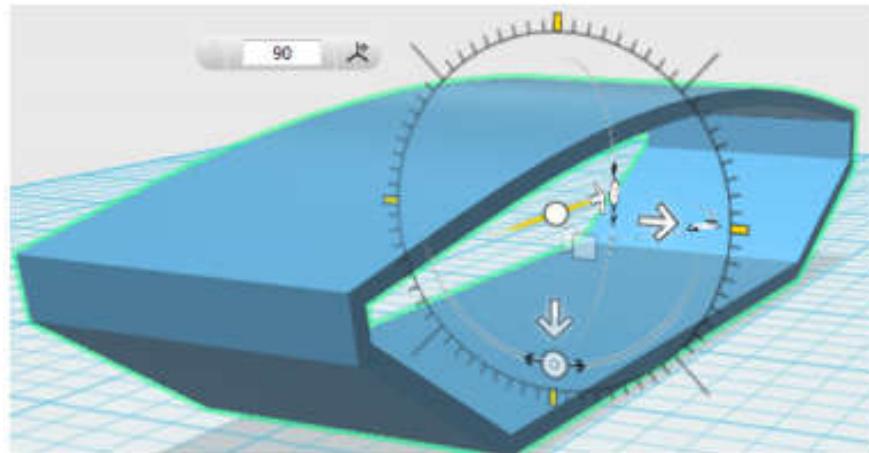
(c) Ujedinjavanje segmenata temelja (*Merge*).



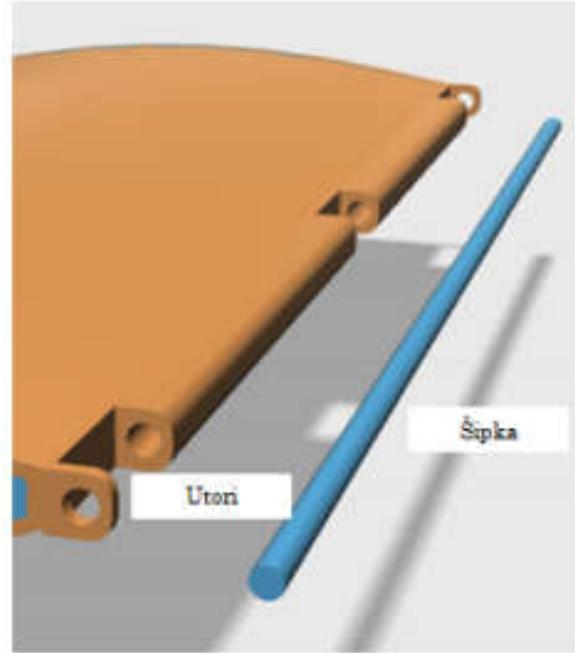
(d) Stvaranje šuplje prizme (*Shell*).

Eksperimentalni hidr. kanal – diplomski radovi

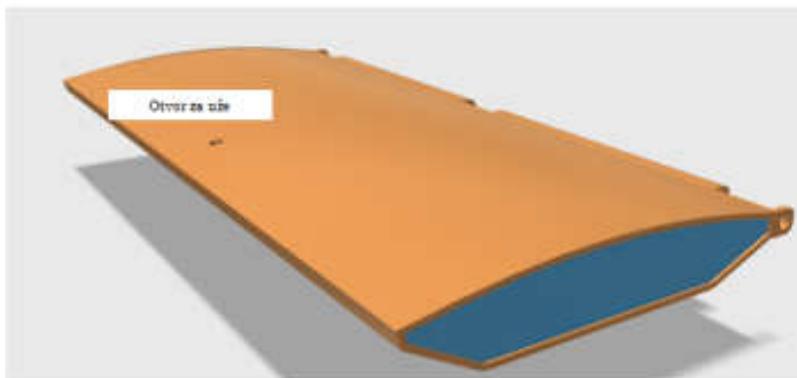
Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi



Slika 2.21: Zaokretanje modela (naredba *Rotate*).



Utori za
pričvršćivanje
pregrade i šipki



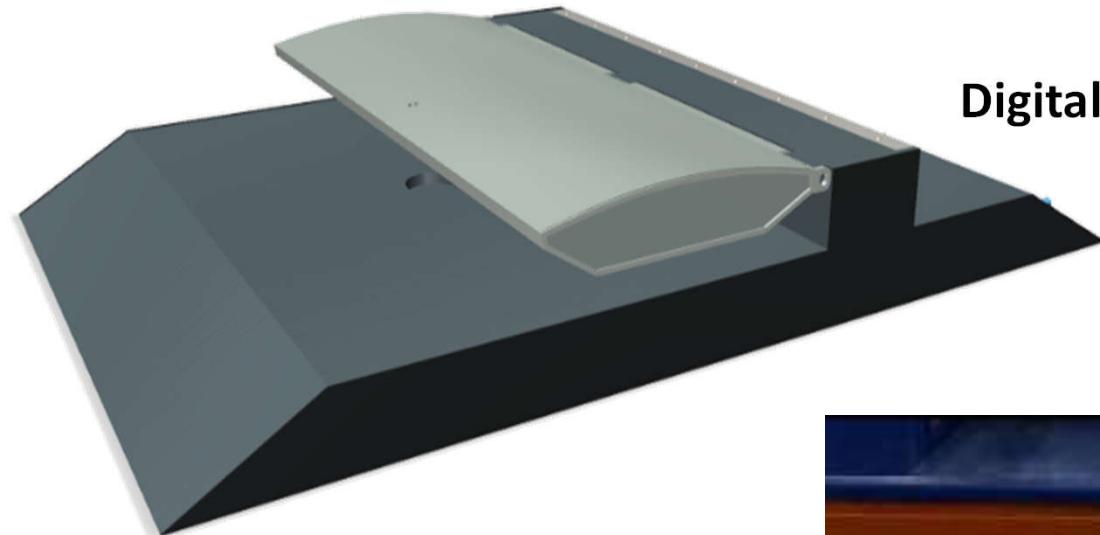
Slika 2.22: Pregrada s otvorom.



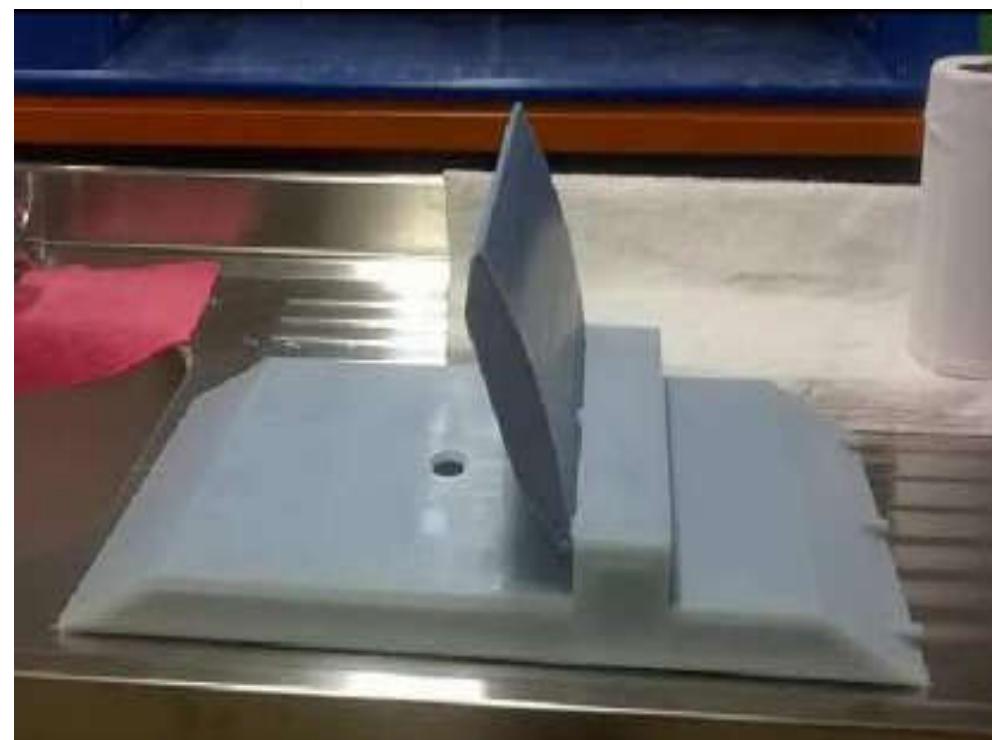
Betonska temeljna konstrukcija s kontrolnom galerijom,
čelična pregrada te ostali pomoći dijelovi; mjerilo 1:65

Eksperimentalni hidr. kanal – diplomski radovi

Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi



Digitalni model pregrade



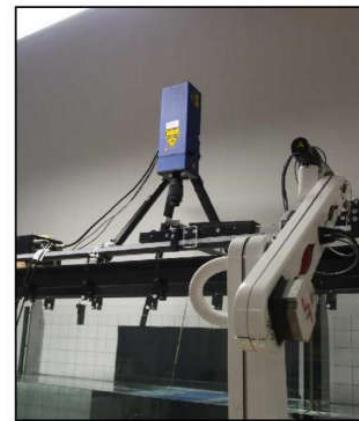
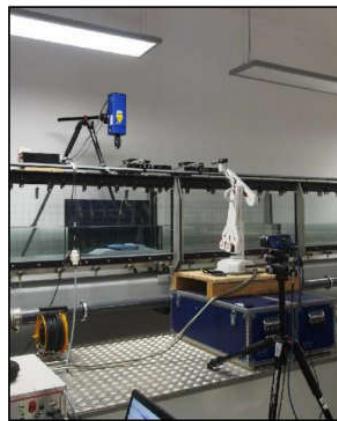
Fizikalni model pregrade

Eksperimentalni hidr. kanal – diplomski radovi

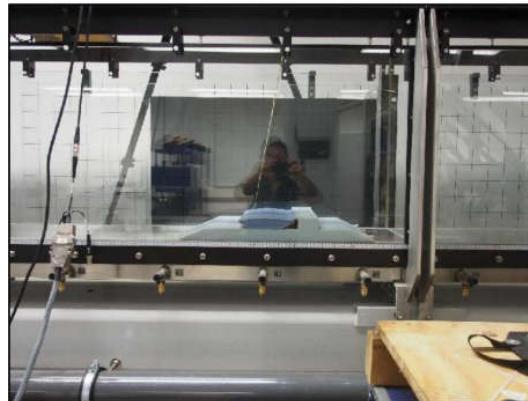
Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi



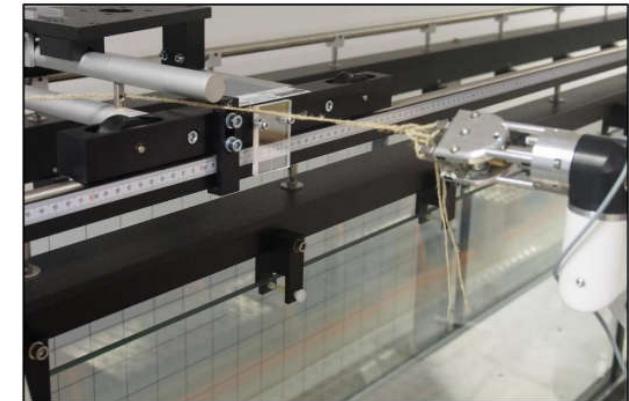
Oprema korištena tijekom ispitivanja.



Laser DPSS, Imager LX i robot R12.



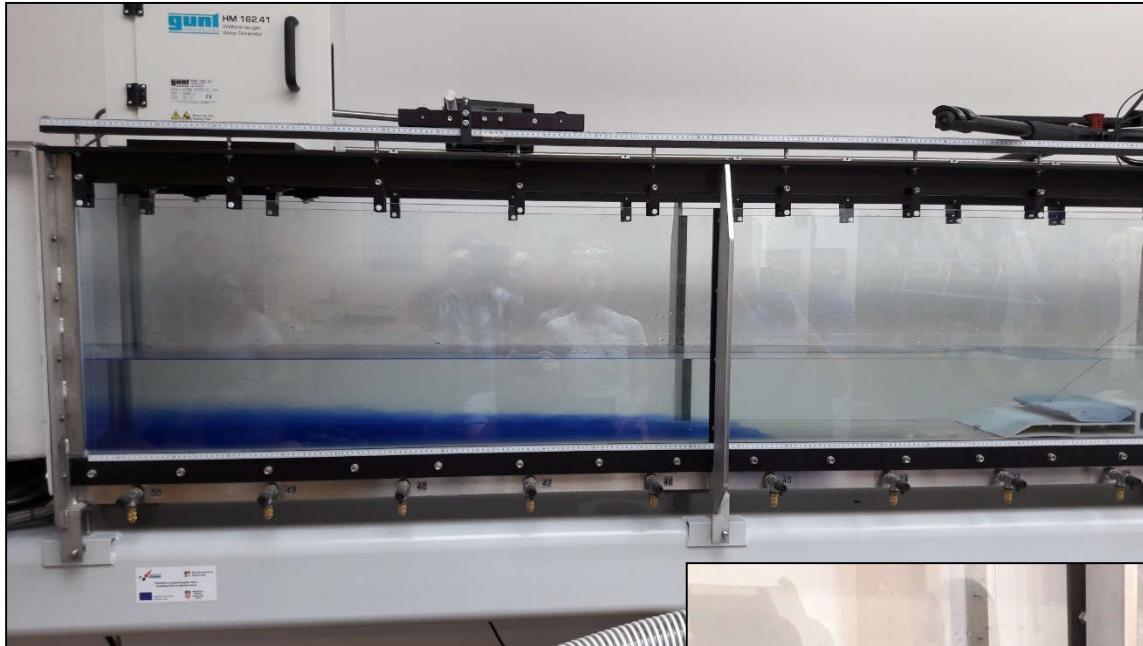
Uže za podizanje pregrade.



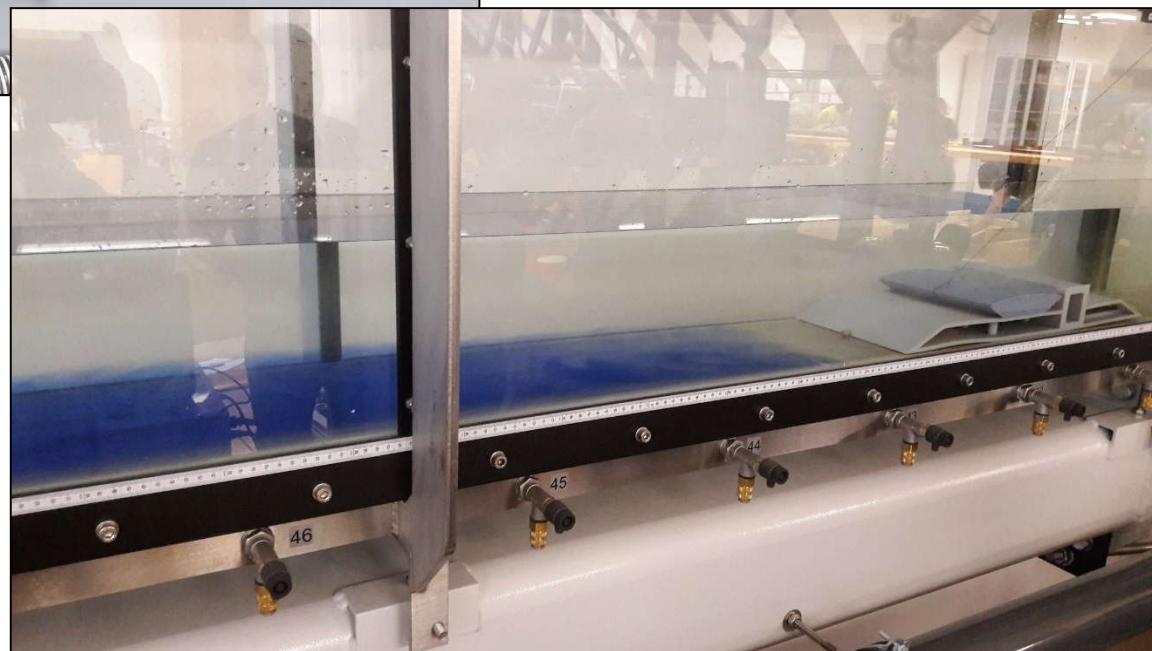
Uže i robotska ruka R12.

Eksperimentalni hidr. kanal – diplomski radovi

Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi

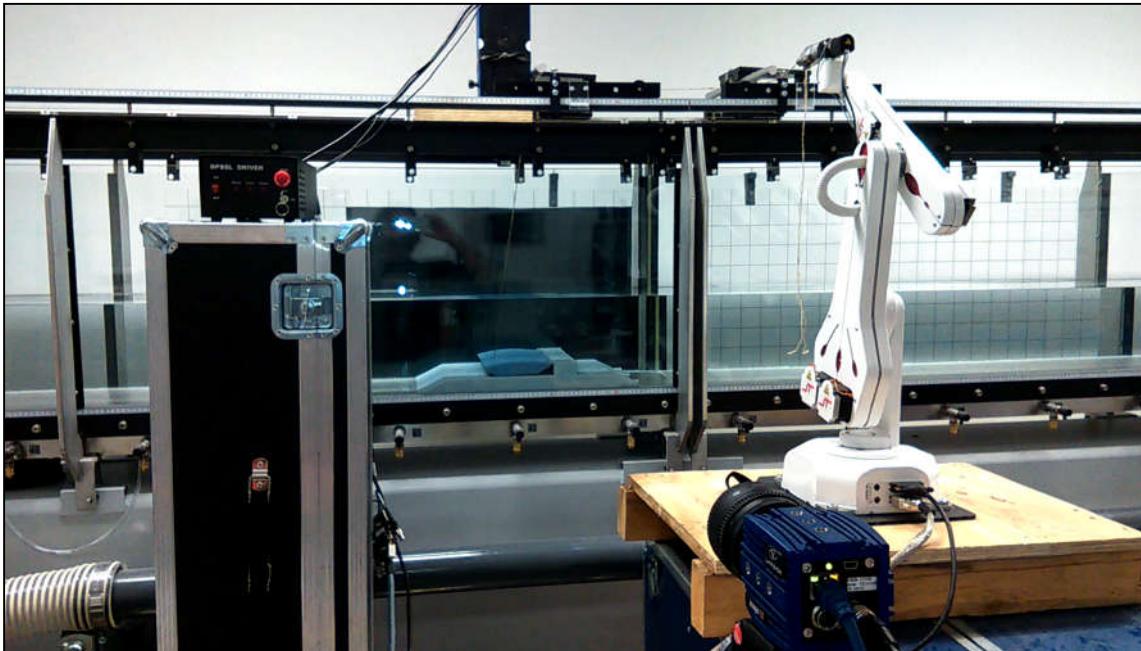


Prodor klina slane vode prema
pregradi



Eksperimentalni hidr. kanal – diplomski radovi

Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi



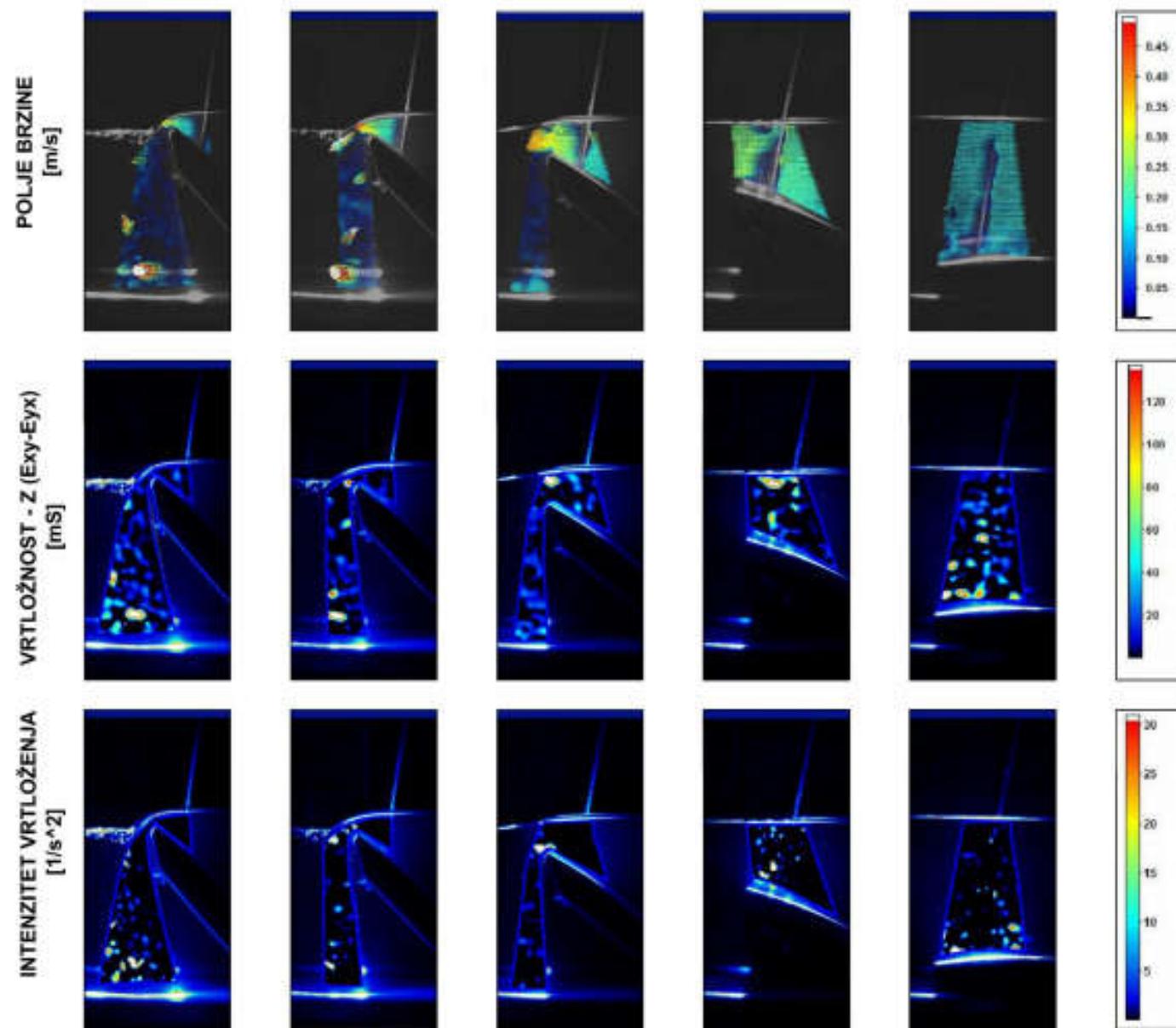
Ispitivanje podizanja pregrade
pomoću robotske ruke

Ispitivanje podizanja pregrade
pomoću robotske ruke
primjenom PIV tehnologije



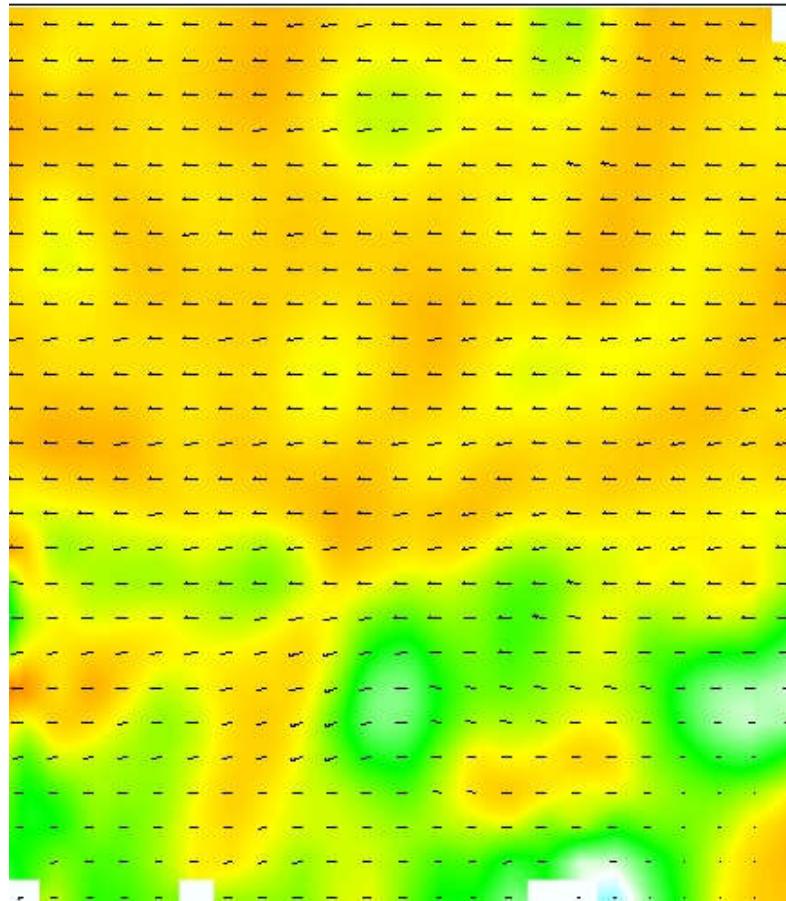
Eksperimentalni hidr. kanal – diplomske radovi

Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi

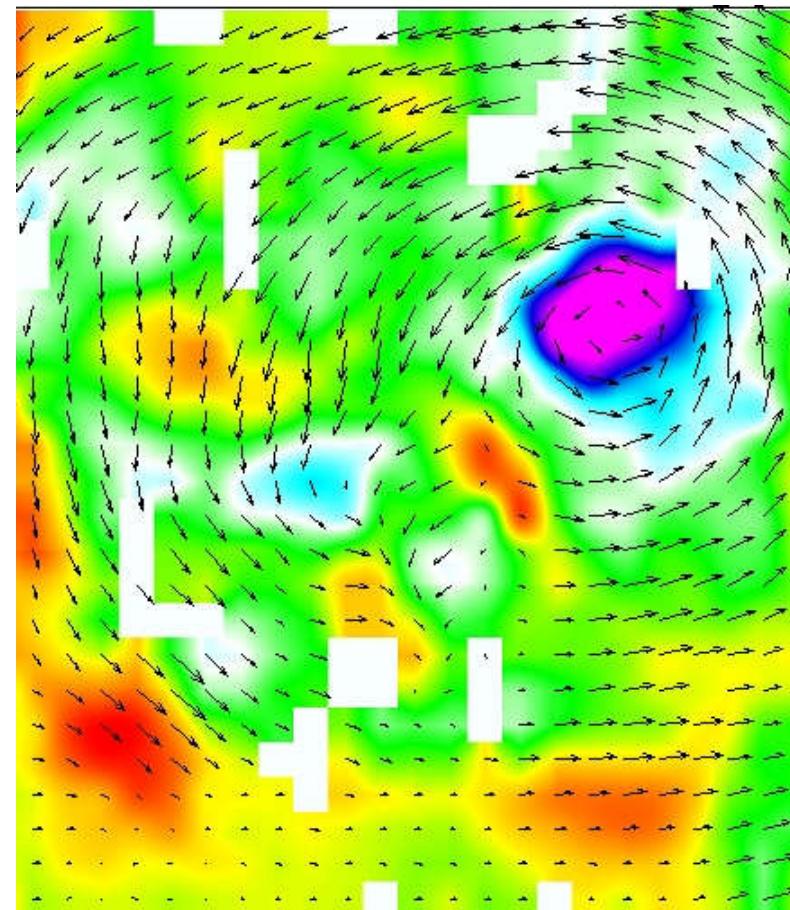


Eksperimentalni hidr. kanal – diplomske radovi

Laboratorijsko mjerjenje polja brzine u okolini fizikalnog modela pokretne pregrade na Neretvi



prije podizanja pregrade



tijekom podizanja pregrade

Polje brzine toka prije i tijekom podizanja pregrade

Zračni tunel

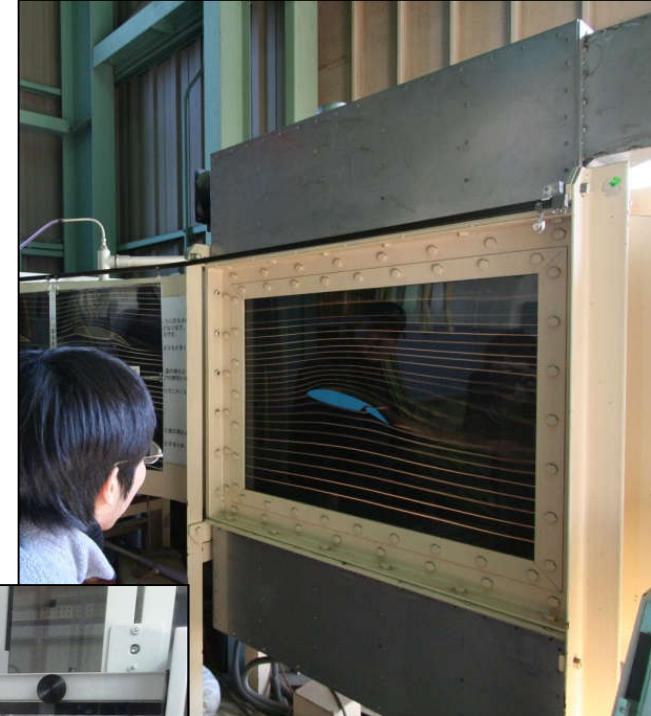
1 kom = 500,000.00 kn



Kratki opis opreme:	<p>Zračni tunel za ispitivanje aerodinamičnih karakteristika različitih fizikalnih modela. Vizualizacija strujanja putem generatora dima.</p>
Namjena opreme:	<p>Zračni tunel se koristi u svrhu definiranje polja tlaka na različitom fizikalnim modelima postavljenih u aerodinamičku sredinu ispitne komore. Prikupljanje podataka brzine strujanja i tlakova se vrši kontinuirano putem računala.</p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• Dimenzije ispitne komore (širina × visina × dužina): 305 mm x 305mm x 600 mm• Brzina zraka: 0 to 40 m/s• Sabirnica sa 32 priključna mjesta• 32 kanala za mjerjenje tlaka• Vaga za mjerjenje sile otpora i sile uzgona• Opremljen različitim demonstracijskim fizikalnim modelima

Zračni tunel

1 kom = 500,000.00 kn



Zračni tunel

1 kom = 32,147.00 kn

Mjerenje uzgona i otpora (1 komad)



- set za kompenzaciju i mjerenje uzgona i otpora
- nije pogodan za modele koji imaju unutarnje fleksibilne cijevi za mjerjenje tlaka
- može se koristiti sa C15-20 ili C15-22 modelom kao i sa modelima vlastite izrade



Komora za napredna hidrološka ispitivanja **1 kom = 140,000.00 kn**



Kratki opis opreme:	<p><i>Komora za napredna hidrološka ispitivanja opremljena s 8 mlaznicama putem kojih je moguće modelirati različite hidrološke uvjete. Komora ima nagibno dno te se tako može koristiti u svrhu analiziranja erozije površinskog materijala.</i></p>
Namjena opreme:	<p><i>Komora ima nagibno dno te se tako može koristiti u svrhu analiziranja erozije površinskog materijala. Opremljena je s dva mjerača protoka te su mlaznice za simuliranje oborina kontrolirane od strane računala pa se mogu zadavati različite ITP krivulje.</i></p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• 8 mlaznica u 4 grupe po dvije mlaznice• Protok kroz mlaznice 1-4,7 L/min• Maksimalni protok pumpe 1500 L/h• Spremnik za vodu 220 L• 19 mjerača: 300 mm WC• Dimenzije: DxŠxV: 2300 x 1100 x 1950 mm

Komora za napredna hidrološka ispitivanja **1 kom = 140,000.00 kn**



Filtracijska komora

1 kom = 81,633.00 kn

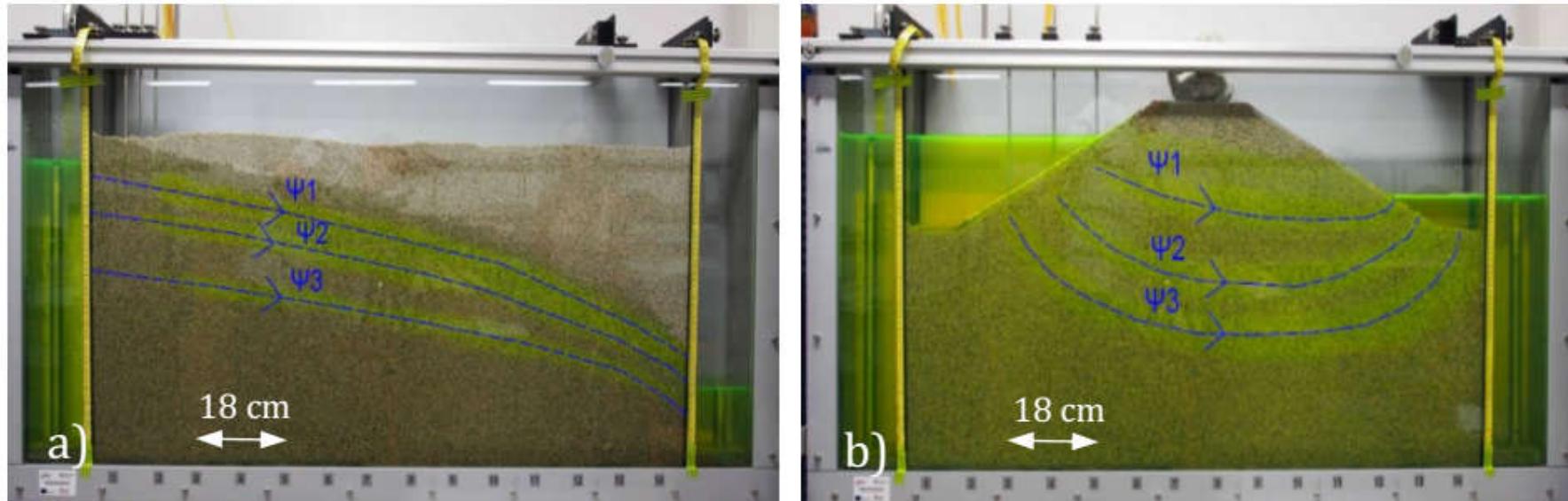


Kratki opis opreme:	<p><i>Komora omogućava vizualizirane toka ispod temelja različitih hidrotehničkih objekata te filtracijskog toka u tijelu nasipa.</i></p>
Namjena opreme:	<p><i>Filtracijska komora se koristi u svrhu kvantifikacije protoka ostvarenog putem filtracije vode ispod i kroz hidrotehničke objekte koji pregrađuju gornju i donju vodu. Komora omogućuje definiranje različitih razina gornje i donje vode.</i></p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• <i>Dimenzije (D:S:V) = 1480 × 104 × 630 mm</i>• <i>Maksimalni protok pumpe: 4 m³/h (1,1 l/s)</i>• <i>Maksimalna visina podizanja 4 m</i>• <i>Komora opremljena s 14 piezometra u svrhu mjerjenja tlaka</i>

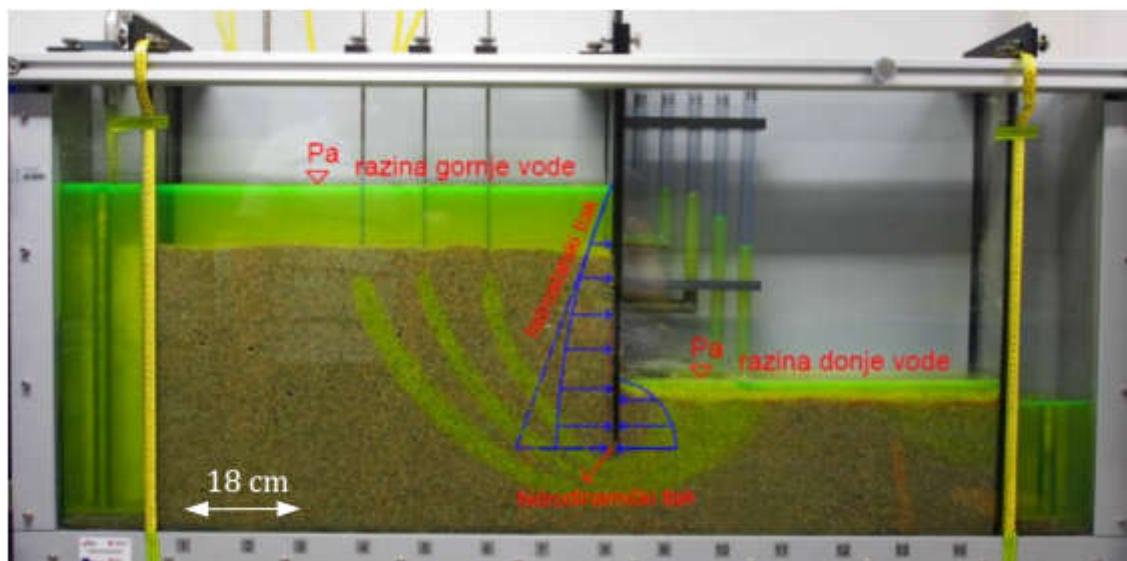
Filtracijska komora

1 kom = 81,633.00 kn

Mogućnosti ispitivanja na fizikalnom modelu



Prikaz strujnica u pokusu sa a) drenažnim jarkom i b) nasipom (branom) od prirodnog materijala

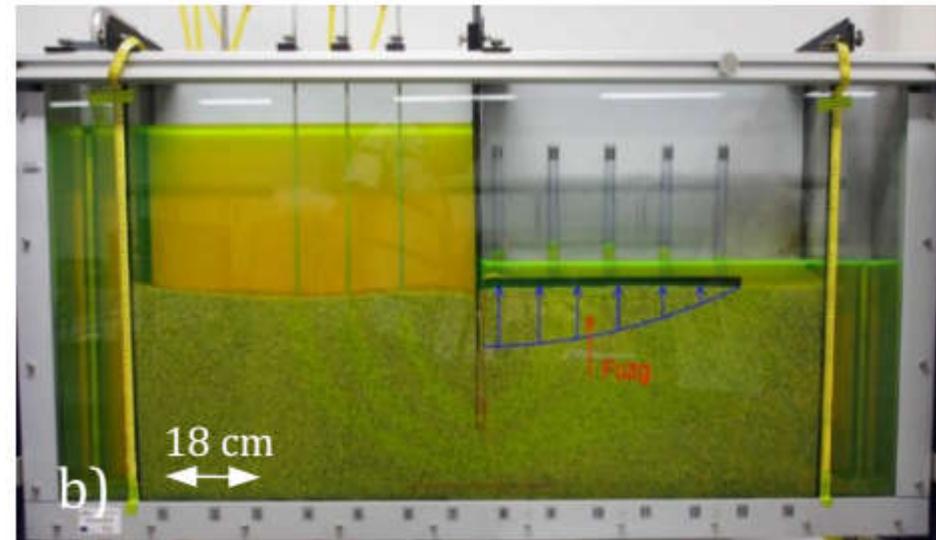
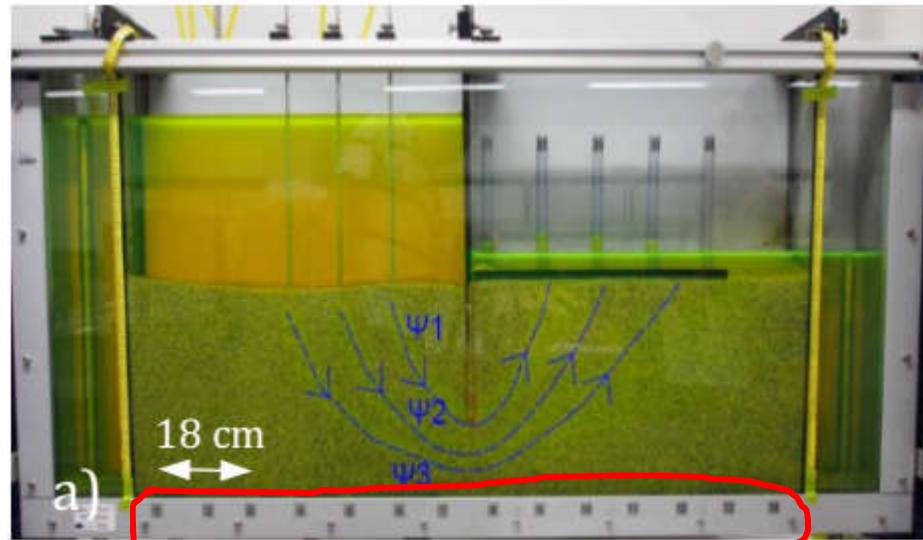


Odnos hidrostatskog
i hidrodinamičkog
tlaka na pokusu s
čeličnim žmurjem

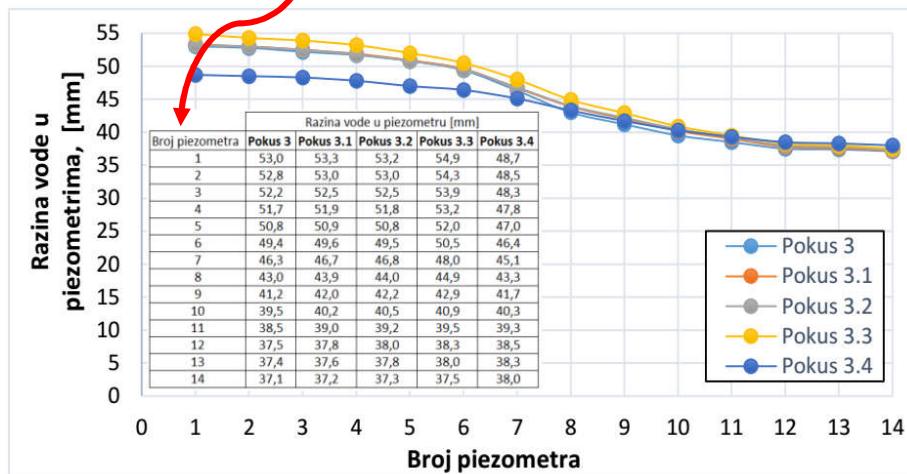
Filtracijska komora

1 kom = 81,633.00 kn

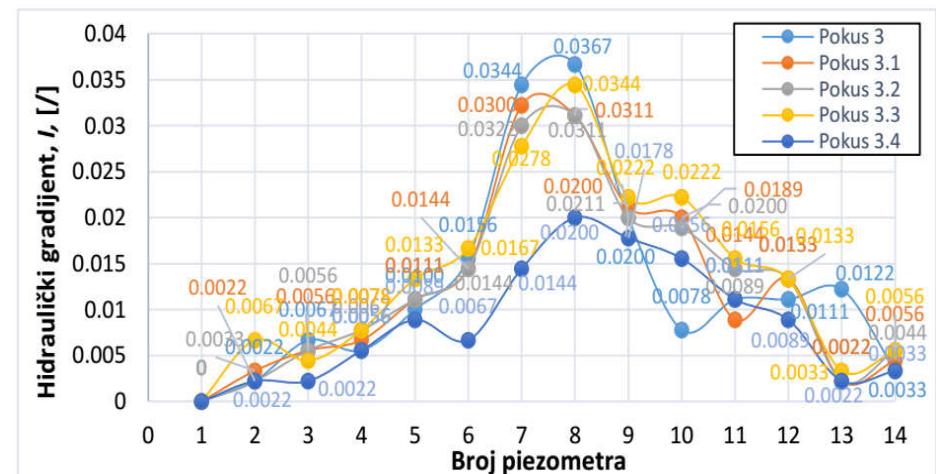
Mogućnosti ispitivanja na fizikalnom modelu



Određivanje dijagrama tlaka na temelj brane

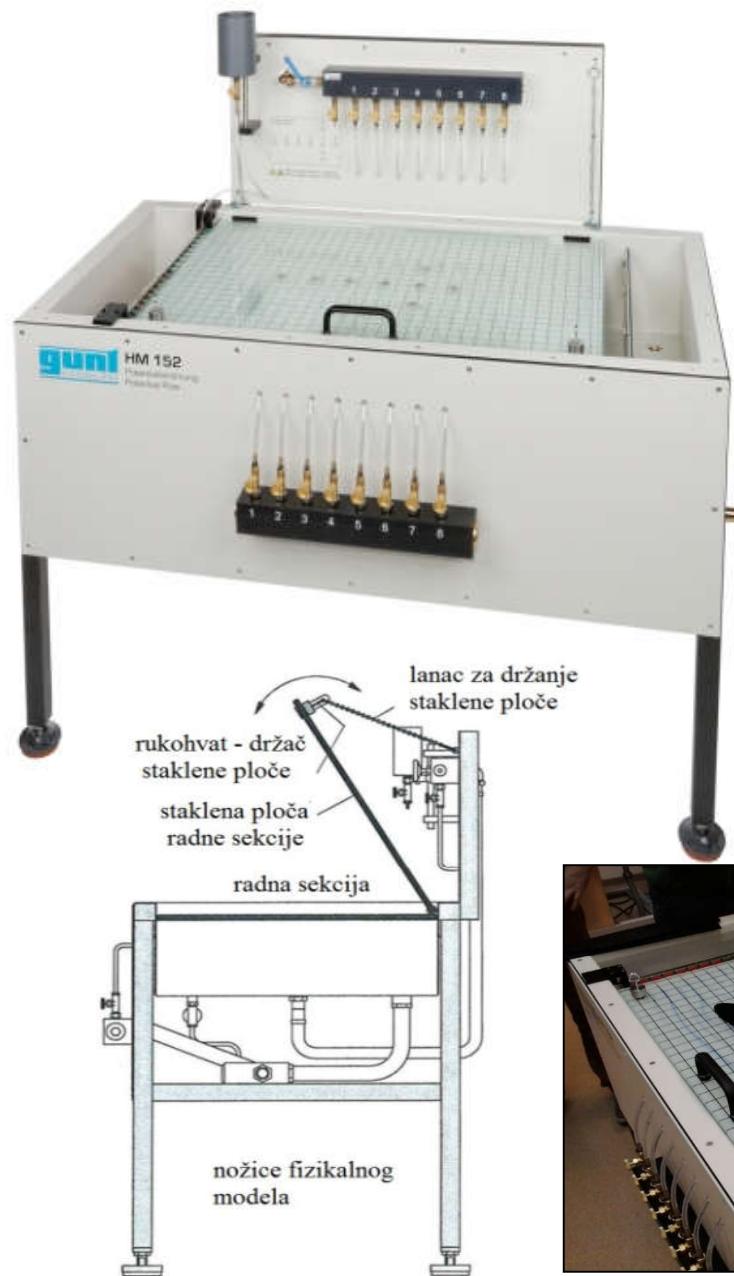


Promjene razina vode u piezometrima



Promjene hidrauličkog gradijenta

Stol za vizualizaciju laminarnog toka



Kratki opis opreme:

Stol omogućju vizualizaciju strujnica putem injektiranja hidrodinamičke neaktivne tekućine u struju fluida koja protjeće između dvije odmaknute horizontalne staklene ploče.

Namjena opreme:

Stol se koristi u svrhu vizualizacije strujnica u ravninskom laminarnom toku oko različitih objekata. Raspolaže s 8 izvora ili ponora te tako nudi mogućnost definiranja vododjelnice.

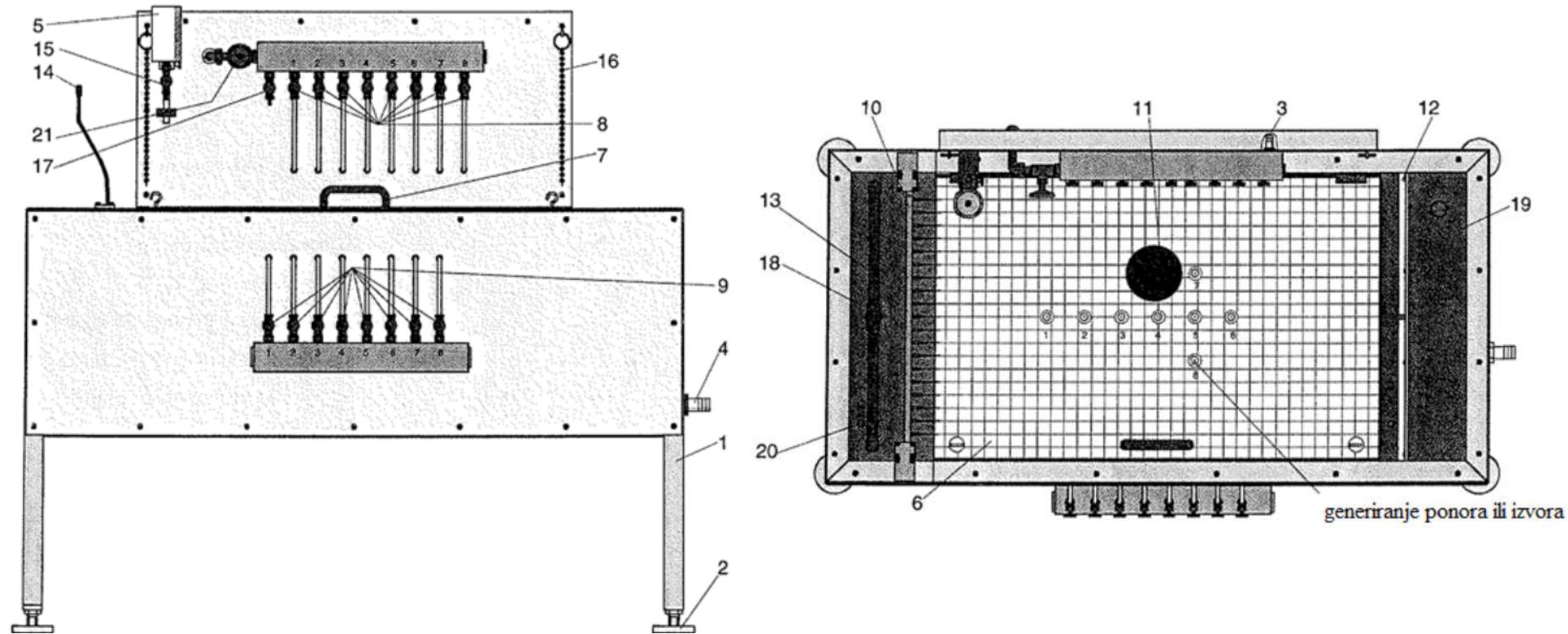
Tehničke karakteristike:

- dvije staklene ploče D x Š: 910 x 585 mm na razmaku od 5mm
- 8 spojeva, izvor/ponor
- spremnik za boju: 200 mL
- ukupne dimenzije:
DxŠxV: 1350 x 700 x 1380 mm
- količina vode potrebna za rad: 300 L/h



Stol za vizualizaciju laminarnog toka

Ispitivanja na fizikalnom modelu

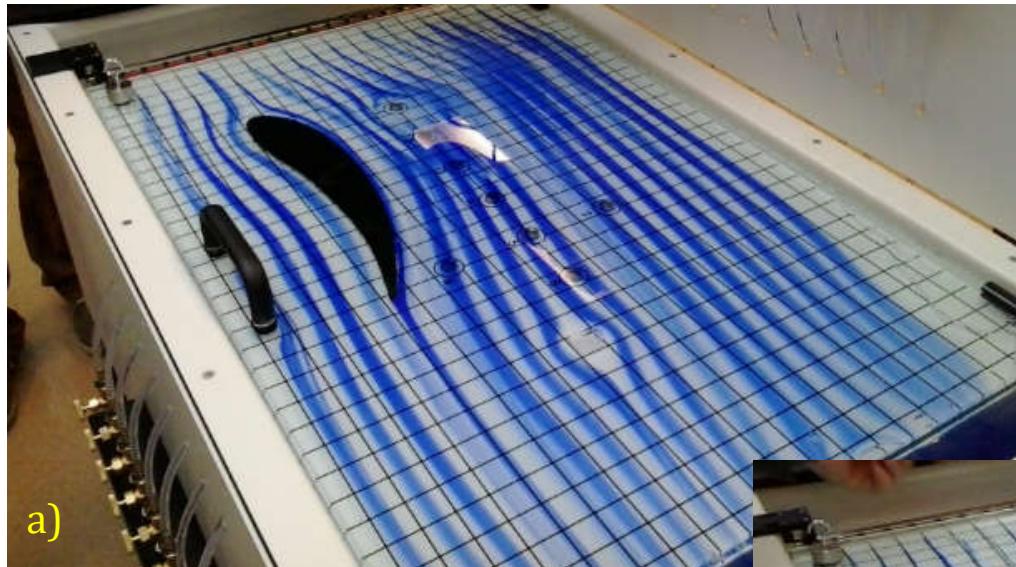


Osnovni elementi fizikalnog modela HM 152

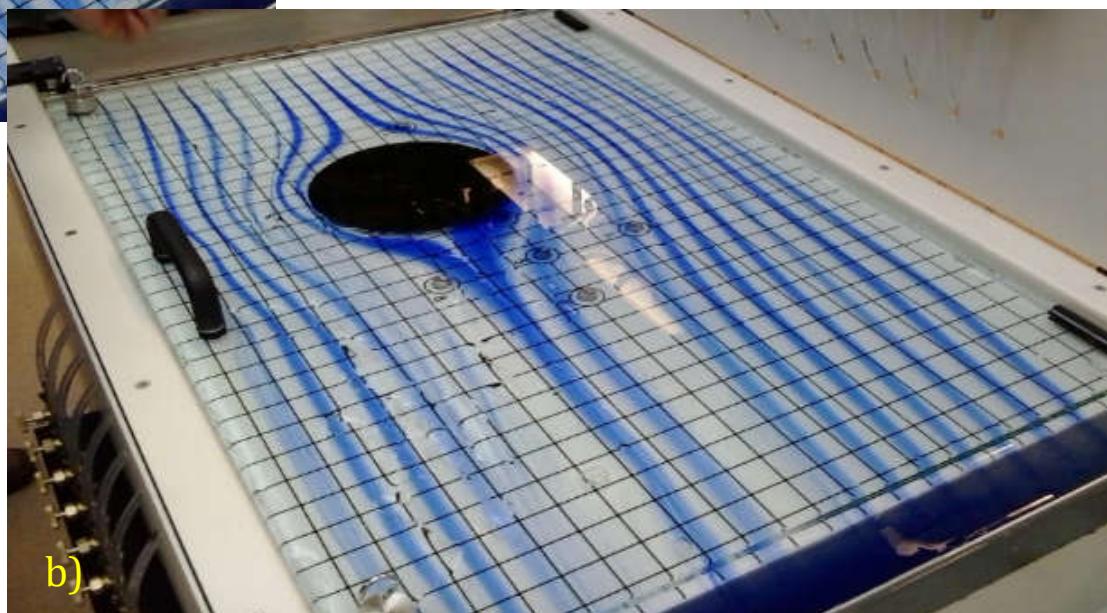
1 - nožica, 2 – stabilizatori postolja modela, 3 – dovod vode, 4 – odvod vode, 5 – spremnik za tinkturu, 6 – radna sekcija, 7 – držač staklene plohe, 8 – ventili za formiranje izvora ili ponora na radnoj sekciji, 9 – ventili za reguliranje dotoka tinkture, 10 – distribucijska cijev za dovod vode (gornji spremnik), 11 – tijelo koje se analizira, 12 – pregrada za stabilizaciju toka, 13 – gornji spremnik vode, 14 – konekcijsko crijevo za distribucijsku cijev, 15 – ventil za reguliranje dovoda tinkture, 16 – lanac za osiguranje (pridržavanje) staklene plohe, 17 – ventil za čišćenje injekcijskih mlaznica, 18 – perforirana cijev za dovod vode, 19 – donji spremnik vode, 20 – ventil za reguliranje dotoka vode, 21 – ventil za reguliranje dovoda tinkture

Stol za vizualizaciju laminarnog toka

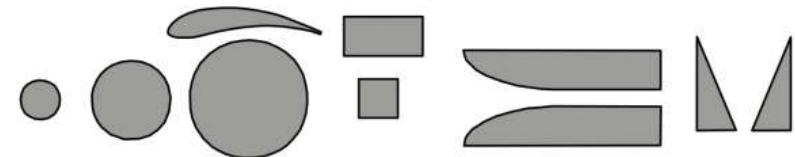
Ispitivanja na fizikalnom modelu



a)



b)



Oblici geometrijskih tijela koja se ispituju na fizikalnom modelu

Opstrujavanje fluida (vode) oko a) aerofiltognog tijela i izvora, b) oko kružnog ravninskog tijela

Hidrotehnički praktikum – primjena u nastavi

Hidraulički žlijeb, S-16, demonstracijski fizikalni model firme Armfield



Kratki opis opreme:

Uredaj se sastoji od centralnog hidrauličkog žlijeba na kojоj je radna (mjerna) sekcija koja vodu pobiva putem spremnika vode (uredaj F1-10). Spremnik vode sa ugrađenom centrifugalnom crpkom puni gornji spremnik vode u kojem se nalazi spužvasti dio u svrhu umirenja vode na ulazu u hidraulički žlijeb. Dovod vode se regulira tablastim ventilom. Popratni mjerni instrumenti na modelu su Pitotove cjevčice (3 komada uzduž žlijeba), sustav piezometara, ulazna i izlazna pločasta zapornica, te set hidrot. objekata (krivolinijski preljev, oštrobridna zapornica, široki prag, oštrobridni pravokutni preljev) izrađenih od pleksi-stakla.

Tehničke karakteristike:

Dimenzije hidraul. žlijeba ($H:L:\check{S}=1,60\text{ m}:2,20\text{ m}:0,63\text{ m}$), težina (u suhom radu) 100 kg. Dimenzije uređaja u kombinaciji sa F1-10 ($H:L:\check{S}=1,60\text{ m}:3,00\text{ m}:0,9\text{ m}$).

Dimenzije radne sekcije ($L:H:\check{S}=1100\text{ mm}, 77\text{ mm}, 150\text{ mm}$). Visina vode u gornjem spremniku 340 mm. Operativni protok $Q=0,0-1,6\text{ l/s}$, radni protok $Q=20-200\text{ l/min.}$, +/- 1%. Spremnik vode u uređaju F1-10 je otprilike 250 litara.

Karakteristike piezometara za mjerjenje tlaka: 6 piezometara, maks. Visina mjerjenja 300 mm, točnost mjerjenja +/- 0,5 mm.

Namjena opreme:

Uredaj se može višenamjenski koristit u svrhu određivanja tipa vodnog skoka na različitim tipovima preljeva ili zapornice, definiranja svih potrebnih hidrauličkih parametara vodnog skoka (spregnutih dubina, brzina toka, tlakova prije i nakon formiranja vodnog skoka, duljine vodnog skoka, formiranja vodnog lica i sl.).

Pokretni spremnik vode, F1-10 (u sklopu S-16 uređaja sa hidrauličkim žlijebom)



Tehničke karakteristike:

Dimenzije spremnika ($L:\check{S}:H = 1,13 \text{ m} : 0,73 \text{ m} : 1,00 \text{ m}$). Centrifugalna pumpa: maks. visina dizanja vode $H_{\text{diz.}} = 21 \text{ m}$, maksimalni protok $Q=80 \text{ l/min.}$ (do maks. 100 l/min.), snaga motora $P=0,37 \text{ kW}$, kapacitet spremnika vode $V=250 \text{ litara}$, maksimalni/minimalni volumen malog spremnika za volumetrijsko mjerjenje ($40 \text{ litara}/6 \text{ litara}$). Napajanje elektromotora: 230 V , jednofazna struja, 50 Hz , 10 Ah .

Kratki opis opreme:

Uredaj se sastoji od glavnog spremnika kapaciteta oko 250 litara vode, jedne centrifugalne pumpe, malog spremnika za volumetrijsko mjerjenje protoka, loptice (čepa) za moguće volumetrijsko mjerjenje protoka, odlazne fleksibilne cijevi za recirkuliranje vode prema gornjem spremniku fizičkog modela S-16, postolja za montažu različitih profila preljeva i njegova mjerjenja, mjerne skale za određivanje razine vode u spremniku, ventila za odvod (pražnjenje) vode na dnu spremnika, te kabela od 3 m za napajanje pumpe el. strujom. Uredaj može služiti za napajanje vodom uređaja: HM 289, HM 290, HM 150.11, HM 133, HM 156, HM 150.20

Namjena opreme:

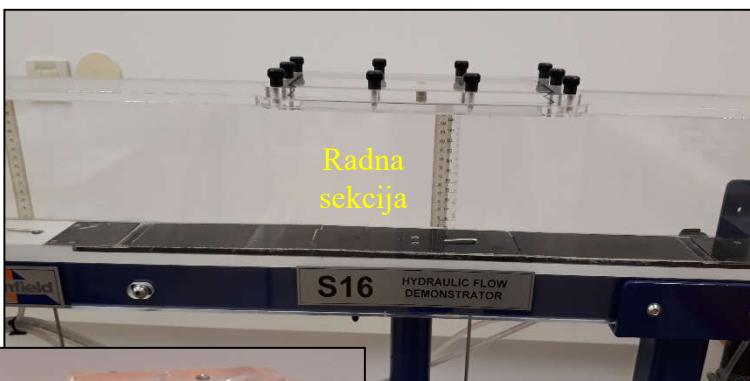
Uredaj je pokretni i osnovna mu je svrha distribucija vode prema pojedinim fizičkim modelima navedenih u gornjem dijelu obrasca. Također služi kao dodatni spremnik vode za povećanje distribucije (cirkulacije) vode kod većih fizičkih modela poput HM150.11 (cijevni sustav pod tlakom) i HM 156 (proračun vodnog udara i oscilacija vodnih masa u vodnoj komori).

Hidraulički žlijeb, S-16, demonstracijski fizikalni model firme Armfield

Ispitivanja na fizikalnom modelu



Volumetrijsko mjerjenje protoka

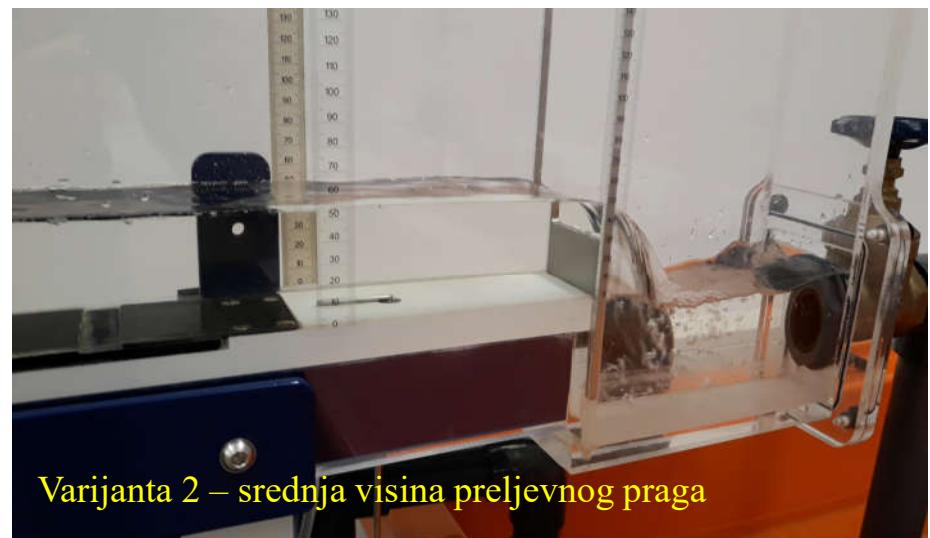


Hidraulički žlijeb, S-16, demonstracijski fizikalni model firme Armfield

Ispitivanja na fizikalnom modelu - preljev širokog praga



Varijanta 1 – mala visina preljevnog praga



Varijanta 2 – srednja visina preljevnog praga



Varijanta 3 – velika visina preljevnog praga

Toriccellijeva formula za određivanje brzine preko Pitotove cjevčice ($h = \text{poznato}$):

$$v = \sqrt{2gh}$$

Hidraulički žlijeb, S-16, demonstracijski fizikalni model firme Armfield

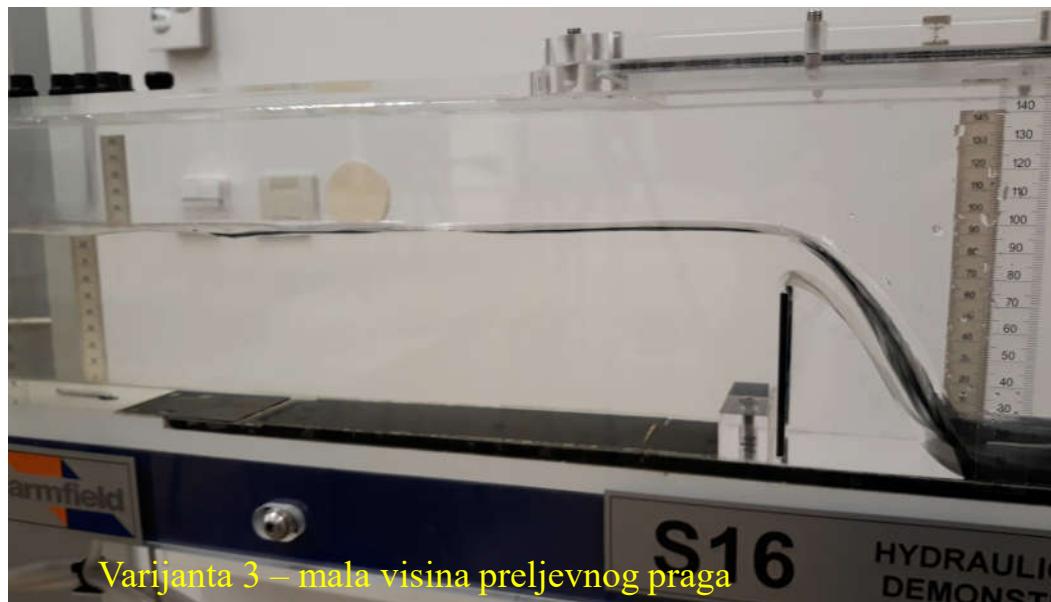
Ispitivanja na fizikalnom modelu – preljev praktičnog profila krivolinijskog obrisa



Varijanta 1 – velika visina preljevnog praga



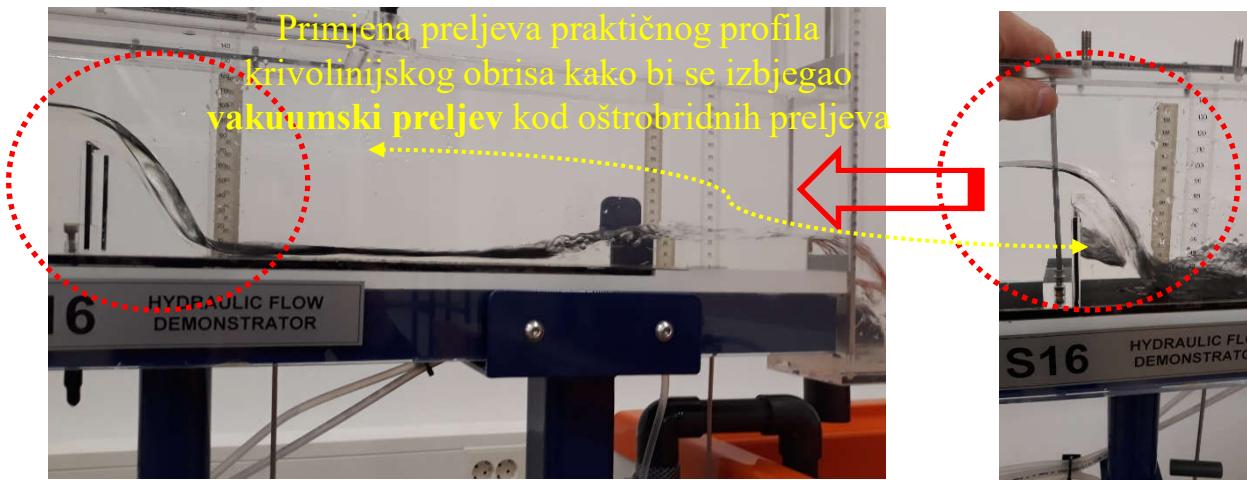
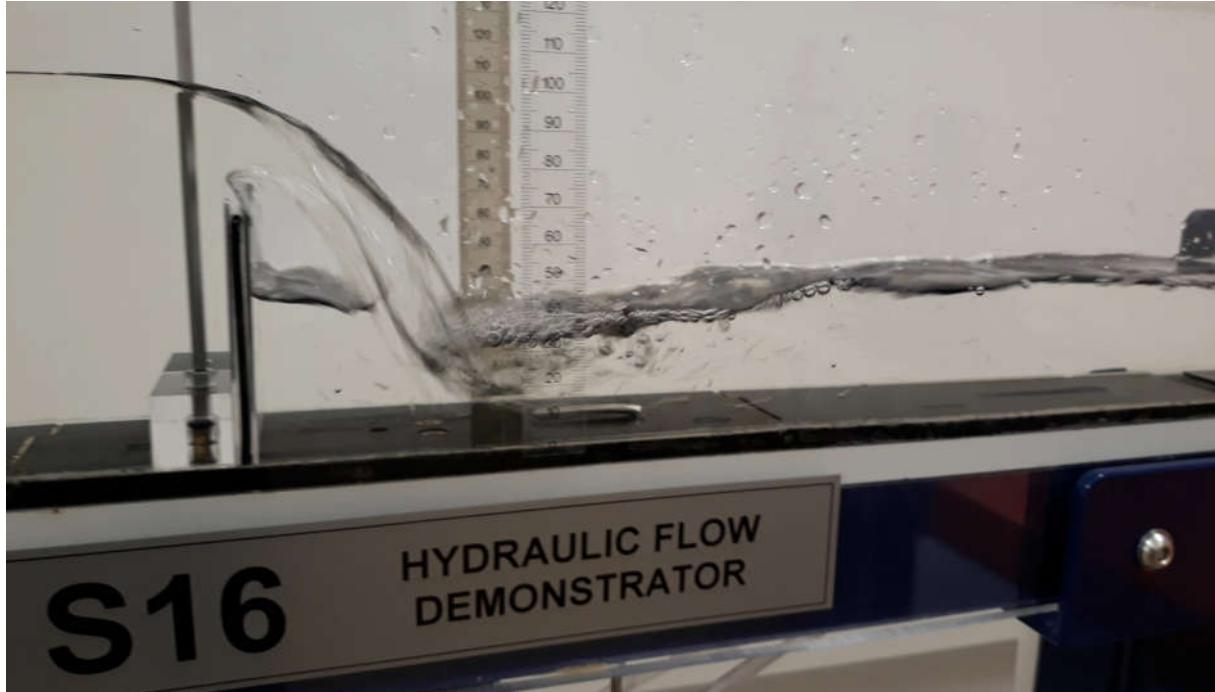
Varijanta 2 – srednja visina preljevnog praga



Varijanta 3 – mala visina preljevnog praga

Hidraulički žlijeb, S-16, demonstracijski fizikalni model firme Armfield

Ispitivanja na fizikalnom modelu – oštrobridni preljev



Fizikalni model za ispitivanje vodnog udara i oscilacija vodnih masa u vodnoj cilindričnoj komori (HM 156)

1 kom = 47,295.00 kn



Tehničke karakteristike:

Dimenzije modela: L:S:H= 6800 mm x 760 mm x 2100 mm, težina cca. 174 kg.

Napajanje (elektromotor/pumpa): 230 V, 50/60 Hz, jednofazni, normirana potrošnja (izlaz) 0,2 kW, Kapacitet spremnika: min. 50 lit.

Karakteristike dolazne i odlazne cijevi: materijal: bakar, unutarnji promjer d=26 mm, udaljenost između senzora tlaka P11 i P12 iznosi 3 m, udaljenost od gornjeg spremnika do vodne komore iznosi 5,885 m. Vodna komora: H= 825 mm, unutarnji promjer d=50 mm.

Senzor tlaka (za eksperiment vodnog udara) 2 x 0...16 bara, za eksperiment oscilacija vode u vodnoj komori 1 x 0...0,3 bara.

Kratki opis opreme:

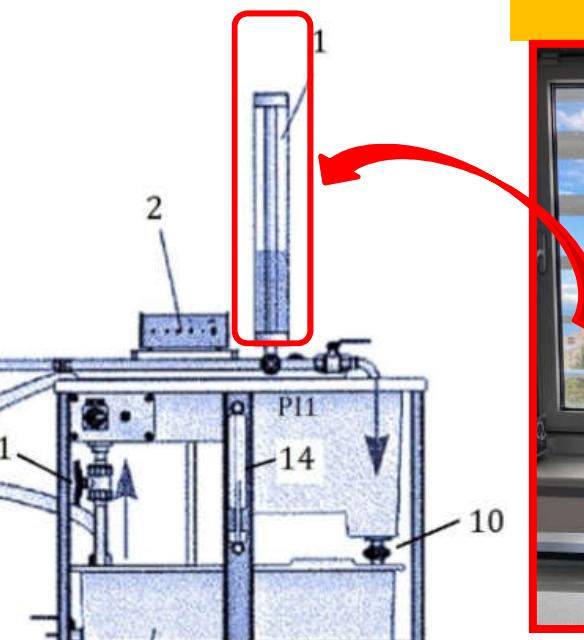
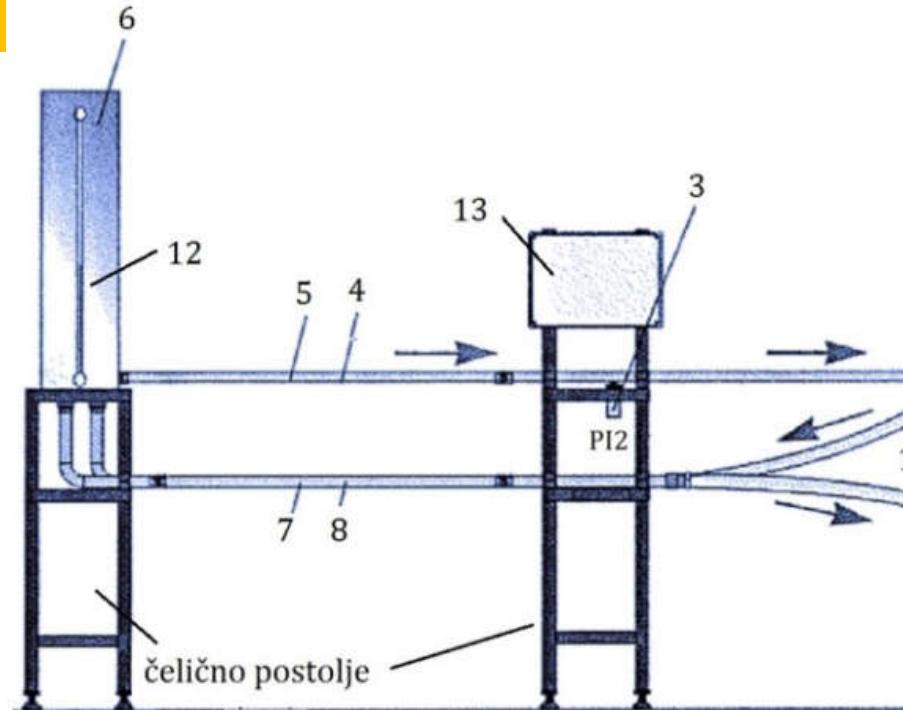
Fizikalni model se sastoji od pokretnog spremnika vode (HM 150) koji sadrži centrifugalnu pumpu za recirkuliranje vode kroz sustav, fiksног spremnika gornje vode koji karakterizira akumulaciju, dovodnog i odvodnog cijevnog sustava vode, cilindrične vodne komore za određivanje oscilacija vodnih masa, te kontrolne jedinice/osciloskopa za praćenje i evidentiranje promjena razina vode u vodnoj komori. Osciloskop se preko USB kabela povezuje na osobno računalo, te preko posebnog programa namjenjenog ovom modelu vrši hidrauličku analizu. Unutar modela se nalaze 2 senzora za mjerjenje tlaka u cijevnom sustavu.

Namjena opreme:

Za ispitivanje i analizu hidrauličkih parametara uslijed pojave vodnog udara koji se često manifestira u vodoopskrbnim sustavima pod tlakom. Prikupljanje podataka preko osciloskopa/oscilografa (u sklopu HM 156 modela) koji detektira vrlo brze promjene tlaka i brzine u kratkom vremenskom periodu, te omogućuje jasnu vizualizaciju oscilacija vodnih masa u vodnoj cilindričnoj komori preko grafičkog sučelja. U sklopu fizikalnog modela postoji program koji prikuplja mjerne podatke, te ih grafički i analitički obrađuje.

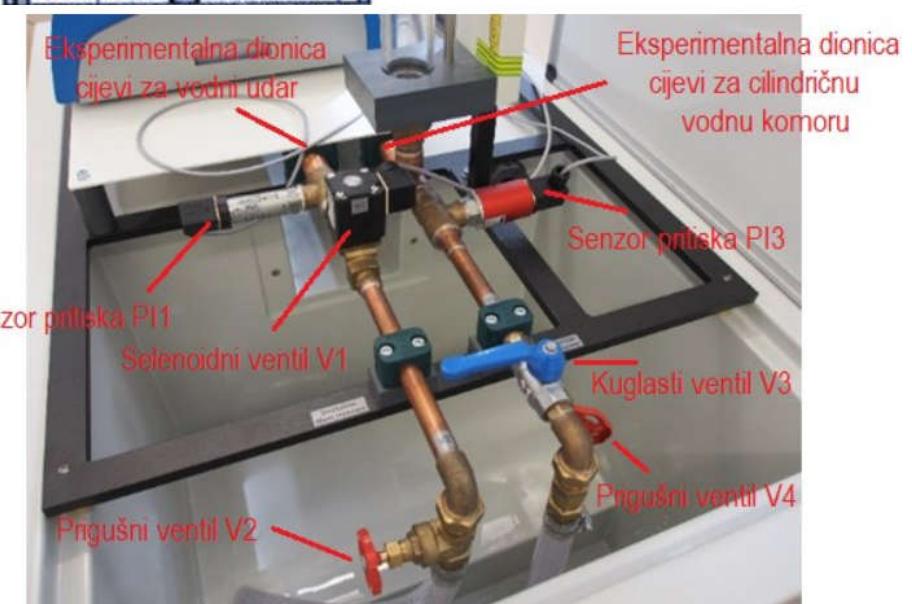
Fizikalni model za ispitivanje vodnog udara i oscilacija vodnih masa u vodnoj cilindričnoj komori (HM 156)

1 kom = 47,295.00 kn



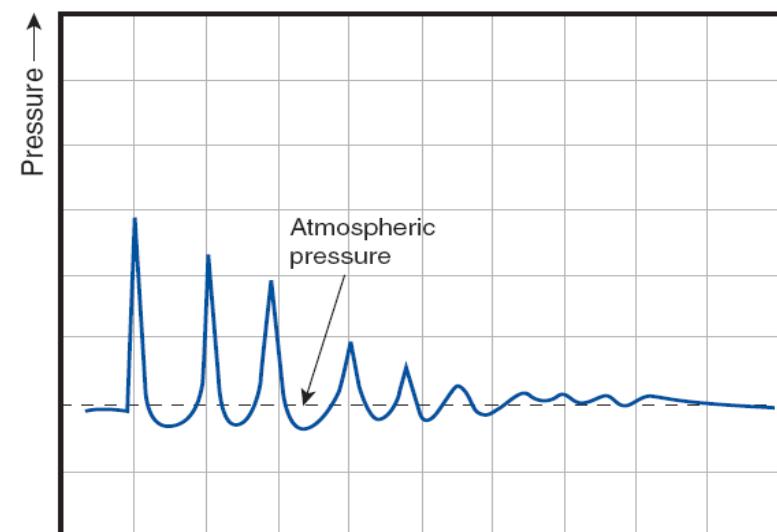
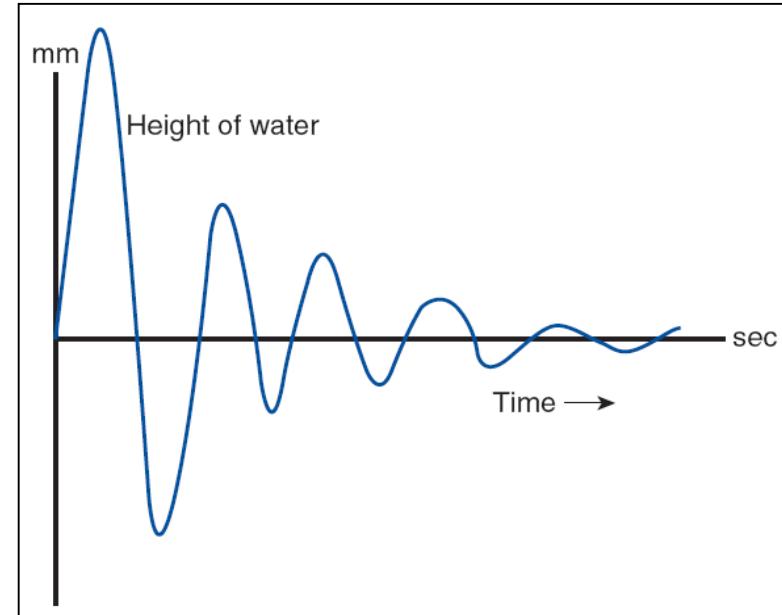
Shematski prikaz uređaja HM150 i HM156

- 1 - cilindrična vodna komora, 2 - kontrolna baza, 3 - senzor pritiska PI2, 4 - eksperimentalni dio cijevi za vodnu komoru,
5 - eksperimentalni dio cijevi za hidraulički udar,
6 – spremnik vode, 7 - dovodna cijev, 8 - odvodna cijev,
9 - HM150 bazni modul (spremnik vode sa ugrađenom pumpom za recirkulaciju vode), 10 – ventil za zatvaranje i volumetrijsko mjerjenje protoka, 11 – prigušni ventil,
12 – skala za prikaz razine vode u spremniku, 13 – prikaz fizikalnog modela sa svim potrebnim elementima, 14 – skala za određivanje volumena vode u gornjem spremniku



Fizikalni model za ispitivanje vodnog udara

1 kom = 47,295.00 kn



- Didaktički set za simulaciju pojave „vodenog udara” i neočekivanih nadtlaka u cjevovodima
- za pogon je potreban F1-10 stol
- Napomena: za prikaz rezultata je najbolje koristiti digitalni osciloskop dovoljne brzine.

Uređaj HM 150 (spremnik vode sa ugrađenom centrifugalnom pumpom)



Kratki opis opreme:

Ovaj uređaj je sastavni dio fizikalnog modela HM 156. Predstavlja spremnik vode koji služi za recirkuliranje vode u cijevnom sustavu pod tlakom, točnije od gornje akumulacije (gornjeg spremnika) do vodne cilindrične komore. Uređaj sačinjavaju mali gornji spremnik vode od cca. 50 l, crpka koja je preko električnog kabela spojena na struju (sa mjerodavnim regulatorom), te veliki donji spremnik unutar kojeg je ugrađena centrifugalna pumpa. Spremnik posjeduje i malu cjevčicu za mjerjenje volumena vode u određenom vremenu, odnosno za volumetrijsko određivanje protoka u sustavu.

Namjena opreme:

Uređaj je namjenjen za nesmetanu cirkulaciju vode kroz cijevasti sustav pod tlakom, točnije za nesmetani dotok vode iz akumulacije do vodne komore (ventila). Služi u svrhu kontinuiranog dotoka vode na brzi i spori ventil, odnosno daje mogućnost izračuna hidrodinamičkih parametara koji karakteriziraju vodni udar i oscilacije vodnih masa u cilindričnoj vodnoj komori. Isključivo se koristi za fizikalni model HM 156, ali postoji mogućnost rada i sa drugim fizikalnim modelima (npr. S-16, HM 289, HM 290, HM 150.11).

Tehničke karakteristike:

Volumen spremnika u radu: minimalno cca. 50 litara

Karakteristike elektromot.: napon 230 V, frekvencija 50 Hz, snaga 0,45 kW

Fizikalni model za određivanje linijskih i lokalnih gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11)



Tehničke karakteristike:

Dimenzije fizikalnog modela: L:Š:H= 1520 mm x 640 mm x 1200 mm, težina 35 kg.

Mjerenje tlaka: 2 seta piezometara za diferencijalno mjerenje tlaka u rasponu od 0 ... 0,1 bar / 0 ... 1000 mm vodnog stupca

Mjerni objekti: kosi ventil i pločasti ventil, promjer ϕ 15 mm, vodno grlo ϕ 18,5 mm, mlaznica ϕ 14 mm, Venturijeva cijev ϕ 28,4 - 14,0 mm.

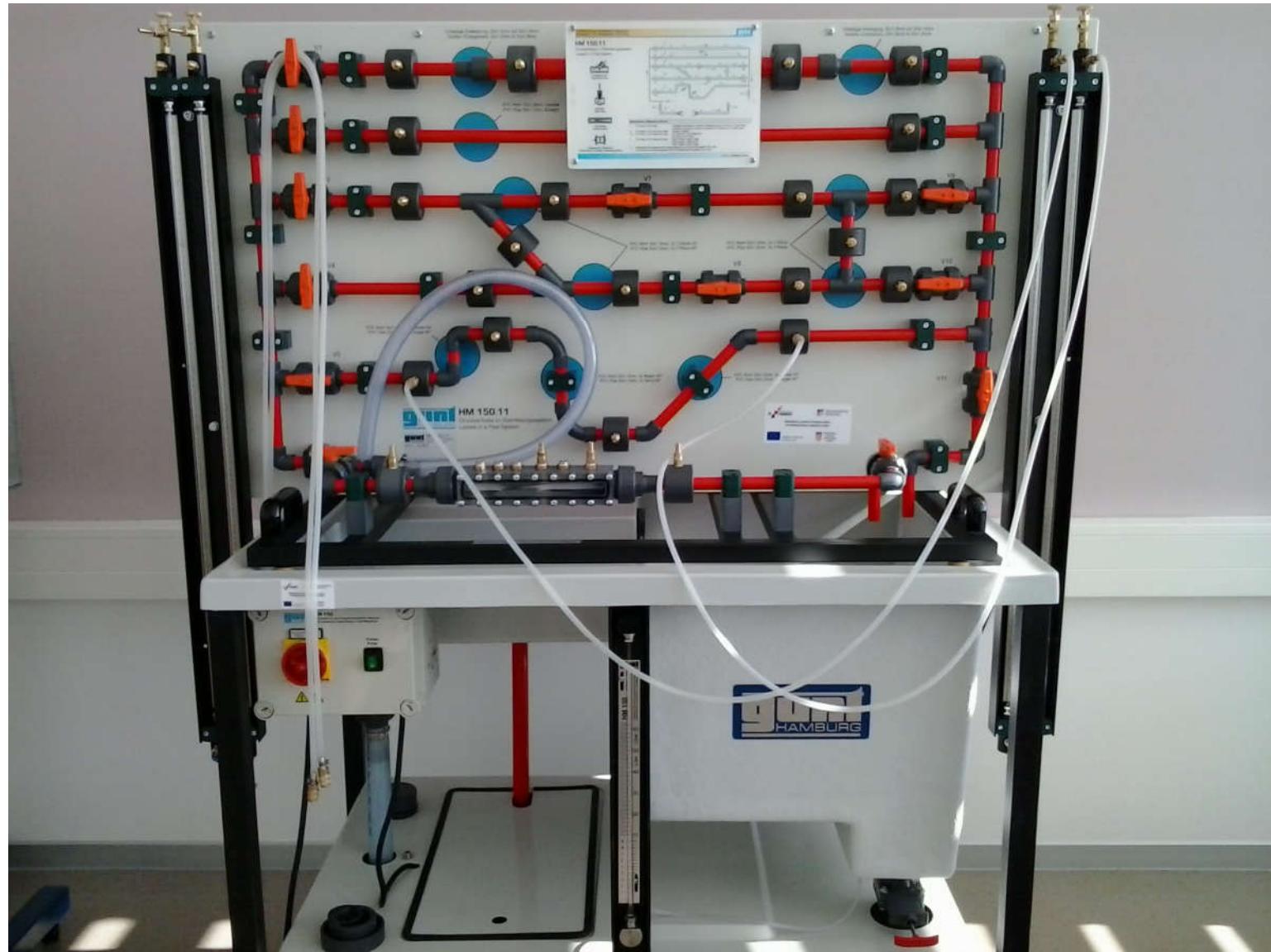
Kratki opis opreme:

Fizikalni model se sastoji od spremnika vode sa ugrađenom centrifugalnom pumpom koja recirkulira vodu u cijevni sustav pod tlakom, složenog cijevastog sustava za ispitivanje lokalnih i linijskih gubitaka (koljena, Y i T račvi, postepena suženja i proširenja i sl.), Venturimetra za mjerjenje protoka vode, dva seta piezometara za mjerjenje tlakova u određenim točkama (sa dotičnim fleksibilnim užetom), skalu za volumetrijsko mjerjenje protoka vode, te setom ventila za određivanje smjera toka kroz cijevasti sustav. Umjesto Venturimetra (1) u sustav se mogu ugraditi mlaznica (2), odnosno pločasti (3) ili kosi ventil (4).

Namjena opreme:

Fizikalni model je namjenjen određivanju lokalnih i linijskih gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom koji se preko ugrađenih ventila može proizvoljno definirati. Na modelu se mogu određivati: promjene tlakova (primjena digitalnog manometra) i brzina u ovisnosti o protoku u sustavu (primjena data loggera HM 150.61), koeficijenti lokalnih gubitaka na pojedinim fazonskim komadima, određivanje Darcy-Weisbachovog koeficijenta trenja, iscrtavanje energetske i piezometarske linije, volumetrijsko određivanje protoka, određivanje protoka preko ručnog i digitalnog Venturimetra, mjerne blende, pločastog ili kosog ventila i slično.

Fizikalni model za određivanje linijskih i lokalnih gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11)



Fizikalni model za određivanje linijskih i lokalnih gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11)

Ispitivanja na fizikalnom modelu



Uređaj za pohranjivanje i obradu podataka (Data logger HM 150.61)



Tehničke karakteristike:

Dimenzije uređaja: L:V:H= 225 x 200 x 85 mm, težina cca. 2,3 kg.
Električno napajanje preko utičnice: 90 ... 250 V ~ / 50 ... 60 Hz.
Mjerač protoka: 24 VDC, potrošnja struje: 10 mA, impulsni izlaz, frekvencija: maks. 265 Hz, mjerno područje: 5 ... 90 litara/min., otvor: 12 mm. Diferencijalni mjerač tlaka: napajanje 20...30 VDC, potrošnja struje: 35 mA, izlaz: 0...10 VDC, raspon tlaka: 0...50 mbara, linearnost: $\pm 1,5\% FS$. Minimalni hardverski zahtjevi: PCIII-600 procesor, RAM: min. 128 MB, grafika: 1024 x 768 piksela, slobodni prostor na tvrdom disku: min. 50 MB, 1 USB priključak, monitor, tipkovnica i miš, OS: Windows 98, 2000, XP.

Kratki opis opreme:

Ovaj uređaj predstavlja zasebnu jedinicu koja se koristi za potrebe ispitivanja na fizikalnom modelu za određivanje lokalnih i linijskih gubitaka na cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11). Na uređaj se mogu priključiti digitalni manometar (1), te digitalni mjerač protoka (2). U sklopu data loggera postoji i zaseban program na temelju kojeg se mogu vršiti grafičke analize prilikom rada na modelu HM 150.11. Uređaj se napaja strujom preko utičnice i USB kabela.

Namjena opreme:

Oprema/uređaj je namjenjen za grafičku obradu podataka koji se prikupljaju preko digitalnog manometra i digitalnog mjerača protoka na složenom cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11). Na temelju programa koji je namjenjen ovom uređaju mogu se vršiti hidrauličke analize na fizikalnom modelu HM 150.11. Uređaj se može koristiti i za potrebe mjerjenja tlaka i protoka na fizikalnom modelu HM 156.

Fizikalni model za određivanje linijskih i lokalnih gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11)

Ispitivanja na fizikalnom modelu – određivanje lokalnih gubitaka na fazon. komadima

Lokalni gubitak:

$$\Delta H_{lok} = \zeta \frac{v^2}{2g} [m]$$

ζ = lokalni koef. gubitaka [1]

v = brzina toka [m/s]

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{D^2 \pi}$$

Q = protok [l/s]

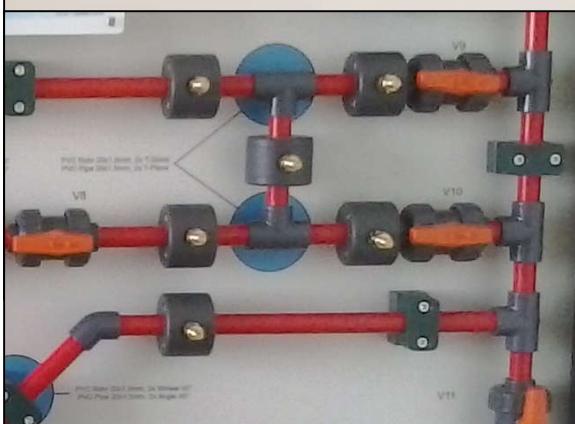
\rightarrow izmjereno na Venturimetru
ili volumetrički na
fizikalnom modelu

D = promjer cijevi [m]

A = površina popr. presjeka cijevi [m^2]

$$2g = 9,81 m/s^2 \rightarrow \text{konstanta}$$

$\zeta \rightarrow$ lako odrediti iz pokusa (usporedba sa literaturom)



Fizikalni model za određivanje linijskih i lokalnih gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11)

Ispitivanja na fizikalnom modelu – određivanje linijskih gubitaka na fazon. komadima

linjski gubici u sustavu:

$$\Delta H_{lin} = \Delta H_{fr} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} [m]$$

ΔH_{fr} = gubici na cijevnom sustavu [m]

λ = linijski koef. gubitaka [1]

L = duljina cijevnog sustava [m]

D = promjer cijevi [m]

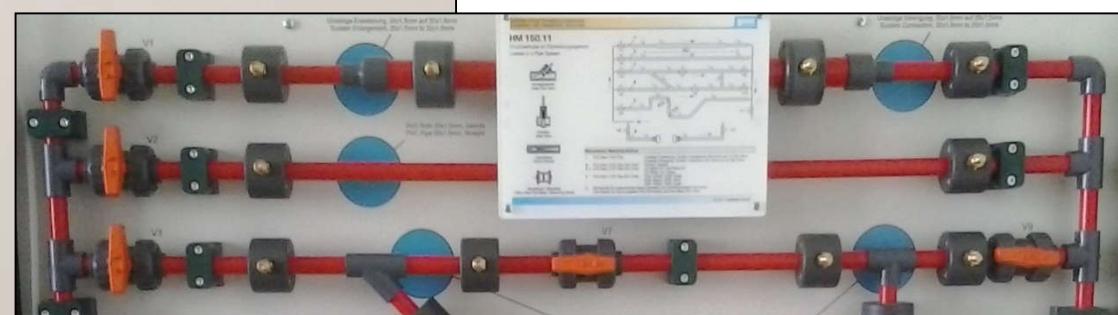
$\frac{v^2}{2g}$ = brinska visina [m]

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{D^2 \pi} [m/s]$$

$\lambda \rightarrow$ lako odrediti iz potusa (usporedba sa literaturom za razne vrijednosti Reynoldsovog

$$\text{broja } Re \quad (Re = \frac{v \cdot D}{\nu})$$

ν = kinematički koef. rizkoznosti [m^2/s]

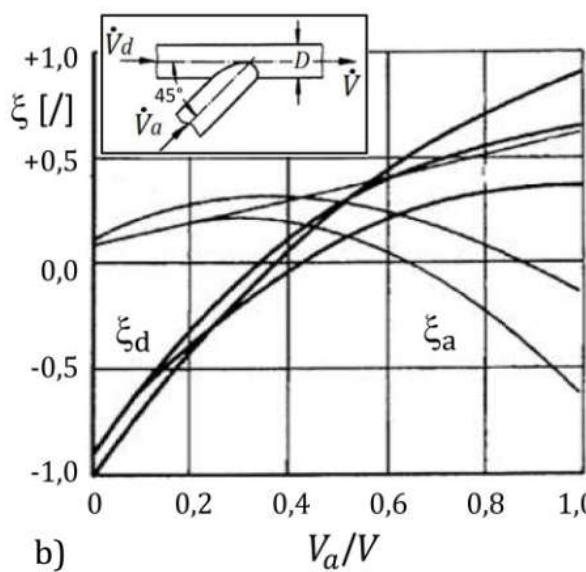
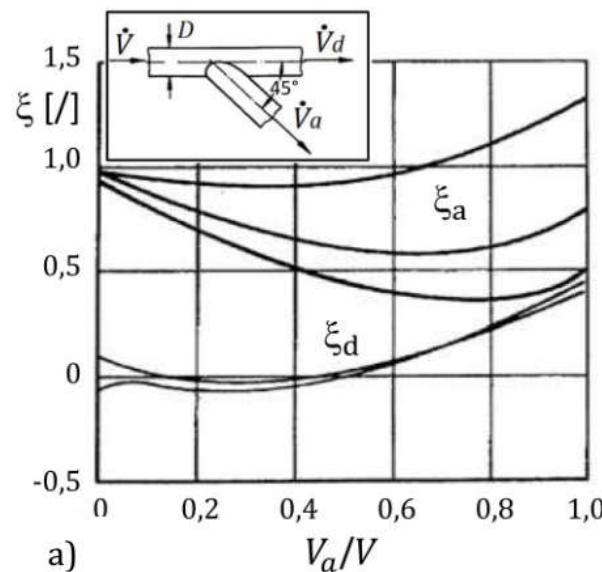


Fizikalni model za određivanje linijskih i lokalnih gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom (HM 150.11)

Ispitivanja na fizikalnom modelu – određivanje lokalnih gubitaka za Y fazonske komade

IZMJERENO	Razdvajanje tokova			Spajanje tokova	
	Volumenski protok \dot{V} u l/min	Lokalni gubitak $\Delta H_{lok.}$ u mm	Volumenski protok \dot{V} u l/min	Lokalni gubitak $\Delta H_{lok.}$ u mm	
32,4	$\Delta H_{lok,a}$	$\Delta H_{lok,d}$	30,0	$\Delta H_{lok,a}$	$\Delta H_{lok,d}$
	50	-120		130	-190
IZRAČUNATO	Brzina toka v , m/s	2,38	2,38	Brzina toka v , m/s	2,20
	Lokalni koeficijenti gubitaka	$\xi_a = 0,17$	$\xi_d = 0,42$		$\xi_a = 0,53$
Lokalni koeficijent gubitaka prema sl. 7.	$\xi_a = 0,45$	$\xi_d = 0,10$		$\xi_a = 0,42$	$\xi_d = 0,35$

Izračun lokalnih koeficijenata gubitaka za Y fazonske komade



Izračunavanje lokalnih koeficijenta gubitaka pri
a) razdvajanju i b) spajanju toka
za Y fazonske komade

Fizikalni model Francisove turbine (Model HM 150.20)



Kratki opis opreme:

Uredaj se sastoji od metalnog postolja na kojem je montirana Francisova turbina. Unutar kućišta se nalaze skretne lopatice koje se reguliraju ručnom polugom (njome se ujedno i fiksira kut skretnih lopatica i dotok vode). Dotok vode se osigurava uređajem HM150 (spremnik vode) preko dovodne fleksibilne plastичne cijevi (otprilike 1,5 m). Na samom uređaju postoji manometar za mjerjenje tlaka neposredno prije lopatica turbine, kao i kočni mehanizam koji se regulira pomoću opruge. Uredaj je prenosiv i vrlo pogodan za demonstraciju rada studentima.

Namjena opreme:

Radna jedinica/model služi za pokazivanje načela rada Francisove turbine. Lopatice u kućištu uređaja se mogu podešavati, te na taj način definirati različite okretne momente, dovod vode prema lopaticama, učinkovitost rada turbine, te proizvodnu energiju, odnosno hidrodinamičku snagu koju turbina proizvodi. U svrhu izračuna gore navedenih parametara služi kočioni sistem koji se regulira ručno preko opruga. Na temelju manometra i mjerjenja tlaka može se posljedično (preko piezometarske visine) odrediti ukupna visina turbine iz koje se određuje njena snaga ili učinkovitost.

Tehničke karakteristike:

Dimenzije uređaja ($L:S:H = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$), težina 12 kg. Dolazni protok, $Q=50 \text{ l/h}$, visina turbine, $H_{tur.}=2 \text{ m}$, broj okretaja turbine $n=2000 \text{ okr/min.}$, snaga pri protoku od 40 l/min. iznosi $2,8 \text{ W}/1000 \text{ okr./min.}$ ($H=0,8 \text{ m}$), 6 lopatica.

Kućište uređaja: vanjski/unutarnji promjer (50/30 mm), širine 5 mm, 7 skretnica, unutarnji kut $58,1^\circ$, sila kočenja 10 N. Promjer kotača: 50 mm. Pri spajanju na model HM 150 potrebno je osigurati $Q=40 \text{ l/h}$ i $p=0,1 \text{ bara}$. Za provođenje pokusa je dodatno potreban ručni tahometar.

Radna jedinica fizikalnog modela Peltonove turbine (Model HM 290)



Kratki opis opreme:

Radna jedinica HM 290 sastavni je dio fizikalnog modela Peltonove turbine (HM 289) koji služi u svrhu recirkuliranja vode prema lopaticama. Sastoji se od elektromotora koji napaja centrifugalnu pumpu, spremnika vode, dovodne i odlazne cijevi za recirkuliranje vode u sustavu, manometra za mjerjenje tlaka, senzora brzine, kočionog mehanizma, te senzora za mjerjenje protoka koji dolazi na lopatice turbine. Koristi se isključivo u kombinaciji sa modelom HM 289. Radna jedinica HM 290 se preko USB kabela spaja na osobno računalo u svrhu mjerjenja hidrauličkih parametara vezanih za rad turbine (HM 290 Turbine Demonstrator).

Namjena opreme:

Radna jedinica je namjenjena za nesmetani dotok vode na lopatice Peltonove turbine koji se osigurava pomoću elektromotora koji napaja centrifugalnu crpu. Također, ima funkciju mjerjenja i pohranjivanja podataka pojedinih hidrauličkih parametara na Peltonovoj turbini (mjerjenje tlaka, protoka, brzina, okretnog momenta, kočionog momenta, koeficijenta učinkovitosti i sl.) preko USB kabela koji se spaja na osobno računalo (laptop). Koristi se program HM 290 Turbine Demonstrator.

Tehničke karakteristike:

Dimenzije uređaja: L:Š:H= 650 x 600 x 630 mm, težina 37 kg.

Napajanje elektromotora: 230 V, 50 Hz, jednofazni, snaga cca. 1000 W.

Centrifugalna pumpa: 3-fazna, maksimalni protok 70 l/min. pri 50 Hz, maksimalna visina dizanja 35,4 m pri 50 Hz. Spremnik vode: nominalni volumen 12 litara. Rang mjerjenja protoka: 10-140 l/min., rang mjerjenja tlaka: 0-5 bara. Karakteristike stolnog računala: Pentium IV ili više, 1GHz procesor, minimum 1024 MB RAM, minimum 1GB slobodnog diska, 1 USB ulaz, grafička kartica rezolucije min. 1024*768 piksela, OS: Windows XP / Windows Vista / Windows 7.

Fizikalni model Peltonove turbine (Model HM 289)



Kratki opis opreme:

Uređaj HM 289 se sastoji od lopatica Peltonove turbine koje se nalaze u zatvorenom pleksiglas kućištu, dotoka vode prema lopaticama, kočionog mehanizma, senzora brzine dotoka vode, senzora za određivanje snage turbine, te mehanizma za formiranje mlaza vode (klinaste igle) koji dolazi na lopatice turbine. Voda na lopatice turbine dolazi s gornjeg najvišeg dijela i udara na njih okomito. U svrhu određivanja okretnog momenta služe magneti u stražnjem dijelu modela. Ugrađeni senzori su preko žičanog dijela povezani sa radnom jedinicom HM 290 preko koje se naknadno vrši analitička obrada izmjerениh podataka.

Namjena opreme:

Uređaj/model je namjenjen za mjerjenje hidrauličkih parametara Peltonove turbine. U tu svrhu, regulacijom dotoka vode i zakretnog momenta mogu se određivati $Q-H$, $Q-P$ i $Q-\eta$ karakteristike Peltonove turbine, odnosno vršiti adekvatne hidrauličke analize ovisnosti promjena radnog tlaka, okretnog momenta, snage, energije i koeficijenta učinkovitosti turbine u ovisnosti o dolaznom protoku.

Tehničke karakteristike:

Dimenzije uređaja: $L:\dot{S}:H = 340 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, težina 5,1 kg.

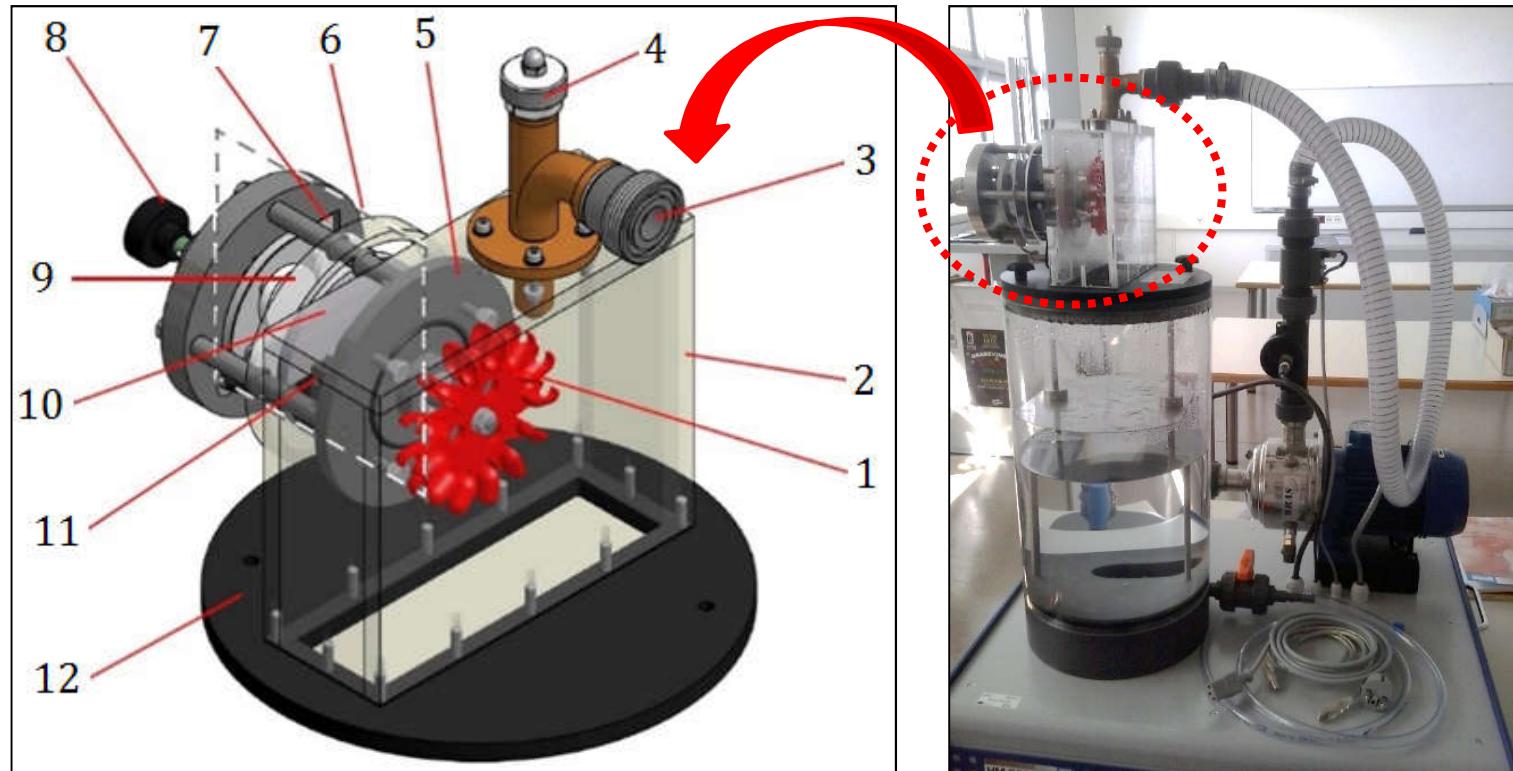
Mlaznica igle: presjek mlaznice (otvoren) $19,63 \text{ mm}^2$.

Okretno kolo: učinkoviti promjer kola 70 mm, broj lopatica: 13.

Rad je moguć samo s radnom jedinicom HM 290.

Fizikalni model Peltonove turbine (Model HM 289)

Ispitivanja na fizikalnom modelu

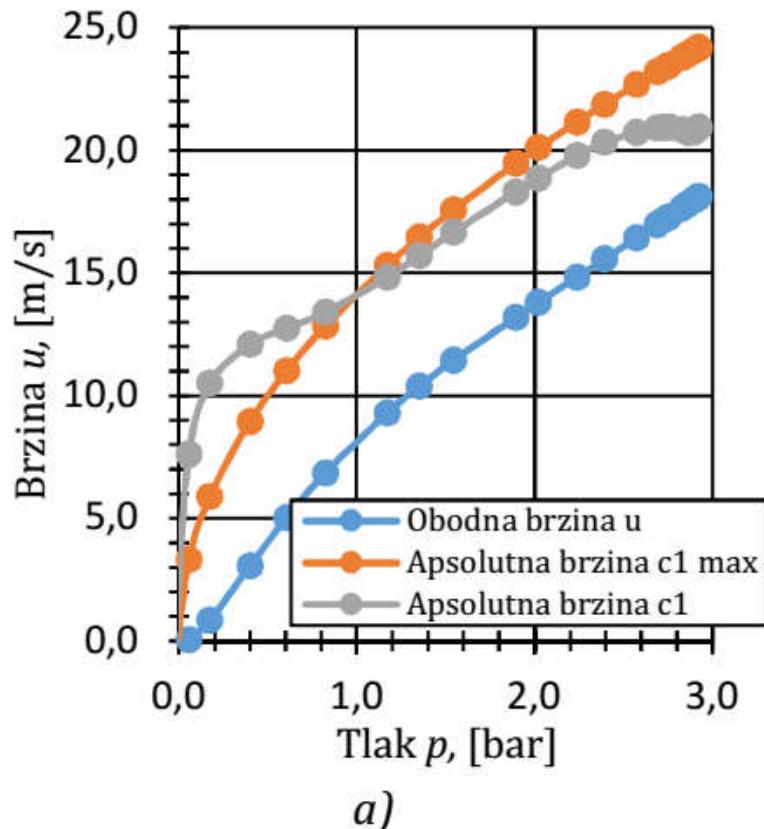


Fizikalni model HM 289 Peltonove turbine

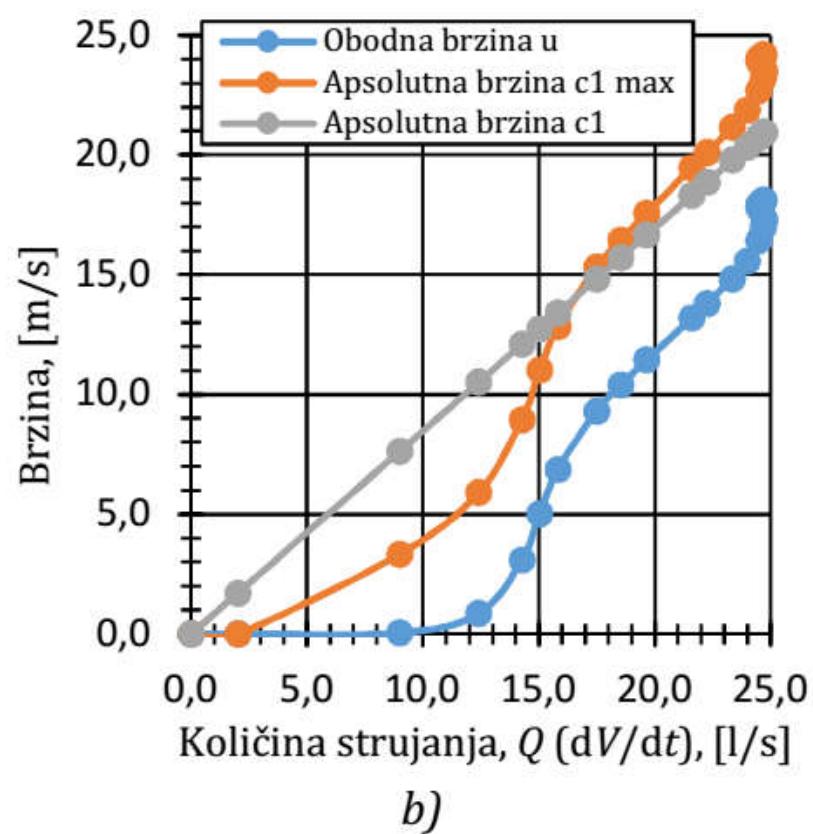
1 – rotor, 2 – prozirno kućište, 3 – priključak crijeva za dovod vode, 4 – vijak za podešavanje igle mlaznice, 5 – prirubnica s ležajevima za osovinu rotora, 6 – jedinica za kočenje u skladu s metodom vrtložnih struja, 7 – senzor sile, 8 – vijak za podešavanje momenta kočenja, 9 – magneti, 10 – induksijska ploča s crnim / bijelim bojama, 11 – senzor brzine (optički), 12 – osnovna ploča za montažu na radnu jedinicu HM 290

Fizikalni model Peltonove turbine (Model HM 289)

Ispitivanja na fizikalnom modelu



a)

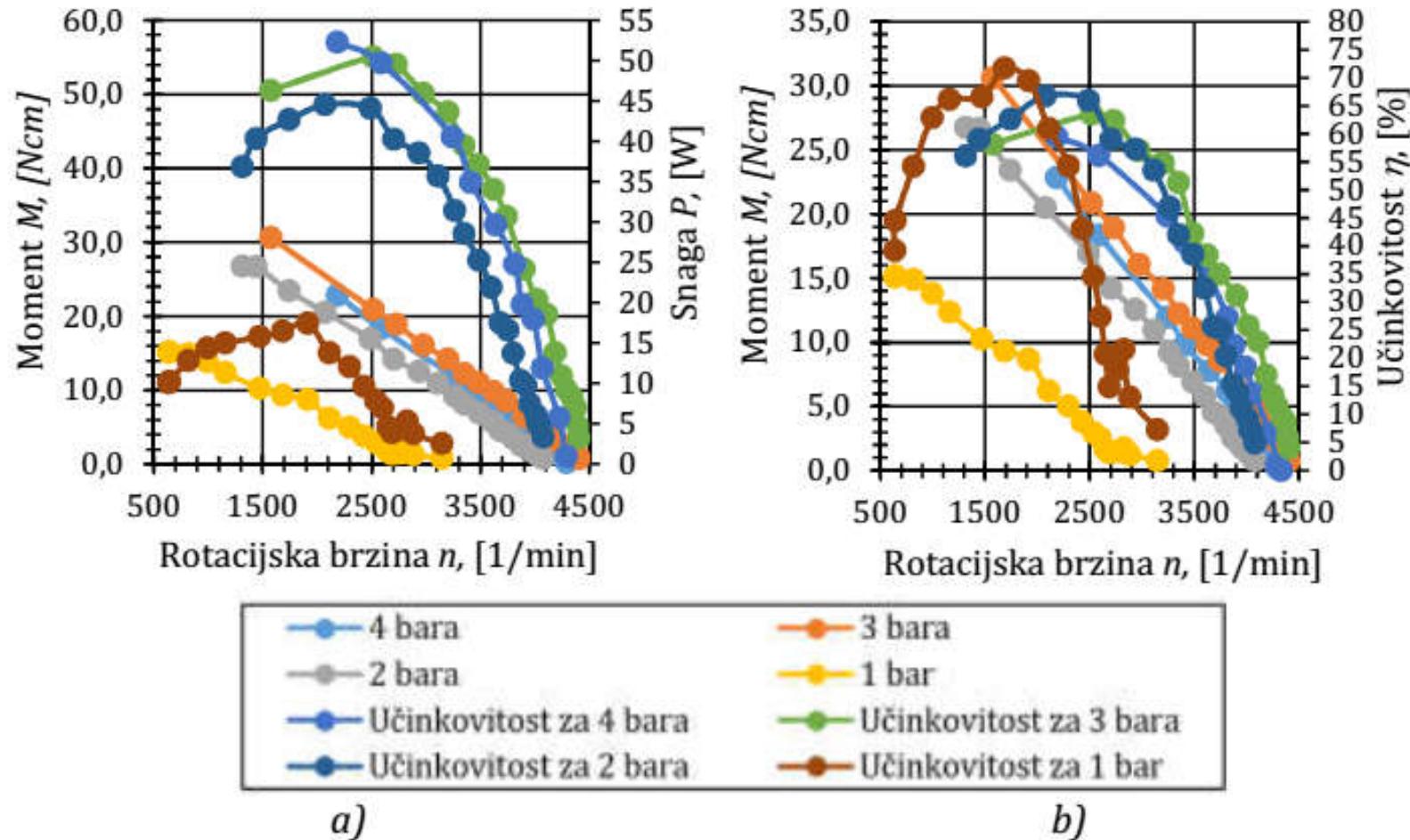


b)

Usporedba brzina na Peltonovoj turbini u odnosu prema tlaku p (lijevo), te usporedba brzina na turbini u odnosu prema količini strujanja Q (desno)

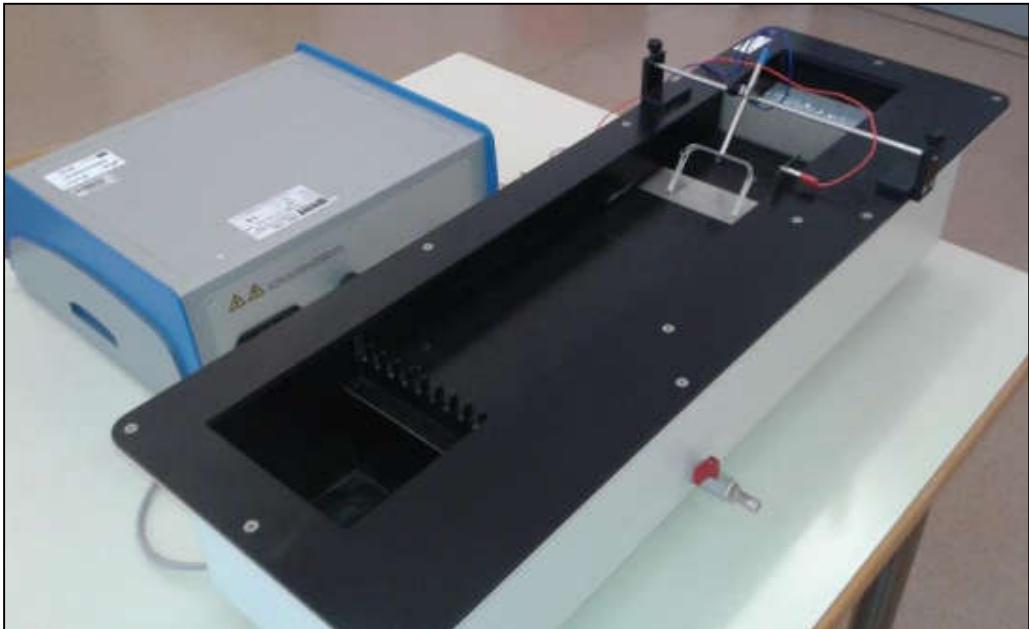
Fizikalni model Peltonove turbine (Model HM 289)

Ispitivanja na fizikalnom modelu



Krivulja momenta i snage s potpuno otvorenom mlaznicom (lijevo), te krivulja momenta i učinkovitosti s potpuno otvorenom mlaznicom (desno)

Fizikalni model za vizualni prikaz polja brzina (HM 133)



Tehničke karakteristike:

Dimenzije uređaja: L:Š:H= 900 x 300 x 220 mm.

Volumen spremnika vode: oko 6 litara.

Dimenzije radne sekcije L:Š:H= 560 mm x 150 mm x 176 mm.

Dimenzije potenciometra: L:Š:H= 360 mm x 340 mm x 160 mm.

Težina uređaja sa potenciometrom: 24 kg.

Električno napajanje: struja 5 A, maks. izlazna vrijednost 200 mA (30 V), napon napajanja 230 V / 50 Hz, nazivna potrošnja (snaga) 0,1 kW.

Dimenzije katode (duljina): 30 mm / 50 mm / 75 mm. Razvoj mjehurića: pri struji od 200 mA je manja od 100 cm³/h, odgovara snazi od 0,27 W.

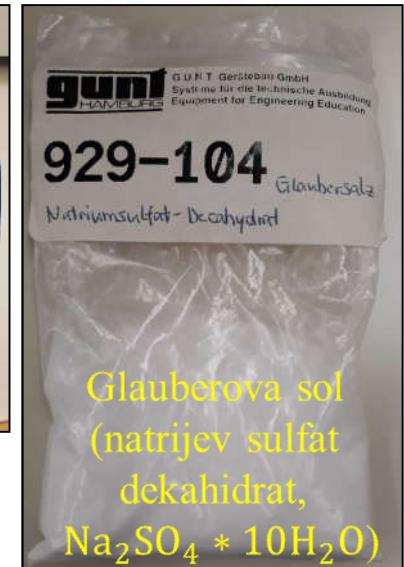
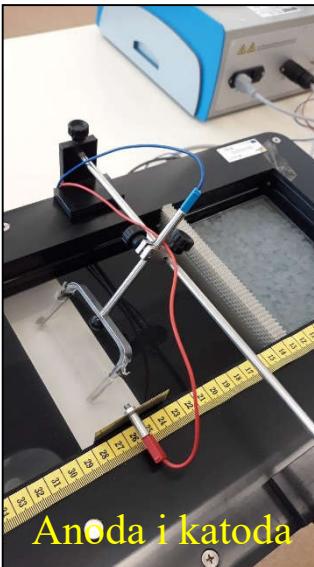
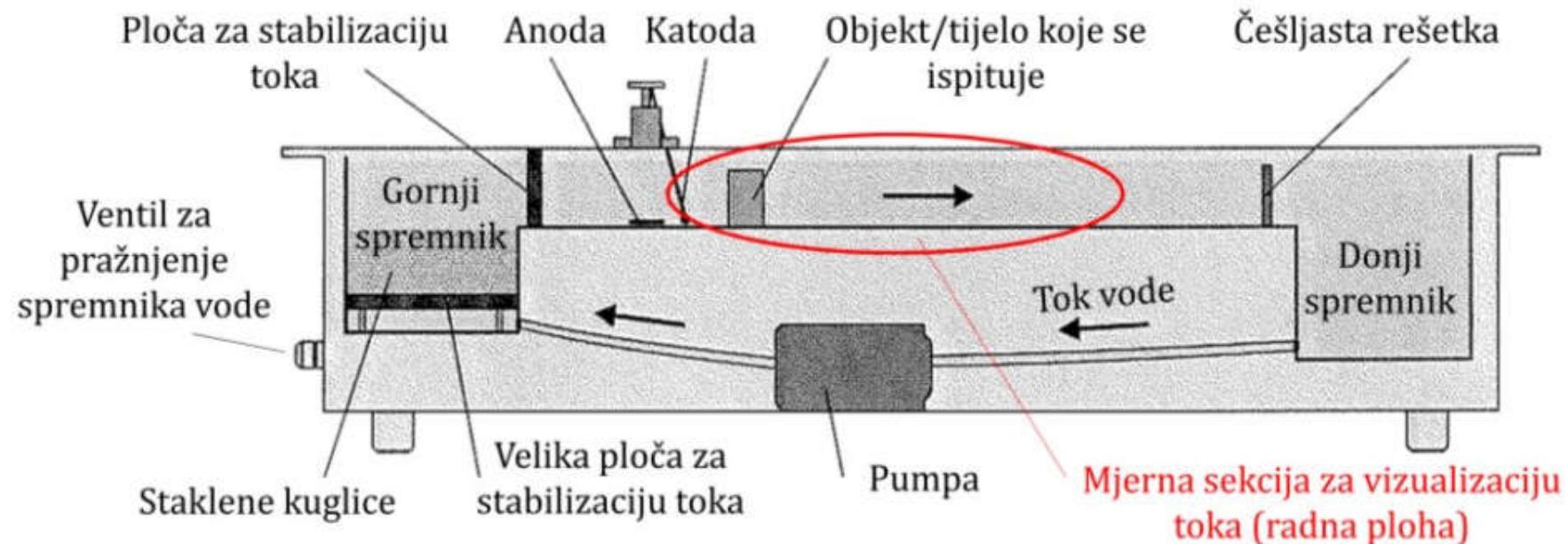
Kratki opis opreme:

Fizikalni model se sastoji od glavnog polistirenskog kućišta unutar kojeg se nalaze dva mala spremnika (gornji i donji), te pumpa za recirkuliranje vode u sustavu. U gornjem spremniku se nalaze staklene kuglice za smirivanje vode. Između spremnika se nalazi osvjetljena radna ploha za ispitivanje opstrujavanja oko pojedinih hidrotehničkih objekata izrađenih od pleksi stakla (aerodinamični oblik krilca, cilindrični stupovi raznih promjera, ravni blago zakrivljeni lukovi, duge ploče sa zaobljenim rubovima i sl.). Za formiranje mjehurića služe anoda (metalna pločica), te katoda (platinska žica), odnosno potenciometar za njihovo napajanje.

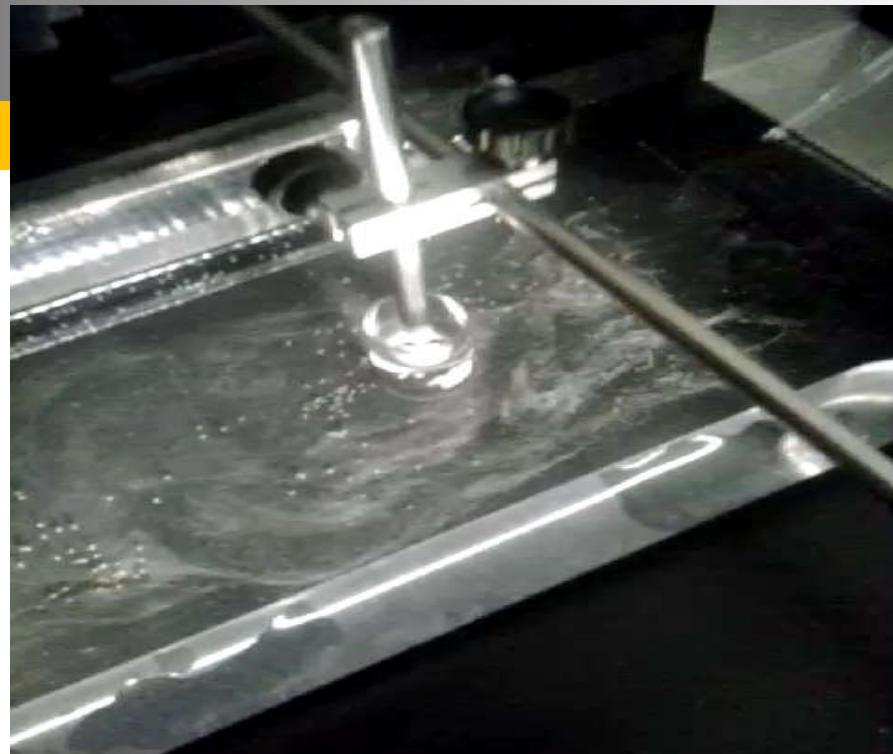
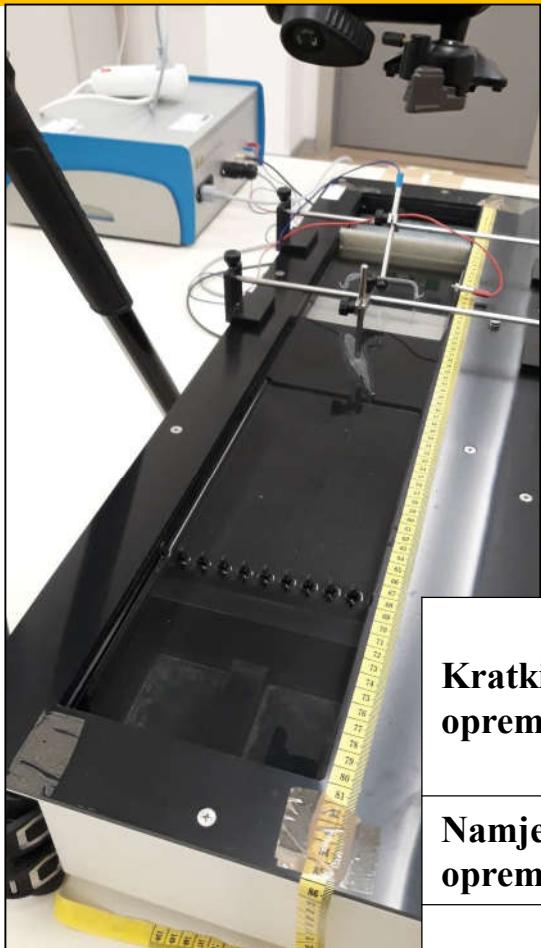
Namjena opreme:

Uredaj je namjenjen za vizualnu predodžbu strujanja i formiranja turbulencije (točki odvajanja, formiranje graničnih slojeva) kod različitih dotoka vode oko različitih hidrotehničkih objekata koji se postavljaju na mjestu radne plohe. U svrhu bolje vizualizacije formiraju se mjehurići vode (pomoću anode-metalne pločice i katode-tanke platinaste žičice) koji su regulirani potenciometrom kao zasebnim uređajem na modelu (mogućnost reguliranja struje i dotoka vode). U tu svrhu dodaje se i male količine natrijeva sulfata kako bi se pospešila vizualizacija toka.

Fizikalni model za vizualni prikaz polja brzina (HM 133)



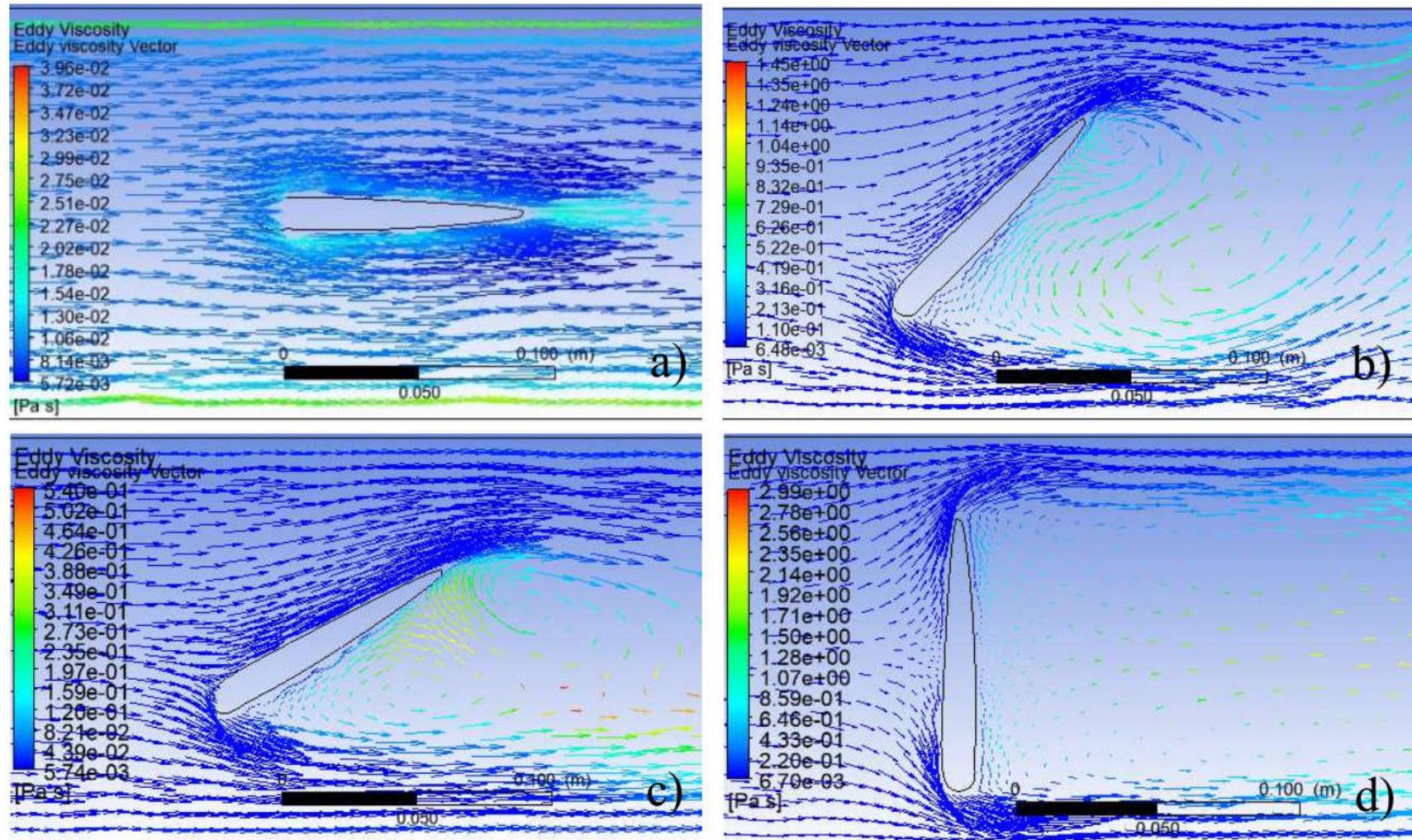
Generator mjehurića vodika



Kratki opis opreme:	<p>Uređaj se koristi u svrhu generiranja mjehurića vodika putem kojih je moguće vizualizirati tok fluida. Anodu i katodu je moguće premjestiti na bilo koju lokaciju te se tako omogućava uvid u strujnu sliku u različitim eksperimentima provedenim u laboratorijskom okruženju.</p>
Namjena opreme:	<p>Vizualizacija laminarnog i turbulentnog tečenja pomoću mikro mjehurića vodika, generiranih elektrolizom.</p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">Maksimalni protok pumpe: 20 L/minGenerator mjehurića: Struja: 0-200 mA Pauza 8,4-1800 ms Impuls 8,4-1800 ms 3 katodne žice od platine, promjera 0,2 mm duljine 30, 50, 75 mm Zapremnina kanala: 6 L

Fizikalni model za vizualni prikaz polja brzina (HM 133)

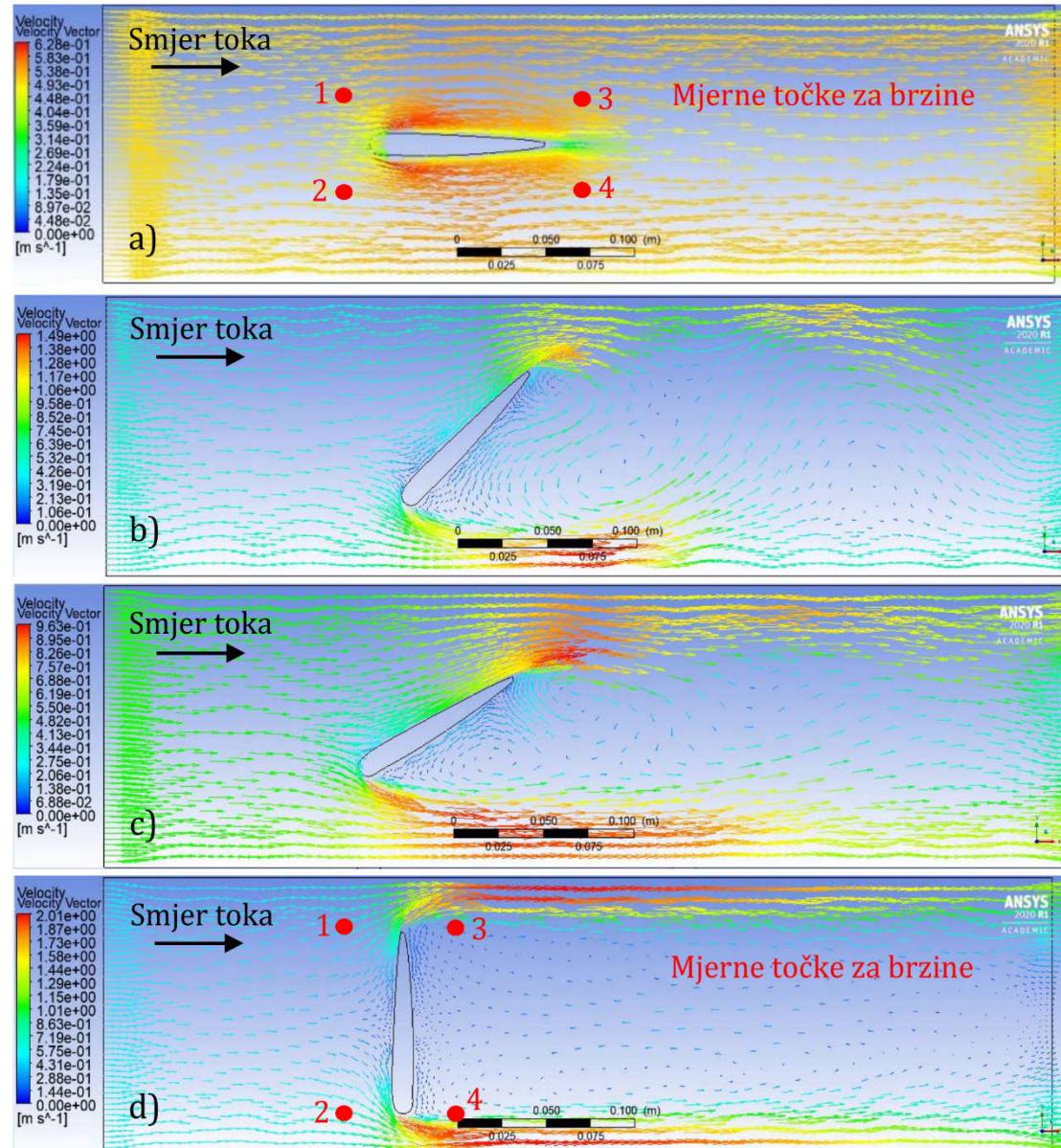
Validacija ispitivanja na fizikalnom modelu – primjer hidroprofila, Ansys Fluent 2020R1



Vektorski prikaz polja turbulentne viskoznosti na numeričkom modelu hidroprofila za njegove položaje u odnosu na smjer toka vode od a) 0° , b) 45° , c) 30° i d) 90°

Fizikalni model za vizualni prikaz polja brzina (HM 133)

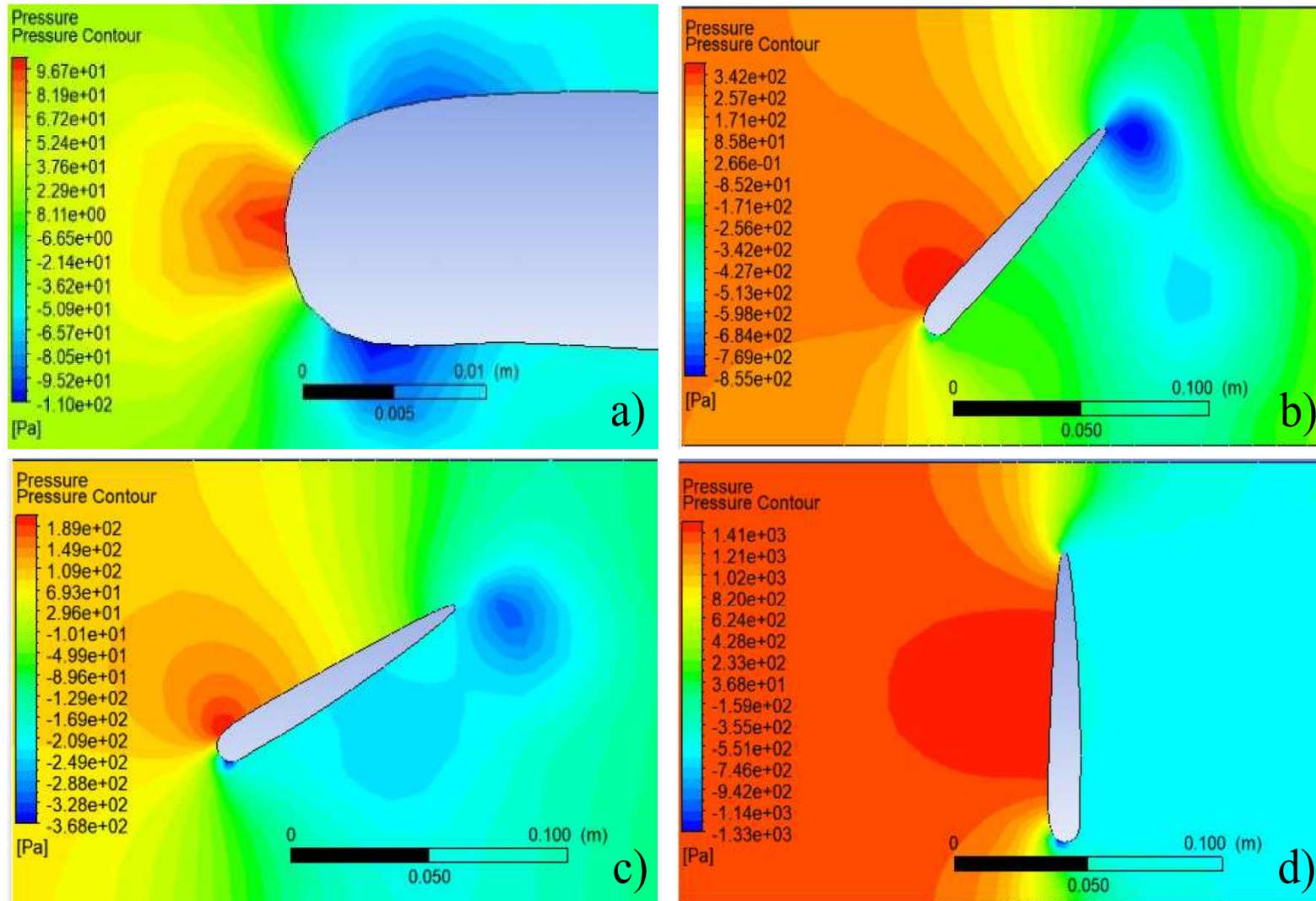
Validacija ispitivanja na fizikalnom modelu – primjer hidroprofila, Ansys Fluent 2020R1



Vektorski prikaz polja brzina na numeričkom modelu hidroprofila za njegove položaje u odnosu na smjer toka vode od a) 0° , b) 45° , c) 30° i d) 90°

Fizikalni model za vizualni prikaz polja brzina (HM 133)

Validacija ispitivanja na fizikalnom modelu – primjer hidroprofilu, Ansys Fluent 2020R1



Konturni prikaz polja pritiska na numeričkom modelu hidroprofilu za njegove položaje u odnosu na smjer toka vode od a) 0° , b) 45° , c) 30° i d) 90°

Mjerni instrumenti

Digitalni manometar (2 komada)

1 kom = 4.599,00 kn



- Digitalni ručni višefunkcijski manometar sa dva ulaza i mjernim modulom
- Mjerni modul za tlak: piezo senzor + 1x termopar tip K, J ili T klasa 1
- Mjernii opseg -2500 ... +2500 Pa
- Rezolucija: 1 Pa
- Točnost već od $\pm 0.2\%$ od mjerne vrijednosti ± 2 Pa
- Očitanje u Pa, hPa, kPa, mbar, DaPa, mm H₂O, "H₂O, mm Hg, psi
- Mjerni opseg: 2 ... 60 m/s (ovisno o priključenom tipu Pitotove cijevi L ili S) - (dodatna opcija)
- Rezolucija: 0.1 m/s
- Točnost: već od ± 0.3 m/s
- Očitanje u m/s, Km/h, fpm, mph
- Izračun volumnog protoka: 0 ... +99999 m³/h
- Očitanje u m³/s, m³/h, l/s, cfm.
- Mjerni opseg temperature: -200 ... +1300 °C (ovisno o tipu sonde) - (dodatna OPCIJA)
- Rezolucija: 0.1 °C
- Točnost već od ± 0.5 °C ili $\pm 0.4\%$ od mjerne vrijednosti
- Mogučnost proširenja sa sondama za temperaturu i CO (dodatna opcija)
- Mogučnost proširenja sa mjernim modulom za tlak: mjerni opseg: ± 500 Pa, ± 10.000 Pa, ± 500 mbar, ± 2.000 mbar; temperaturu: 4x termopar tip K,J,T; napon/struja; (dodatna opcija)
- Veliki grafički 128x128 zaslon s plavim pozadinskim osvjetljenjem
- Istovremeni prikaz do 6 mjernih veličina (4 simultano)
- Funkcije: HOLD/MIN/MAX
- Upravljačka palica i tipkovnica u metalnom kućištu s 5 tipki
- Datalogging do 8000 mjernih podataka
- USB-KIMO ili bežično sučelje za spoj na računalo
- Kompatibilnost sa Datalogger-10 softverom (dodatna opcija).

Digitalni anemometar (2 komada)

1 kom = 6.009,00 kn

- Digitalni ručni anemometar sa dva ulaza, teleskopskom sondom φ14mm na kabalu i mjernim modulom
- Mjerni opseg krilne sonde: 0.8 ... 25 m/s, rezolucija 0.1 m/s
- Točnost već od $\pm 1\%$ od mjerne vrijednosti ± 0.3 m/s
- Izračun volumnog protoka: 0 ... +99999 m³/h
- Mogućnost proširenja sa mjernim lijevkom (dodatna opcija)
- Tip temperaturnog dijela sonde: Pt100 kl. A
- Mjerni opseg: -200 ... +80 °C
- Rezolucija: 0.1 °C, točnost već od $\pm 0.4\%$ od mjerne vrijednosti ± 0.3 °C
- Očitanje u m/s, Km/h, fpm, m³/s, m³/h, l/s, cfm, °C/°F
- Funkcije: HOLO / MIN / MAX / MEAN snimanje u relativnom vremenu
- Mogućnost proširenja sa bežičnim sondama (dodatna opcija)
- Mjerni modul za el. veličine: napon/struja
- Mjerni opseg: 0 ... 2,5/10 V, 0 ... 4/20 mA
- Rezolucija: 0.001/0.01 V, 0,01 mA
- Točnost već od ± 1 mV, ± 0.01 mA
- Funkcije: HOLD / MIN / MAX
- Mogućnost proširenja sa mjernim modulom za temperaturu; 4x termopar tip K, J, T Kl. 1 (dodata OPCIJA)
- Veliki grafički 128x128 zaslon s plavim pozadinskim osvjetljenjem
- Istovremeni prikaz do 6 mjernih veličina (4 simultano)
- Upravljačka palica i tipkovnica u metalnom kućištu s 5 tipki
- Datalogging do 8000 mjernih podataka
- USB-KIMO ili bežično sučelje za spoj na računalo
- Kompatibilnost sa Datalogger-10 softverom (dodata opcija)
- Robusno ABS kućište, zaštita: IP54
- Opcija: Mjerne sonde naručuju se posebno KOMPLET; Instrument, baterije, sonda HET14, mjerni modul, transportna torba, tvornička potvrda o kalibraciji, original i upute za uporabu na hrvatskom.

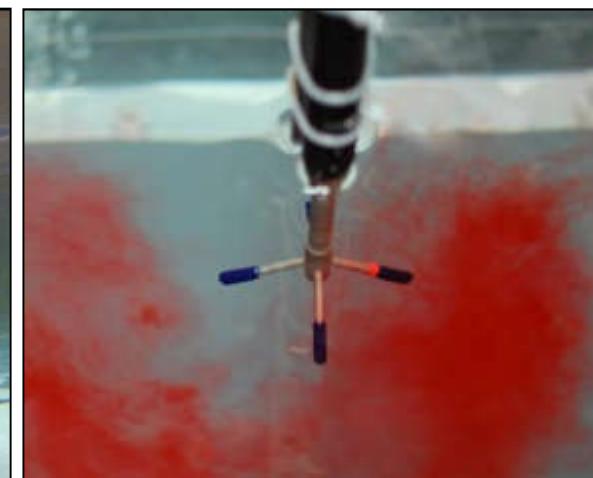
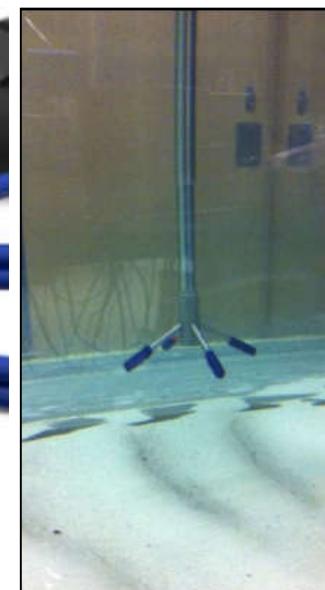


Vectrino Profiler (1 komad)

1 kom = 150.510,00 kn



- Trodimenzionalni mjerač brzine strujanja fluida i profiler koji omogućava izradu trodimenzionalnih modela strujanja
- Sonda sa vertikalnim pogledom
- Radi malih dimenzija naročito pogodan za plitke vode i primjenu blizu obale
- Tehnički podaci:
- Brzina strujanja: inkrement od 0.1 m/s do maksimalno 3.0 m/s
- Adaptivni ping interval: jednom ili u intervalima od 1 sekunde do 1 sata
- Točnost: +0.5% od izmjerenoj +1 mm/s
- Uzorkovanje: 1-100 Hz (standard firmware)



Spectrophotometer (1 komad)

1 kom = 27.000,00 kn



Parameter	Range	TNTplus Test
Alachlor	0.1 to 0.5 ppb, threshold	
Alkalinity, Total	25 to 400 mg/L	•
Aluminum	0.002 to 0.800 mg/L	•
Ammonia, Nitrogen	0.015 to 50.0 mg/L	•
Arsenic	0.020 to 0.200 mg/L	
Atrazine	0.5 to 3.0 ppb, threshold	
Barium	2 to 100 mg/L	
Benzotriazole	0.2 to 16.0 mg/L	
Boron	0.2 to 14.0 mg/L	
Bromine	0.05 to 4.50 mg/L	
Cadmium	1.3 µg/L to 0.30 mg/L	•
Carbohydrazide	5 to 600 µg/L	
Chloramine, Mono	0.04 to 10.0 mg/L	
Chloride	0.1 to 25.0 mg/L	
Chlorine Dioxide	0.01 to 1000 mg/L	
Chlorine, Free	0.02 to 10.0 mg/L	•
Chlorine, Total	2 µg/L to 10.0 mg/L	•
Chromium, Hexavalent	0.010 to 1.00 mg/L	•
Chromium, Total	0.01 to 0.70 mg/L	•
Cobalt	0.01 to 2.00 mg/L	
Color	3 to 500 units	
COD (Oxygen Demand, Chemical)	0.7 to 15,000 mg/L	•
Copper	1 µg/L to 8.0 mg/L	•
Cyanide	0.002 to 0.240 mg/L	
Cyanuric Acid	5 to 50 mg/L	
DEHA (Diethylhydroxylamine)	3 to 450 µg/L	
Dissolved Oxygen	6 µg/L to 40 mg/L	
Erythorbic Acid (Isoascorbic Acid)	13 to 1500 µg/L	
Fluoride	0.02 to 2.00 mg/L	
Formaldehyde	2 to 500 µg/L	
Hardness, Total (Calcium and Magnesium as CaCO ₃)	4 µg/L to 4.00 mg/L	
Hydrazine	4 to 600 µg/L	
Hydroquinone	9 to 1000 µg/L	
Iodine	0.07 to 7.00 mg/L	
Iron, Ferrous	0.02 to 3.00 mg/L	
Iron, Total	0.009 to 6.0 mg/L	•
Lead	3 µg/L to 2.0 mg/L	•
Manganese	0.006 to 20.0 mg/L	
MEKO (Methylethylketoxime)	15 to 1000 µg/L	
Mercury	0.1 to 2.5 µg/L	
Molybdenum, Molybdate	0.02 to 40.0 mg/L	
Nickel	0.006 to 6.0 mg/L	•
Nitrate, Nitrogen	0.01 to 35 mg/L	•
Nitrite, Nitrogen	0.002 to 250 mg/L	•
Nitrogen, Simplified Total Kjeldahl	0 to 16 mg/L	•
Nitrogen, Total	0.5 to 150 mg/L	•
Nitrogen, Total Inorganic	0.2 to 25.0 mg/L	
Nitrogen, Total Kjeldahl	1 to 150 mg/L	
Ozone	0.01 to 1.50 mg/L	
PCB (Polychlorinated Biphenyls)	1 to 50 ppm, threshold	
Phenols	0.002 to 0.200 mg/L	
Phosphonates	0.02 to 125.0 mg/L	
Phosphorus, Acid Hydrolyzable	0.06 to 100.0 mg/L	
Phosphorus, Reactive (Orthophosphate)	19 µg/L to 100.0 mg/L	•
Phosphorus, Total	0.06 to 100.0 mg/L	•
Potassium	0.1 to 7.0 mg/L	
Quaternary Ammonium Compounds	0.2 to 5.0 mg/L	
Selenium	0.01 to 1.00 mg/L	
Silica	3 µg/L to 100 mg/L	
Silver	0.005 to 0.700 mg/L	
Sulfate	2 to 900 mg/L	•
Sulfide	5 to 800 µg/L	
Surfactants, Anionic (Detergents)	0.002 to 0.275 mg/L	
Suspended Solids	5 to 750 mg/L	
Tannin and Lignin	0.1 to 9.0 mg/L	
TOC (Total Organic Carbon)	0.3 to 700 mg/L	
Tolytriazole	1.0 to 20.0 mg/L	
Toxicity	0 to 100% Inhibition	
TTHM (Trihalomethanes, Total)	10 to 600 µg/L	
TPH (Total Petroleum Hydrocarbons)	2 to 200 ppm, threshold	
Volatile Acids	27 to 2800 mg/L 102	•
Zinc	0.01 to 3.00 mg/L	

OxiTop BOD (1 komad)

1 kom = 5.000,00 kn



Opis instrumenta:

OxiTop IS 6, IS 12

Mjerenje pomoću OxiTop® biološke potrebe za kisikom (BOD) Instrumentacija se temelji na mjerenu tlaka u zatvorenom sustavu: mikroorganizmi u uzorku troše kisik i stvaraju CO₂. To se apsorbira od strane NaOH, stvarajući vakuum koji se može očitati izravno kao izmjerena vrijednost u mg/l BPK.

Volumen uzorka koji se ispituje regulira količinu kisika koja je dostupna za potpuno BPK mjerjenje. Mjerni rasponi BPK do 4000 mg/l mogu se mjeriti korištenjem različitih volumena uzoraka.

OxiTop® BOD instrumentacijske glave (zelena i žuta za razlikovanje ulaza/odljeva) imaju funkciju AutoTemp: ako je temperatura uzorka previše hladna, početak mjerjenja BOD automatski se odgađa (najmanje 1 sat) dok se ne postigne konstantna dosegnuta temperatura.

Osim automatskog pohranjivanja 5 izmjernih vrijednosti (1 vrijednost po danu), daljnje izmjerene BPK vrijednosti mogu se očitati u svakom trenutku tijekom ili nakon razdoblja od 5 dana, što omogućuje praćenje kontrolnih vrijednosti ili mjerena tijekom dužih razdoblja. Mjerni sustav OxiTop BOD Instrumentation također nudi jednostavan rad, poboljšanu upravljivost i netoksičnost.

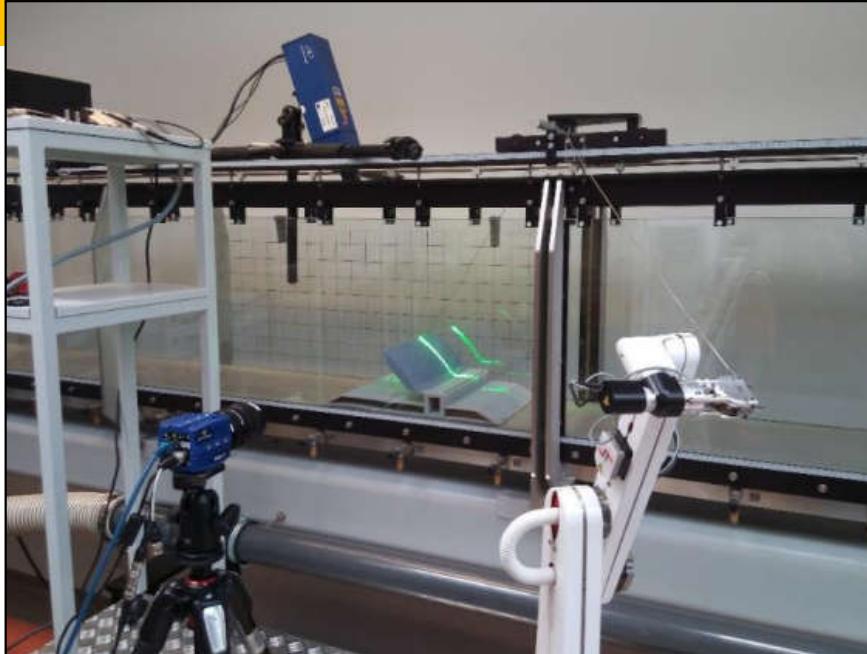
Digitalna kamera u sklopu PIV tehnologije (1 komad)





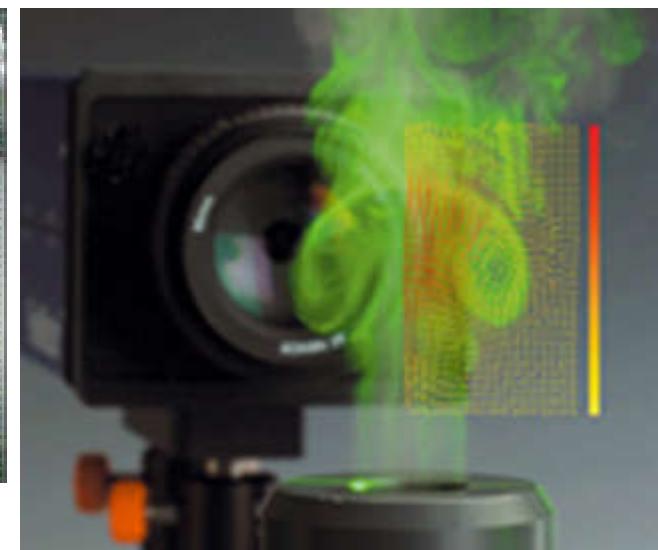
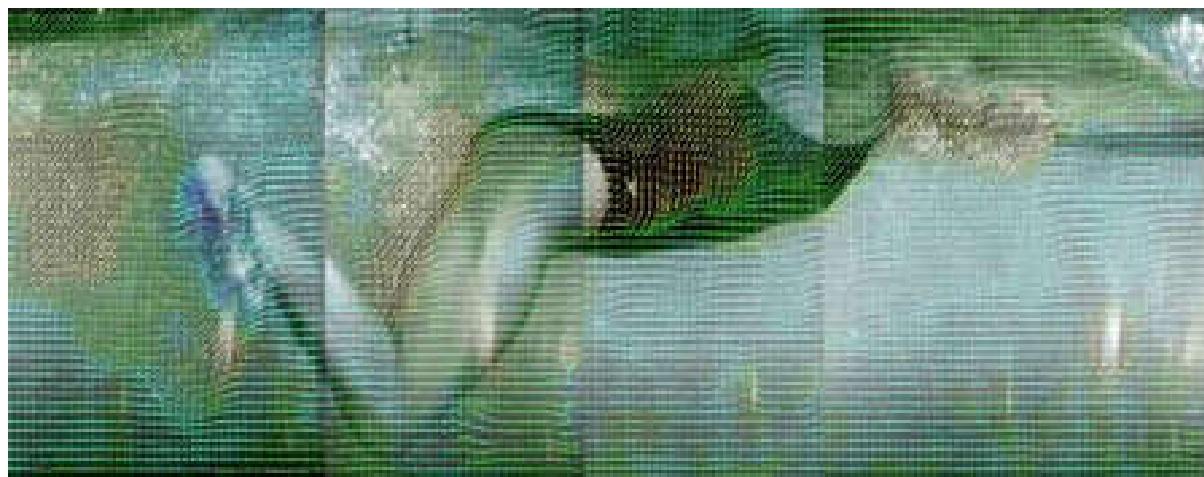
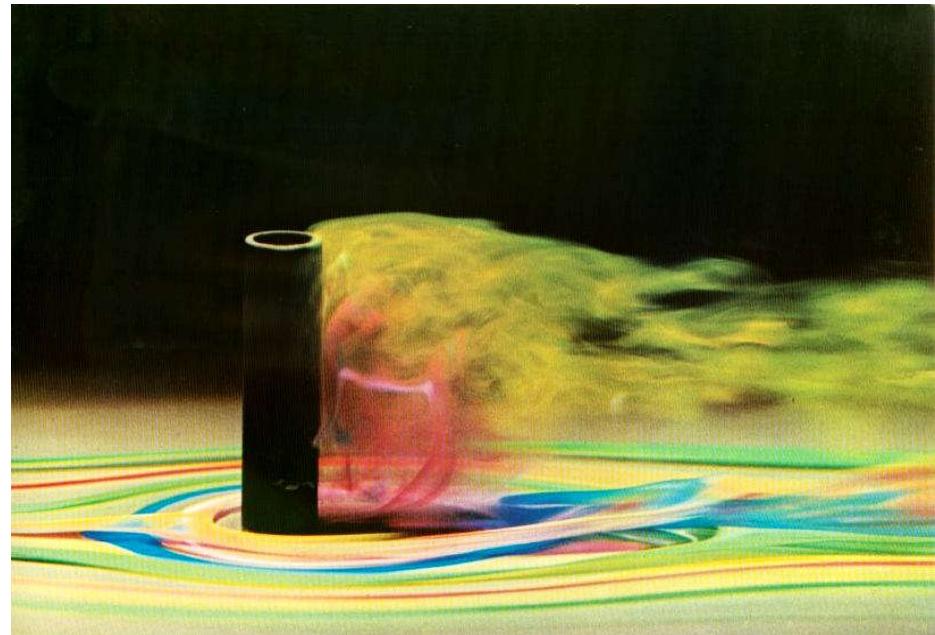
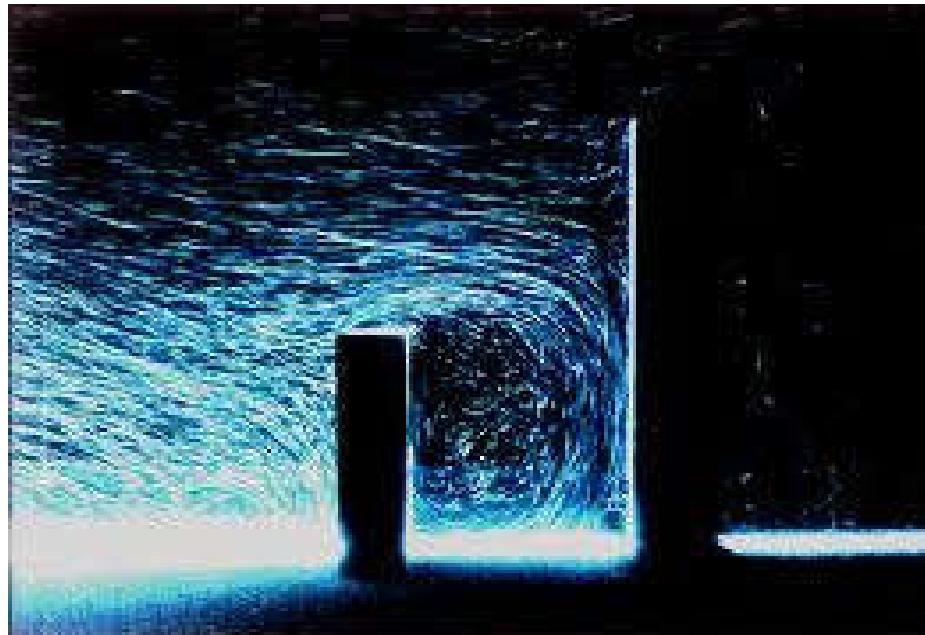
- Optički sistem za vizualizaciju toka fluida
- Sistem se sastoji od izvora koherentnog svjetla (laser) kojim se osvjetljavaju silikonske čestice suspendirane u fluidu i kamere kojom se prati kretanje istih. Programski paket omogućava izračun brzina i smjera kretanja, te prikaz na ekranu.
- Komplet izvor svjetla, kamera, nosači, sa pripadajućim programskim paketom za prikaz rezultata na računalu
- Napomena: za vizualizaciju toka koristi se silikonska suspenzija H41-4
- SET SA PODVODNIM IZVOROM

PIV tehnologija

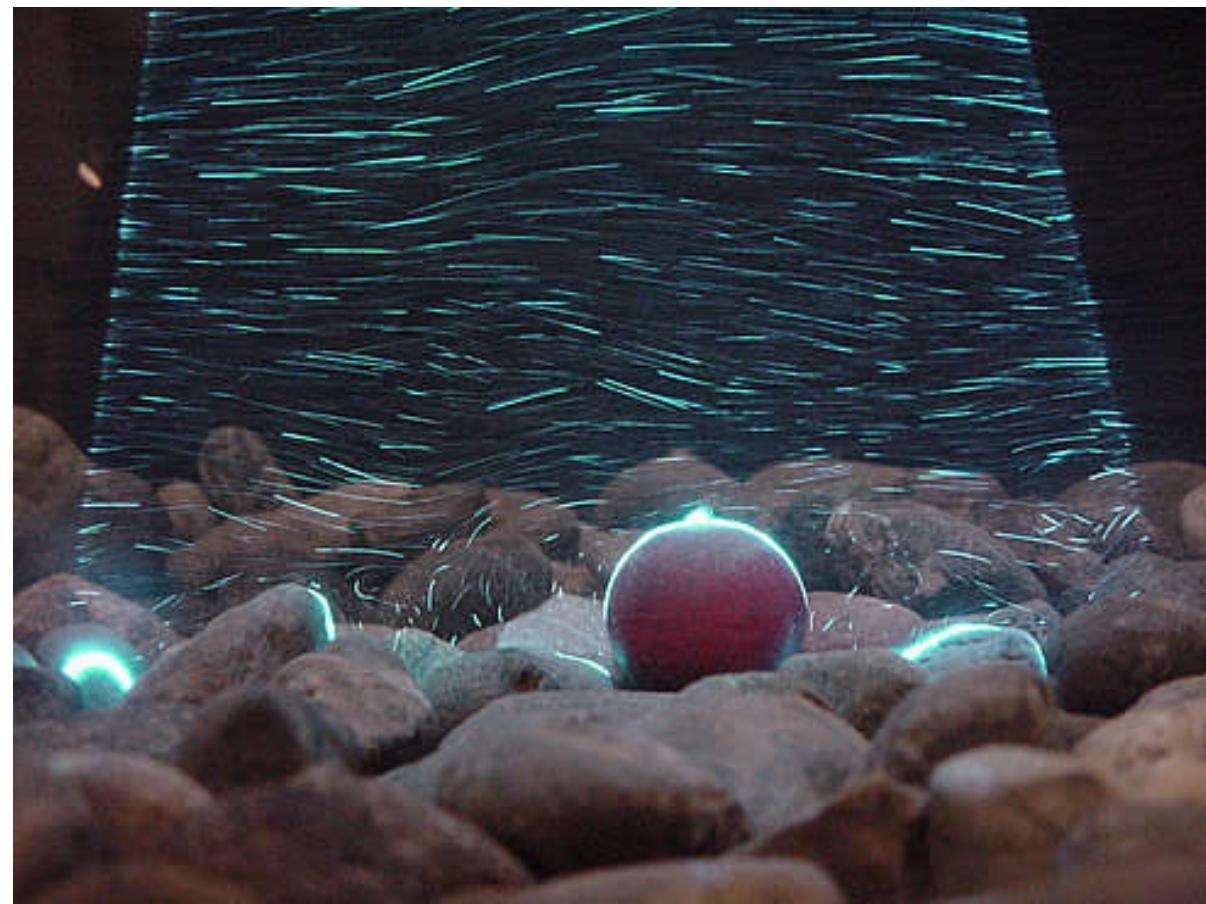


Kratki opis opreme:	<p>Sklop sinkronizirane brze kamere i lasera omogućuje rekonstrukciju polja brzine u ravnini. Oprema nudi mogućnost rekonstrukcije polja brzine i svih relevantnih kinematickih parametara toka u istoj ravnini (vrtložnost, cirkulacija, intenzitet turbulentacije,...)</p>
Namjena opreme:	<p>Namijenjen snimanju čestica otopljenih u vodi pomoći lasera i vremenski sinhronizirane kamere te vizualizaciji toka fluida..</p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• Kamera: ImagerLX• Laser: Shuttered CW Laser• Jedinica za sinhronizaciju: PTU 9 (Programmable Timing Unit)• Optika: Sheet Optics (divergent)• Software: FlowMaster
Dodatne informacije:	<p>http://www.lavision.de/en/techniques/piv-ptv/</p>

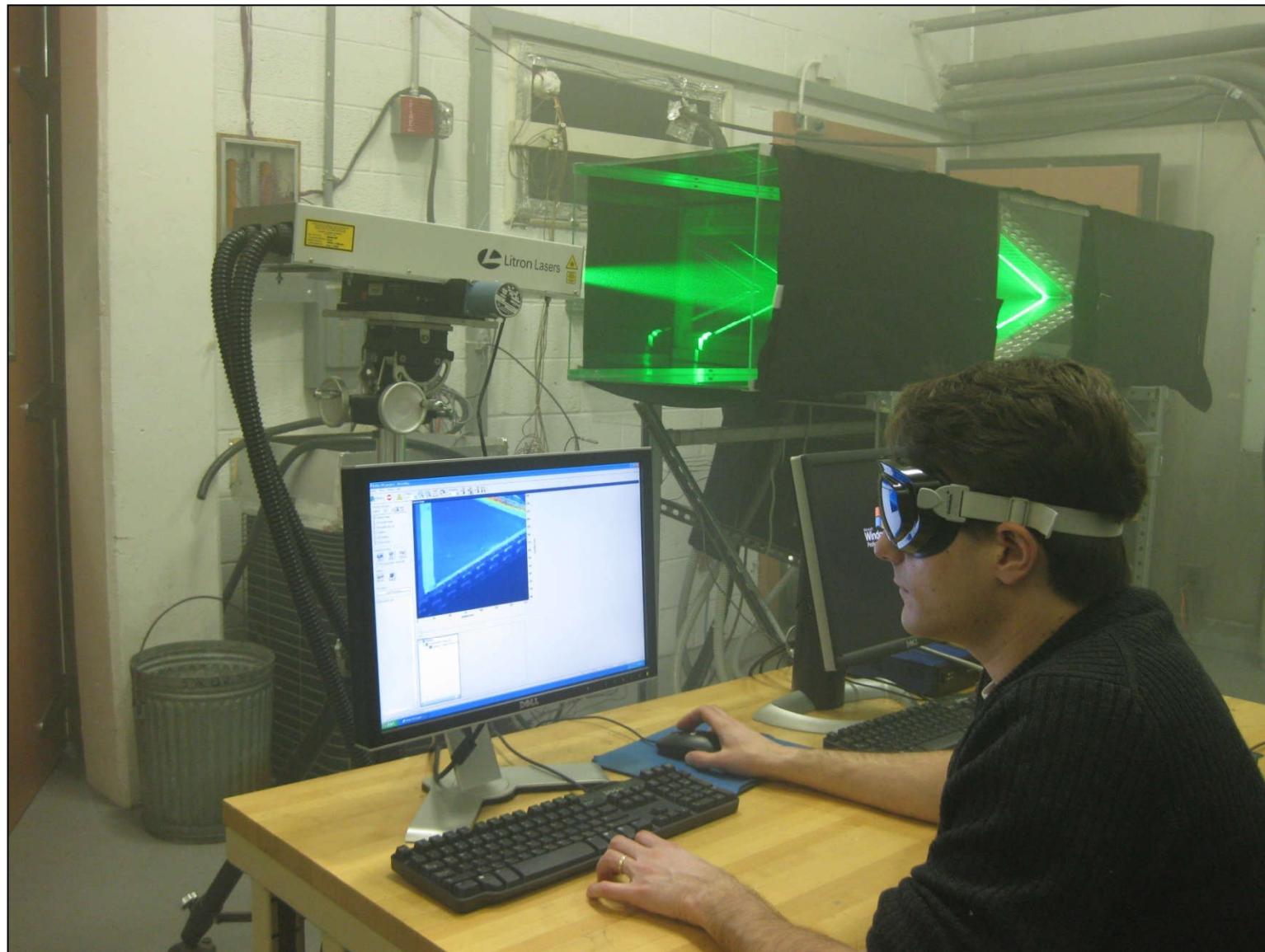
Primjer PIV tehnologije (eng. Particle image velocimetry)



Laser i optika (1 komad)



Laser i optika - OPASKA



3D printer

1 kom = 250,000.00 kn



Kratki opis opreme:	<ul style="list-style-type: none">• 3D printer Stratasys Connex 500• Stolno računalo Lenovo ThinkCentre• LCD zaslon LG 22M45, 2 komada• UPS Riello Sentinel Pro• Uređej za čišćenje 3D modela vodom pod visokim tlakom – Krumm
Namjena opreme:	3D printanje fizikalnih modela
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• Radna površina 500 x 400 x 200mm• PolyJet tehnologija• Mogućnost printanja više različitih materijala, 14 kombinacija materijala unutar jednog modela• Razlučivost 600 dpi po XY, debljina sloja 0.016 mm do 0.03 mm
Dodatne informacije:	https://www.cati.com/3d-printing/objet-connex-printers/connex-500/
Godina proizvodnje:	2014.

Uredaj za mjerjenje koeficijenta molekularne difuzije



Kratki opis opreme:	<i>Uredaj se koristi u svrhu mjerjenja koeficijenta molekularne difuzije tvari u plinovima ili tekućinama.</i>
Namjena opreme:	<i>Oprema se koristi u svrhu kvantificiranja koeficijenta molekularne difuzije u kontinuiranoj fazi fluida (plina ili tekućine).</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Spremnik sa miješalicom: 1500 mL</i><i>Brzina miješalice: 0-1500 min⁻¹</i><i>253 kapilare od nehrđajućeg čelika</i><i>Promjer: 1 mm, duljina: 5 mm</i><i>Mjerni rasponi: 0-100 °C</i><i>Vodljivost: 0-200 mS/cm</i>

Dodatna oprema za ispitivanja na
fizikalnim modelima

USB pumpa (4 komad)

1 kom = 800,00 kn



Dimenzije (LxHxW) : 112 x 72 x 52 mm

Težina: približno 485 g

LPH : 300 - 500 Lph ovisna o frekvenciji

Maks. Visina dizanja: 1.2 - 4.2 m ovisna o frekvenciji

Napon: 12 V Molex

Struja: 4.5 – 8 W ovisna o frekvenciji

Aqua Computer Aquastream XT USB Eheim 12 Voltna pumpa za hlađenje tekućine izrađena je u listopadu 2007. godine i ima značajno povećanje raspona funkcionalnosti u odnosu na prethodni model. Crpka može komunicirati s vašim računalom pomoću internog USB kabela i softvera Aquasuite (može se preuzeti putem interneta). Crpku se lako može nadzirati i kontrolirati putem vašeg računala pomoću softverskog paketa. Crpka izvještava o temperaturama iz termalne sonde, pa čak i prati mjerač protoka (sonda i mjerač nisu uključeni).

Među novim značajkama je to da Aquastream XT USB izvještava o rotaciji crpke i automatski određuje maksimalnu frekvenciju tako da je zajamčen pouzdan rad pri maksimalnom kapacitetu crpljenja. Svi elektronički sklopovi integrirani su u stražnji dio pumpe, uključujući napajanje, USB, ventilator, temperaturu, konektori sonde i mjerača protoka.

Prenosive pumpe (2 komada)



Kratki opis opreme:	<p>Pumpa s bezkontaktnim mjeračem protoka i sučeljem s više parametara koji omogućuje definiranje dinamike rada pumpe. Svi se parametri rada pumpe kontroliraju putem računala.</p>
Namjena opreme:	<p>Pumpa se koristi u svrhu ostvarivanja cirkulacije vode u eksperimentima koji se provode u hidrotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta.</p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">Raspon protoka 9-21 m³/hUpravljanje pumpom i očitavanje podataka putem računalaInkrement izmjene protoka 0.1 l/min

CTD-Diver 50 m (10 komada)



Kratki opis opreme:	<p>Mjerna sonda ima mogućnost kontinuiranog mjerjenja i digitalnog zapisa tlaka, temperature i provodljivosti. Kućište je hermetički zatvoreno i izrađeno od nehrđajućeg čelika. Mjerni opseg tlaka 50 m H₂O s preciznosti od +/- 2.5 cm H₂O i rezolucijom od 1 cm H₂O.</p>
Namjena opreme:	<p>Mjerjenje tlaka, temperature i električne provodljivosti.</p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">Dijametar: 22 mmDuljina: 135 mmKlasa zaštite: IP68, 10 godina na dubini od 100 mKapacitet memorije: 48.000 mjerjenjaBrzina uzorkovanja 1s do 99hMjerjenje električne provodljivosti: od 10 µS/cm – 120 mS/cmPreciznost: 1% pri očitanju pri minimum 10 µS/cmRadna dubina: 50 m

Tlačna sonda opsega tlaka 50 m H₂O (10 komada)



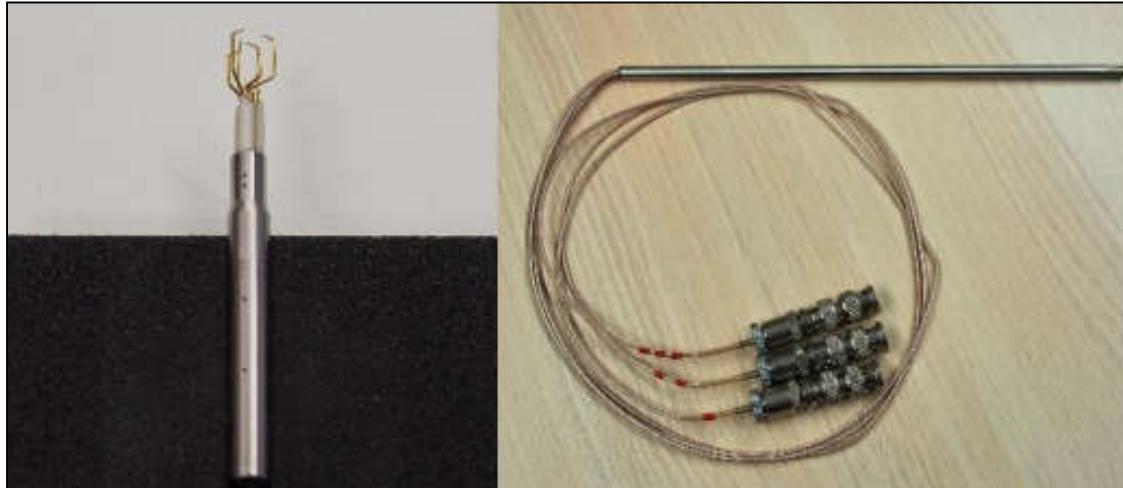
Kratki opis opreme:	<p>Mjerna sonda ima mogućnost kontinuiranog mjerena i digitalnog zapisa tlaka i temperature. Kućište je hermetički zatvoreno i izrađeno od nehrđajućeg čelika.</p> <p>Mjerni opseg tlaka 50 m H₂O s preciznosti od +/- 2.5 cm H₂O i rezolucijom od 1.0 cm H₂O.</p>
Namjena opreme:	<p>Mjerenje tlaka i temperature.</p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">Dijametar: 22 mmDuljina: 90 mmKlasa zaštite: IP68, 10 godina na dubini od 100 mTočnost: ± 0.25% FSRezolucija: 1cm H₂OBrzina uzorkovanja 0.5 s do 99 hRadna dubina: 50 m

Komunikacijska jedinica za Divere (5 komada)



Kratki opis opreme:	<i>Mogućnost povezivanja Divera s računalom u svrhu očitanja prikupljenih podataka i programiranja tlačnih sondi.</i>
Namjena opreme:	<i>Povezivanje Divera s računalom.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• USB spoj s računalom• DDC optički kabel

Anemometar s užarenom žicom



Kratki opis opreme:	<i>Troosni anemometar s užarenom žicom. Pogodan za analiziranje karakteristika turbulentnog strujanja zraka.</i>
Namjena opreme:	<i>Mjerenje oktogonalnih komponenti brzine zraka u ispitnoj komori zračnog tunela.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Minimalna magnituda vektora brzine zraka: 0.5 m/s</i><i>Maksimalna magnituda vektora brzine zraka: 100 m/s</i><i>Maksimalna frekvencija uzorkovanja: 175 kHz</i>

MPS-6 Calibrated water potential sensor (20 komada)



Kratki opis opreme:	<i>Mjerni pretvornik za mjerjenje temperature i potencijala vode u tlu.</i>
Namjena opreme:	<i>Mjerjenje temperature i potencijala vode u tlu u laboratorijskom okruženju ili in situ.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Točnost: $\pm (10\% + 2 \text{ kPa})$ od -9 do -100 kPa</i><i>Razlučivost: Potencijal - 0.1 kPa, Temperatura - 0.1 °C</i><i>Raspon: Potencijal - -6 do -100.000 kPa, Temperatura - -40°C do 60°C</i><i>Vrijeme uzorkovanja: 150 ms</i>

5TM Soil Moisture & Temperature Sensor (10 komada)



Kratki opis opreme:	<i>Mjerni pretvornik za mjerjenje temperature i vlažnosti tla.</i>
Namjena opreme:	<i>Mjerjenje temperature i vlažnosti tla u laboratorijskom okruženju ili in-situ.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Točnost: Apparent Dielectric Permittivity (ϵ_a): $\pm 1 \text{ } \epsilon_a$ od 1 - 40 ; $\pm 15\%$ od 40 – 80, Temperatura $\pm 1^\circ C$</i><i>Razlučivost: Potencijal – 0.1 kPa, Temperatura $\pm 0.1^\circ C$</i><i>Raspon: ϵ_a: 1 (zrak) do 80 (voda), Temperatura - -40°C do 60°C</i><i>Vrijeme uzorkovanja: 150 ms</i>

Vectrino Profiler



Kratki opis opreme:	<i>Mjerni pretvornik se koristi u svrhu mjerena profila brzina u vodenom stupcu dužine od 0.5 m do 3 cm. Mjerenjem se definiraju komponente vektora brzine.</i>
Namjena opreme:	<i>Mjerni pretvornik se može koristiti u laboratorijskom okruženje, ali i in-situ.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Raspon brzine: inkrement od 0.1 m/s do maksimalnih 3.0 m/s</i><i>Adaptivni ping interval: jednom u sekundi do 1/h</i><i>Točnost: ± 1 % mjerene vrijednosti ± 1 mm/s</i><i>Vrijeme uzorkovanja: 1-100 Hz</i><i>Minimalni / maksimalni domet: 20 mm do 2 m</i><i>Ugrađen temperaturni senzor raspona od -4 °C do 32 °C</i><i>Rezolucija termo senzora: 1 °C / 0.1 °C</i>

Vectrino (4 komada)



Kratki opis opreme:	<i>Mjerni pretvornik se koristi u svrhu definiranja vektora brzine. Mjerni pretvornik radi na bazi ultrazvučne tehnologije te time značajno umanjuje interakciju s mjerenim poljem.</i>
Namjena opreme:	<i>Mjerni pretvornik se može koristiti u laboratorijskom okruženje, ali i in-situ.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Raspon brzine: inkrement od 0.1 m/s do maksimalnih 3.0 m/s</i><i>Adaptivni ping interval: jednom u sekundi do 1/h</i><i>Točnost: $\pm 1\%$ mjerene vrijednosti $\pm 1 \text{ mm/s}$</i><i>Vrijeme uzorkovanja: 1-100 Hz</i>

Aquadopp Profiler – ADCP 2MHz – terenska oprema



Kratki opis opreme:	<i>ADCP omogućuje mjerena karakteristika morskih struja.</i>
Namjena opreme:	<i>Namijenjen oceanografiju u plitkim vodama, <100 m. Koristi se za monitoring lučica, istraživanje u rijekama, jezerima i kanalima.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Radna frekvencija: 2.0 MHz</i><i>Raspon snimanja profila: 4-10 m</i><i>Broj zraka: 3</i><i>Maksimalna brzina uzorkovanja 1 Hz</i><i>Senzori: temperaturni -4 °C do 30 °C, magnetometar (kompass), manometar 0-100 m</i>

AWAC – 1 MHz (2 komada) – terenska oprema



Kratki opis opreme:	<i>Acoustic Waves and Currents (AWAC) se koristi u svrhu dugotrajnijih mjerjenja karakteristike morskih struja i valova na dubinama do 10 m.</i>
Namjena opreme:	<i>Oprema je namijenjena za in-situ ispitivanja morskih struja i valova.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• Radna frekvencija: 1MHz• Raspon snimanja profila: 4-10 m• Broj zraka: 4• Načina rada: samostalno ili „online monitoring“• Snimanje vodene struje: do 30 m• Snimanje valova: maksimalna dubina 35 m (1 MHz)

StreamPro ADCP – Compass, terenska oprema



Kratki opis opreme:	<i>ADCP je namijenjen za površinsko snimanje karakteristika toka u rijekama i kanalima.</i>
Namjena opreme:	<i>Uredaj se koristi u svrhu definiranja kinematičkih i geometrijskih veličina toka u rijekama i kanalima manjih dubina.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Frekvencija: 2 MHz</i><i>Mjerenje brzine vode do 3 m/s</i><i>Točnost: +/- 1%</i><i>Rezolucija: 0.5 cm/s</i><i>Maksimalni broj ćelija po dubini: 128</i><i>Veličina mjerne ćelije: od 7 do 150 mm</i>

5/6 osna robotska ruka



Kratki opis opreme:	<p>Robotska ruka raspolaže s 6 stupnjeva slobode te se može programirati putem računala. Putem preciznog i brzog odziva, moguće je programirati radnje vezane za specifično kontroliranja dinamike upravljanja fizikalnih modela zapornica i pregrada.</p>
Namjena opreme:	<p>Služi za izvođenje ponovljivih, preciznih, unaprijed programiranih kretnji.</p>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• Robotska ruka R12• Doseg: 500 mm• Nosivost: nominalno 500 g, maksimalno 1 Kg• Električna hvataljka: 12.5 mm, 6.25 po prstu (2 prsta)• Sila zahvata: 20 N• Brzina stiskanja: 500 mS ili sporije
Dodatne informacije:	<p>https://www.strobotics.com/</p>

High Speed Video Camera Phantom Miro 3



Kratki opis opreme:	<i>Brza video kamera s dodatnom memorijom.</i>
Namjena opreme:	<i>Koristi se u svrhu snimanja naglih pojava evidentiranih i reproduciranih u laboratorijskom okruženju radi detaljnijeg uvida u dinamiku analiziranog procesa.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none">• <i>Razlučivost: 800 x 600 dpi</i>• <i>Brzina okidanja: 1200 sličica u sekundi pri 800 x 600 dpi razlučivosti</i>• <i>Interna memorija: 2 GB</i>• <i>Podnosi akceleraciju do 100 g</i>• <i>Interna baterija: 30 min</i>• <i>Brzina zatvarača: 2 mikro sekunde</i>

Meteorološka stanica – terenska oprema (5. komada)



Kratki opis opreme:	<i>Unutarnja meteorološka stanica za utvrđivanje hidroloških uvjeta u laboratoriju.</i>
Namjena opreme:	<i>Namijenjena je za kontinuirano praćenje ambijentalnih parametara u prostoru laboratorija.</i>
Tehničke karakteristike:	<ul style="list-style-type: none"><i>Barometar</i><i>UV indeks vanjskog prostora</i><i>Vlažnost i temperatura unutarnjeg i vanjskog prostora</i><i>Brzina vjetra + dodatnih 30 hidroloških i meteoroloških parametara</i>
Dodatne informacije:	https://www.davisnet.com/solution/vantage-pro2/

Oprema za mjerjenje mehaničkih karakteristika fluida



Kratki opis opreme: Uredaj za mjerjenje osnovnih mehaničkih karakteristika fluida.

Namjena opreme: Uredaj se koristi u svrhu definiranja viskoznosti fluida i gustoće fluida.

Tehničke karakteristike:

- Dva hidrometra od 50 mm visine 450 mm
- Univerzalni hidrometar s varijabilnom rezolucijom od 0.01 kod 0.7 GS do 0.5 kod 2SG
- Viskozimetar
- Čelične kuglice 1.588. , 2.381 i 3.175 mm
- Barometar
- Kapilarne cjevčice.

Male vodootporne video kamere (10 komada)

1 kom = 230,00 kn



Kratki opis opreme:

Vodootporna video kamera se koristi u laboratorijskom okruženju, ali i in-situ.

Namjena opreme:

Male video kamere se mogu koristiti u svrhu sagledavanja toka u nepristupačnim mjestima u laboratoriju, gdje je izrađen fizikalni model, ali i in-situ.

Tehničke karakteristike:

- * *USB spoj s računalom*
- * *Dužina kabla 10 m*
- * *S bijelim LED osvjetljenjem*
- * *Rezolucija: 640×480 dpi*
- * *Žarišna razdaljina: 4 do 6 cm*

Digitalni LCD invertni mikroskop - ORMA INV-100T FL



Kratki opis opreme:

Invertni fluorescencijski mikroskop sa LCD zaslonom te kamerom za promatranje živih i mrtvih stanica i organizama u „više“ prirodnom okruženju. Uz mikroskop se nalazi i epifluorescentni uređaj sa dodacima koji se koristi za potrebe brojanja živih i mrtvih stanica i organizama. Također za potreban rad sa mikroskopom koristi se razni dodatni pribor za rukovanje kao što su stakalca, ulja, ...

Namjena opreme:

Promatranje i brojanje živih/mrtvih stanica ili organizama u tzv. „više“ prirodnim uvjetima odnosno okruženju.

Tehničke karakteristike:

Povećanje: LWD 40x/400x incr.

Okulari: EWF10x/22 mm

Leće: Planske

Tijelo: trinocularno

Optički sustav: UIS

Iluminacija: Halogena

Potrebno napajanje: 220-240 V / 50 Hz

Spektrofotometar - Hach DR 3900



Tehničke karakteristike:

Način rada: Prijenos (%), apsorpcija i koncentracija

Izvor svjetlosti: Halogena svjetiljka

Raspon valnih duljina: 320 - 1100 nm

Preciznost valne duljine: $\pm 1.5 \text{ nm}$

Mogućnost reprodukcije v.d.: $\pm 0.1 \text{ nm}$

Rezolucija valne duljine: 1 nm

Kalibracija v.d.: Automatska

Odabir v.d.: Automatski, na temelju odabira metode

Kratki opis opreme:

Spektrofotometar za mjerjenje parametara kakvoće vode koji radi na principu promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju u intervalima duž valnih duljina vidljivog dijela spektra. Uredaj dolazi sa kabelom za napajanje. Razni dodatni pribor za rukovanje (kivetni testovi, reagensi, pipete, filteri).

Namjena opreme:

Analiza pitke, otpadne vode i „ostale“ vode uz prethodnu pripremu uzorka. Napomena: za mjerjenje parametara kakvoće vode potrebni su gotovi kivetni testovi ili testovi koje je potrebno „sam“ pripremiti sa potrebnim reagensima.

Inkubator - HACH Lovibond



Kratki opis opreme:

Inkubator za skladištenje uzoraka i testova pri analizi vode (npr. provođenje BPK₅ testa).

Namjena opreme:

Skladištenje uzoraka i testova pri analizi vode (npr. provođenje BPK₅ testa).

Tehničke karakteristike:

Podešavanje temperature 2-40 °C po inkrementu 0.1 °C

Jedinica za grijanje i hlađenje

Potrebno napajanje: 220-240 V / 50 Hz

Digitalni uređaj za mjerjenje konduktivnosti - GMH 3430



Kratki opis opreme:

Uredaj za mjerjenje konduktivnosti, ukupne suspendirane tvari, saliniteta te temperature vode.

Namjena opreme:

Uredaj za mjerjenje konduktivnosti, ukupne suspendirane tvari, saliniteta te temperature vode.

Tehničke karakteristike:

*Mjerenja: Konduktivnost: 0.0-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$,
0-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$*

TDS: 0-1999 mg/l

Salinitet: 0.0-70.0

Temperatura: -5.0-100.0 $^{\circ}\text{C}$

Radna temperatura: 0-50 $^{\circ}\text{C}$

Napajanje: 9 V baterije tipa IEC6F22

HIDRAULIKA – LABORATORIJSKI RAD:

Prezentacija hidrotehničkog laboratorija za potrebe istraživanja i rada u nastavi

Project title: Winter school

Acronym: SWARM

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

Work package	Title
6	Dissemination & exploitation
Activity	Title
6.5	Winter/summer schools

Dates	15.11.2021. – 26.11.2021.
City	Rijeka
Meeting venue	University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering (UNIRIFCE) – ONLINE (MS Teams)
Address	Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Croatia



swarm

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



HIDRAULIKA – LABORATORIJSKI RAD: Primjena fizikalnog modeliranja u Mehanici fluida

Elvis Žic

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet

Zimska škola, 15.-26.11.2021.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Niš



www.swarm.ni.ac.rs

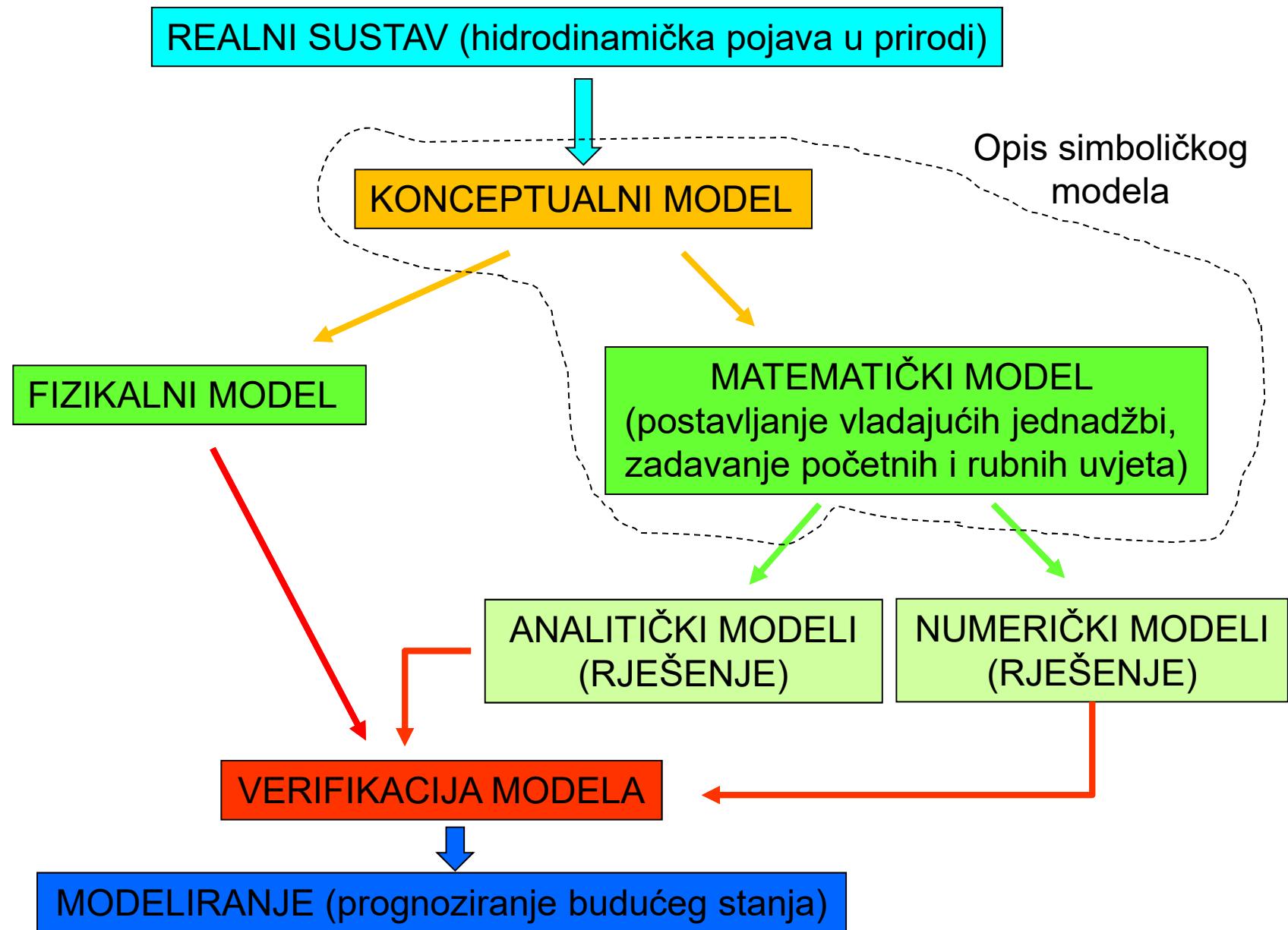
Strengthening of master curricula in water resources
management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP



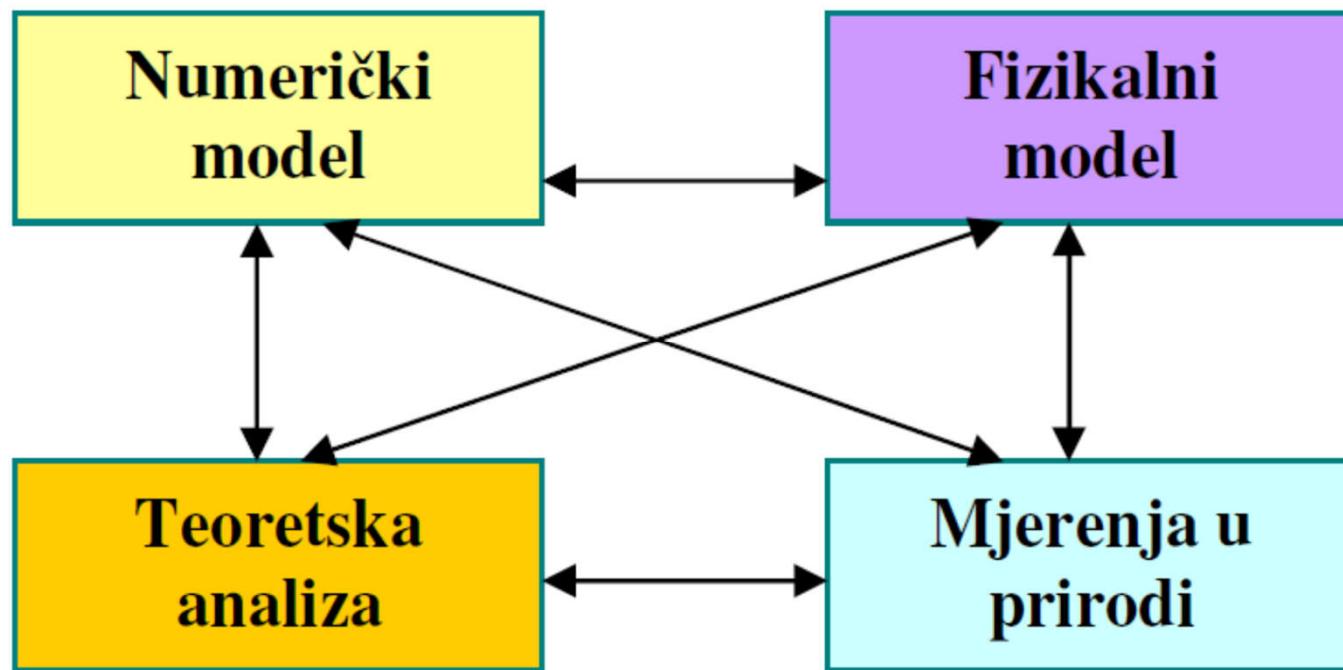
Sadržaj prezentacije:

- 1. POJAM „MODEL” I „FIZIKALNO MODELIRANJE”**
- 2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA**
- 3. UVJETI SLIČNOSTI KOD FIZIKALNOG MODELIRANJA**
- 4. FROUDEOV ZAKON SLIČNOSTI**
- 5. REYNOLDSOV ZAKON SLIČNOSTI**
- 6. PRIMJERI**

1. POJAM „MODEL”



1. POJAM „MODEL”



Prijedlog metodološkog pristupa istraživanju (HYDROLAB, 2004.)

1. POJAM „MODEL”

	Prednosti	Nedostaci
Mjerenje u naravi	Obuhvaća realne procese - stvarna struktura procesa; zbirni efekt svih postojećih utjecaja; doprinosi razvoju novih tehnologija	Teško ostvarivo generaliziranje, visoki troškovi; smanjena točnost, nemogućnost ponavljanja mjerenja pod istim uvjetima (slaba ponovljivost)
Mjerenja u laboratorijima - Hidraulički fizikalni modeli	Kontrolirani uvjeti; ponovljivost; mogućnost opažanja i vizualizacije, moguće predviđanje budućeg stanja	Moguća netočnost zbog efekta mjerila i efekta modela; upitna reprezentativnost
Analitički modeli	Relativno jednostavna rješenja vladajućih jednadžbi za pojednostavljene uvjete. U ostalim slučajevima služe za grubu ocjenu stanja.	Visoki stupanj idealizacije, zanemarivanje niza utjecaja
Numerički modeli	Mogućnost dobrog opisivanja hidrauličkih i drugih procesa. Potrebno baždarenje modela i iskustvo modelatora.	Usvojen cijeli niz aproksimacija; izuzeće manje važnih procesa prisutnih u prirodi; eksplicitne parametarske vrijednosti

***Prednosti i nedostaci pojedinog izdvojenog pristupa istraživanju
(prema HYDROLAB, 2004.)***

1. POJAM „FIZIKALNO MODELIRANJE”

Fizikalno modeliranje je postupak izrade fizikalnih modela i reproduciranja (u pogodnom mjerilu) hidrauličkih pojava u laboratoriju.

Fizikalni model je izgrađena fizička cjelina na kojoj se zbog geometrijske, kinematske i dinamičke sličnosti sa oponašanim prototipom (prirodom) mogu izvršiti mjerjenja i analize, a dobiveni rezultati se mogu ekstrapolirati na prototip. Kako bi se ostvarila željena mehanička sličnost procesa na modelu i u prirodi-prototipu, model se izrađuje u određenim mjerilima uz zadovoljenje uvjeta sličnosti.

Za praksu je preporučljivo (i uobičajeno) da se **svi veći hidrotehnički objekti**, zbog kompleksnosti (a time vrlo često i nemogućnosti potpune teorijske interpretacije) hidrauličkih pojava koje se na njima odvijaju, **ispituju (istražuju) na fizikalnim modelima.**

Proučavanje hidrauličkih pojava na fizikalnim modelima **omogućuje unošenje popravki u teorijske formule, te ustanovljenje empirijske zavisnosti** između pojedinih parametara promatrane pojave.

1. POJAM „FIZIKALNO MODELIRANJE”

MAKETE GRADOVA – JESU LI TO FIZIKALNI MODELI?



Fizikalni model određivanja utjecaja vjetra na visoke poslovne i stambene objekte (San Antonio, Texas)

DIMENZIONALNA ANALIZA I FIZIKALNO MODELIRANJE

Dimenzionalna analiza i teorija sličnosti su znanstveni temelj eksperimentalnom istraživanju složenih fizikalnih pojava kako u mehanici fluida, tako i u ostalim područjima fizike.

Primjenom dimenzionalne analize **minimizira se potrebni broj mjerena za istraživanje neke pojave, a olakšavaju se prikaz i tumačenje rezultata mjerena**.

Teorija sličnosti daje podlogu za primjenu modelskih istraživanja.

Fizikalne jednadžbe su univerzalne ili veličinske jednadžbe što znači da su u njima varijable fizikalne veličine. One su dimenzionalno homogene i neovisne o sustavu mjernih jedinica.

Međunarodni SI sustav jedinica je koherentni sustav u kojem su za područje mehanike fluida dovoljne četiri osnovne fizikalne veličine.

Veličina	Dimenzija	Jedinica u SI sustavu	
duljina	L	m	
vrijeme	T	s	
masa	M	kg	
temperatura	Θ	K	

Dimenziranje u kinematici fluida
Dinamika nestlačivog strujanja
Dinamika stlačivog strujanja

Osnovne fizikalne veličine u mehanici fluida

DIMENZIONALNA ANALIZA I FIZIKALNO MODELIRANJE

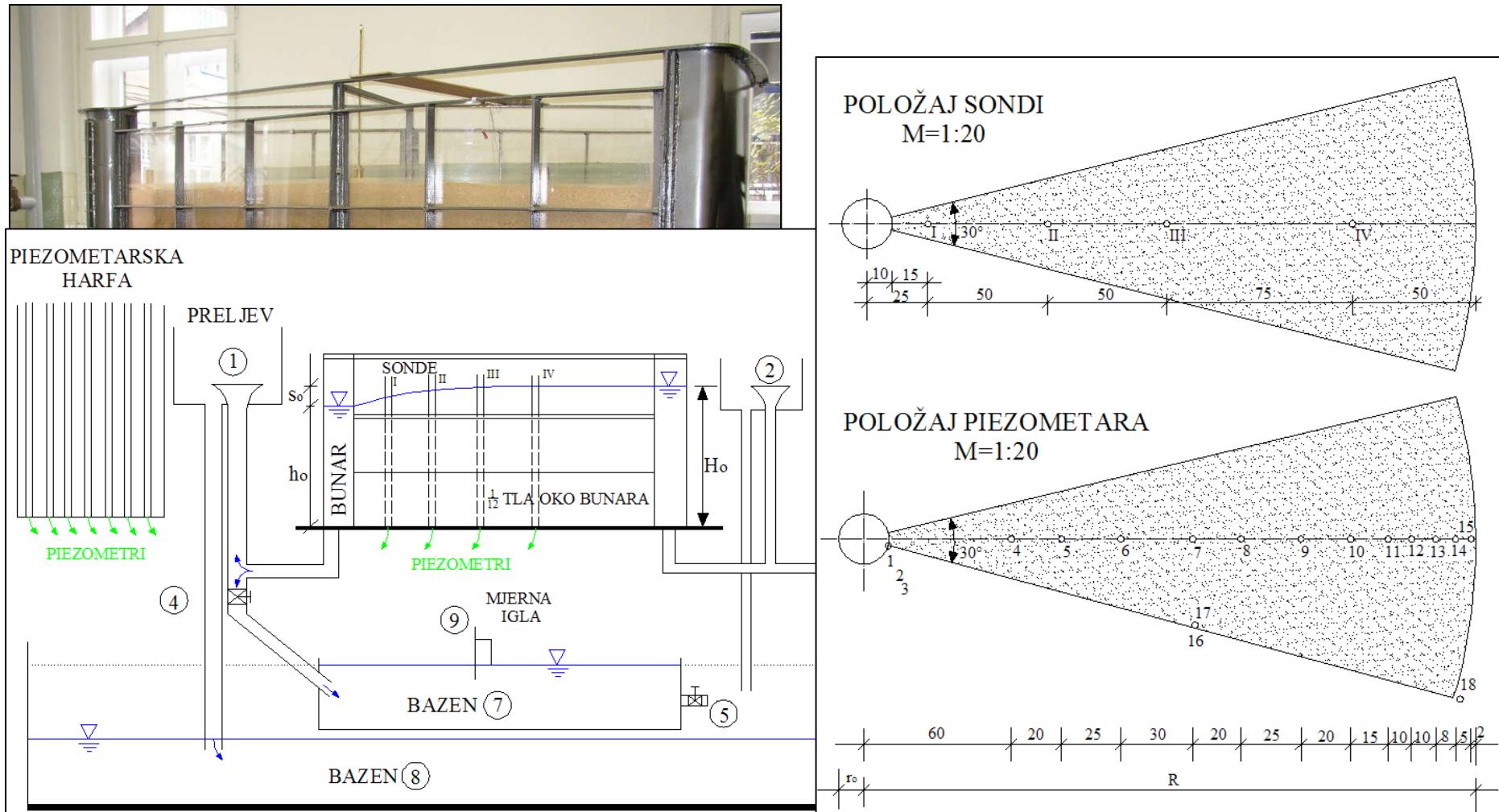
	Fizikalna veličina	Oznaka	Dimenzija	Jedinica u SI sustavu
Dimenzije prikaza	površina	A, S	L^2	m^2
	brzina zvuka	C	LT^{-1}	m/s
[Q]	promjer	D, d	L	m
	sila	F	MLT^{-2}	N
	gravitacija	g	LT^{-2}	m/s^2
[V]	težinski protok	G	MLT^{-3}	N/s
	volumenski modul elastičnosti	K (E)	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
	maseni protok	\dot{m}	MT^{-1}	kg/s
	moment sile	M	ML^2T^{-2}	Nm
	snaga	P	ML^2T^{-3}	W
	tlak	p	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
	volumenski protok	Q	L^3T^{-1}	m^3/s
	plinska konstanta	R	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$J/(kgK)$
	potencijal masene sile	U	L^2T^{-2}	m^2/s^2
	specifična unutrašnja energija	u	L^2T^{-2}	J/kg
	volumen fluida	V	L^3	m^3
	brzina strujanja fluida	v	LT^{-1}	m/s
	rad sile	W	ML^2T^{-2}	J
	geodetska visina	z	L	m
	gustoća fluida	ρ	ML^{-3}	kg/m^3
	koeficijent kinematičke viskoznosti	v	L^2T^{-1}	m^2/s
	koeficijent dinamičke viskoznosti	μ	$ML^{-1}T^{-1}$	$Pas=Ns/m^2$
	brzina vrtnje	ω	T^{-1}	rad/s
	koeficijent trenja	λ	-	-
	naprezanje	τ	$ML^{-1}T^{-2}$	$N/m^2 = Pa$
	kut	α	-	rad
	zračnost	ε	L	m
	koeficijent površinske napetosti	σ	MT^{-2}	N/m

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

(1) **Izrada programa ispitivanja.** Ovim se programom detaljno definira opseg, način i parametri ispitivanja na fizikalnom modelu pojedinih varijantnih rješenja.

Potrebno je definirati:

1. OPIS FIZIKALNOG MODELA (detaljno specificiranje pojedinih elemenata)

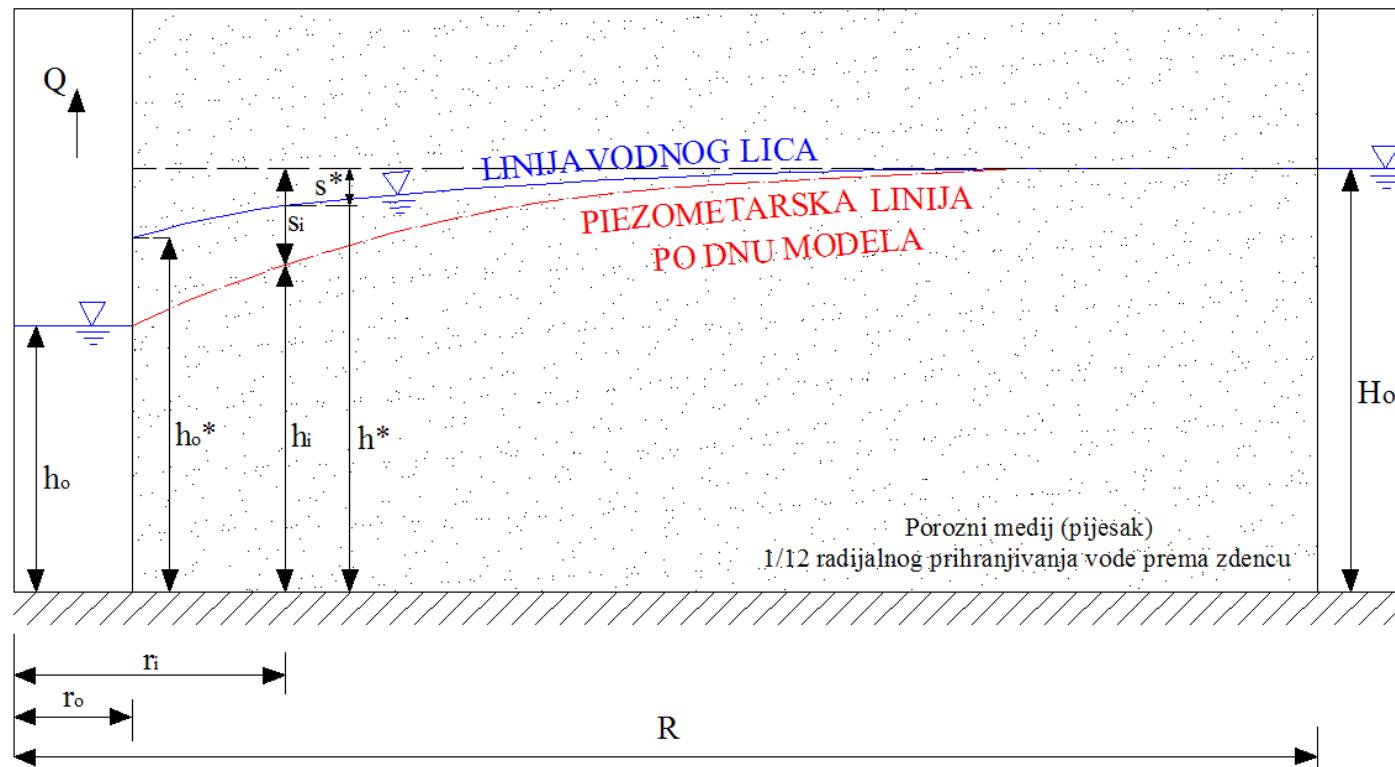


2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

(1) **Izrada programa ispitivanja.** Ovim se programom detaljno definira opseg, način i parametri ispitivanja na fizikalnom modelu pojedinih varijantnih rješenja.

Potrebno je definirati:

2. **SVRHA FIZIKALNOG MODELAA** (u koju svrhu je građen, čemu služi, koje mu je namjena itd.)
3. **ZADATAK MODELAA** (izvođenje ispitivanja na FM, što je potrebno mjeriti)
4. **TOK ISPITIVANJA** (način mjerjenja pojedinih fizikalnih veličina, definiranje pokusa i pojedinih varijanti itd.)



2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

(2) **Izrada projekta fizikalnog modela.** Sastoji se u izradi točnih i detaljnih crteža modela, posebno za mesta na kojima se događaju nagle promjene pravca strujanja i gdje su brzine relativno velike.

Osnovni korak u projektiranju modela je izbor pogodnog mjerila kojim će se postići zahtijevana sličnost između modela i originala. Iz ekonomskih se razloga nastoji ići na što sitnije (manje) modele, tako da je praksa općenito prihvatila slijedeća mjerila modela:

- a) ispitivanje opreme na hidrotehničkim objektima (putem vode, zemljoprinašaja)

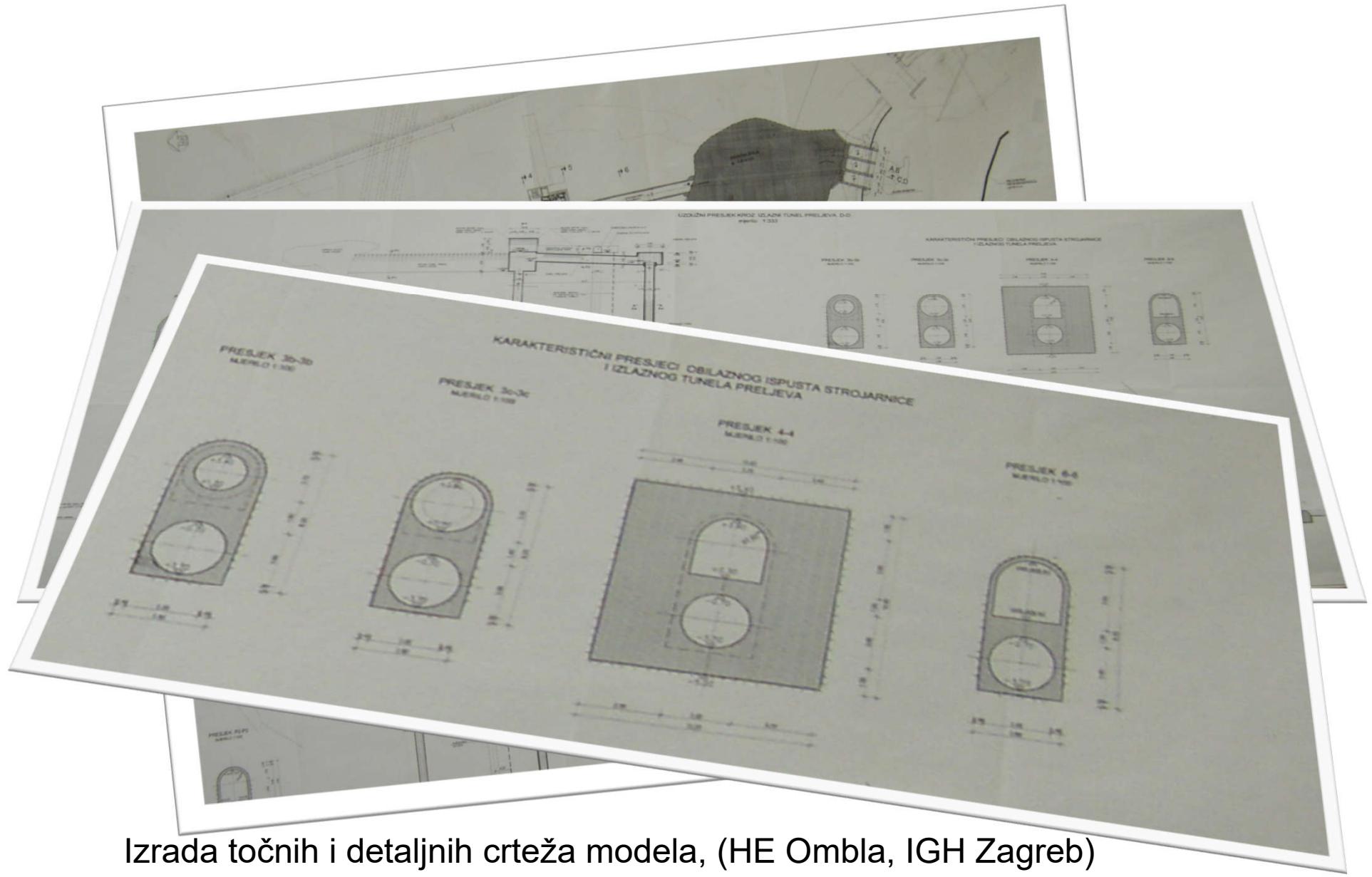


Fizikalni model rijeke Mississippi



Fizikalni model HE Ombla

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



Izrada točnih i detaljnih crteža modela, (HE Ombla, IGH Zagreb)

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

(3) **Izrada fizikalnog modela.** Podrazumijeva izvedbu modela prema projektu (u pogodnom mjerilu) u laboratoriju. **Model mora biti izведен fleksibilno**, u smislu da kasnije omogući eventualno potrebne izmjene bez većih intervencija.

Materijal za izradu modela: cementni mort, beton, opeka, drvo, čelik, (metalni) lim i naročito prozirna plastika (pleksi - staklo).

Jednostavnost izrade bitno utječe na izbor materijala. Radi otkrivanja nedostataka kod izrade modela **često se rade prethodna ispitivanja** i, ako se ukažu nedostaci, provodi njihovo uklanjane, tj, dotjerivanje modela.

U ovu fazu modelskog ispitivanja pripada i **postavljanje odgovarajuće opreme (instrumenata)** kao što su npr. piezometri, razne sonde, podvodne kamere, Vectrino uređaji i sl.



2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

Male vodootporne kamere



USB pumpa



MJERNA
OPREMA



Digitalni osciloskop



Optički sistem za vizualizaciju toka fluida
HSVC - High speed video camera

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

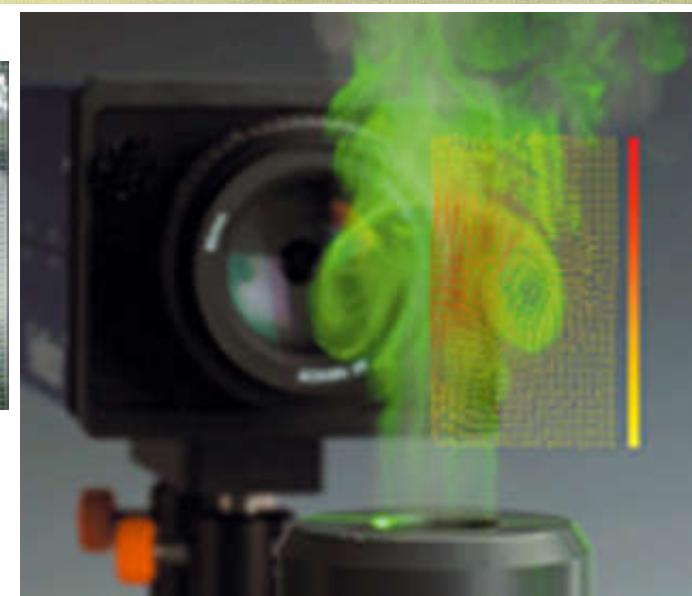
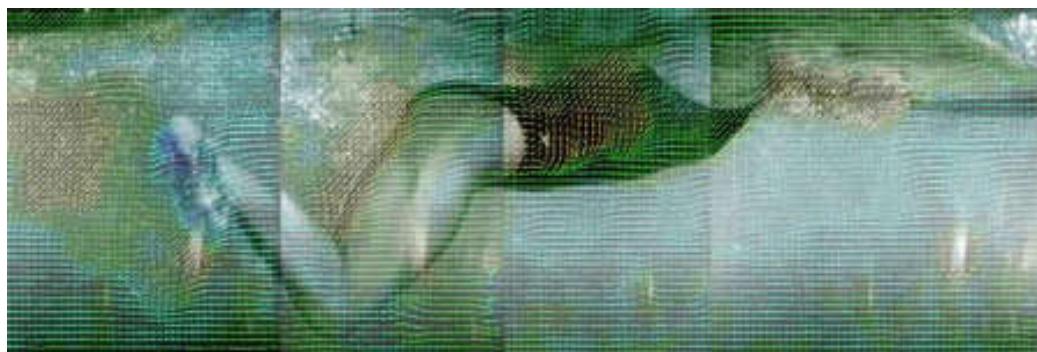
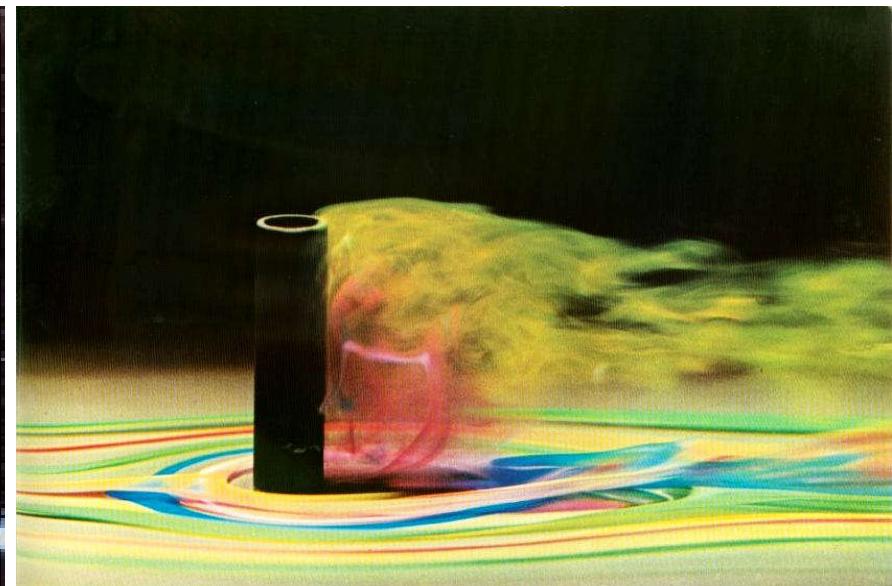
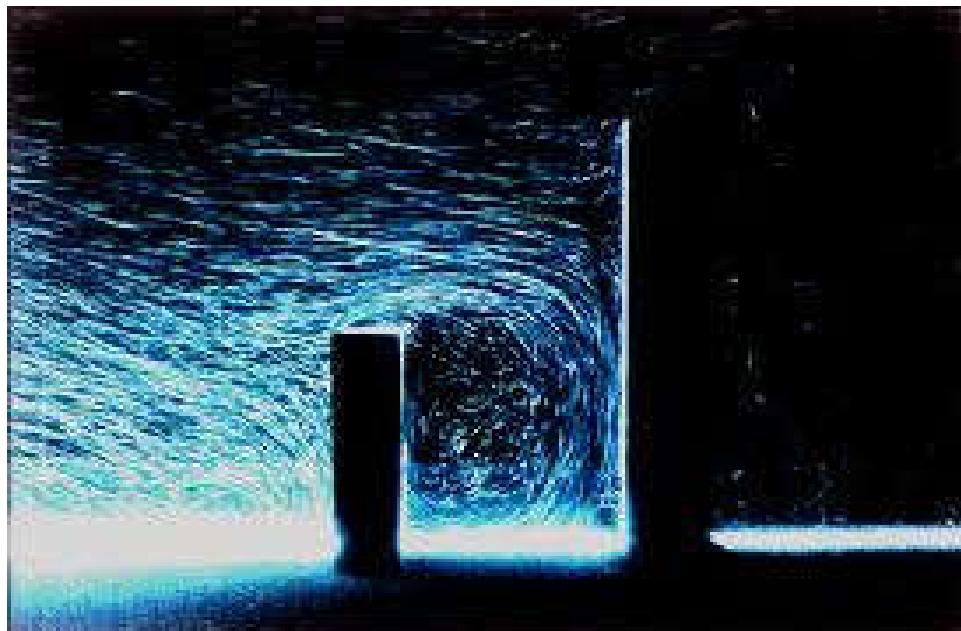
(4) **Provedba modelskih ispitivanja.** Sastoji se u sustavnom probavanju svake varijante predložene programom ispitivanja uz vrlo pedantno motrenje i potpuno i uredno bilježenje rezultata, uključujući i vođenje dnevnika.

Eksperimentator mora biti pažljiv, pronicljiv i imati moć imaginacije, kao i biti u stanju pravilno interpretirati rezultate ispitivanja. Pri tome znatnu pomoć pruža foto i video tehnika, jer potpuna serija fotografija ili video snimak često omogućuju da se izbjegne potreba za ponavljanjem niza ispitivanja.



Digitalna kamera i PIV tehnologija (programski paket omogućava izračun brzina i smjer kretanja fluida)

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



Digitalna kamera i PIV tehnologija
(primjene u praksi)

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

(5) *Interpretacija rezultata.* Tumačenje i prenošenje modelskih rezultata na original predstavlja najkritičniju fazu modelskih ispitivanja, jer neovisno koliko je pažljivo projektiran i izveden, model ne daje rješenje automatski, već pruža informacije koje zahtijevaju intelligentnu interpretaciju baziranu na poznavanju osnova fizike (mehanike), hidraulike i iskustva istraživača.

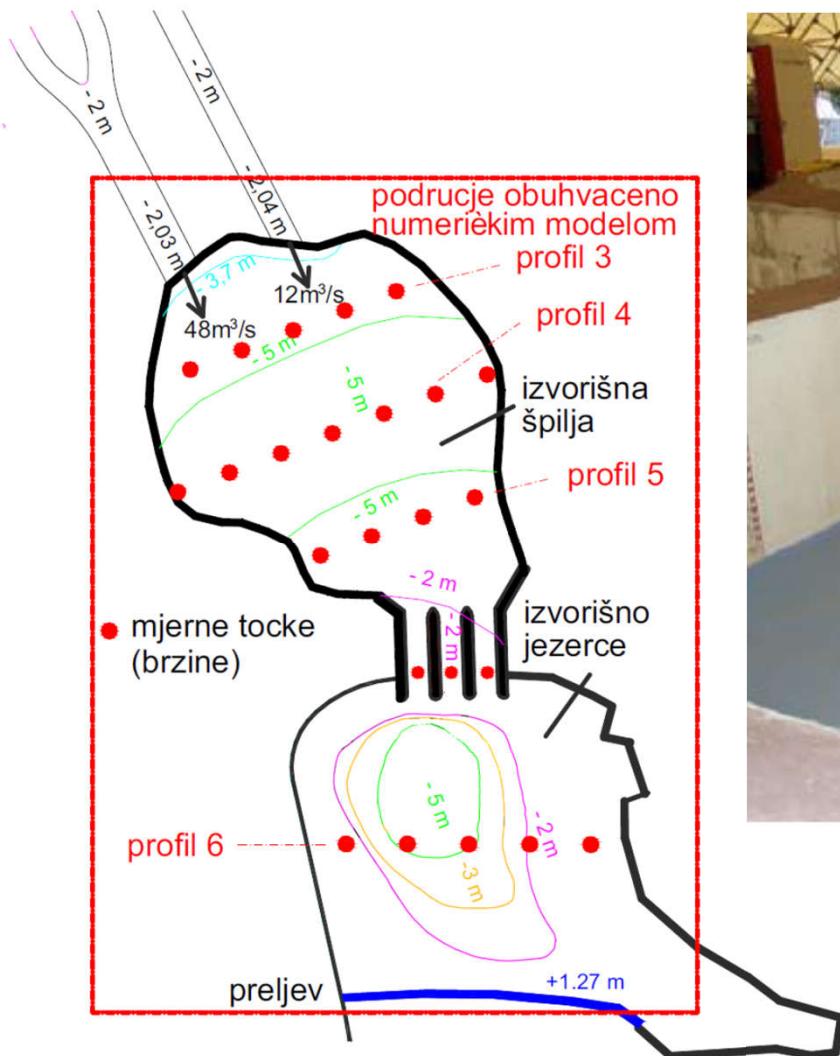
Model služi kao nosilac osnovnih fizikalnih principa koji važe i za original.

Svako prenošenje rezultata treba provesti s ograničenjem, jer se model projektira i ispituje po nekom od **zakona sličnosti** koji je rijetko u potpunosti zadovoljen.

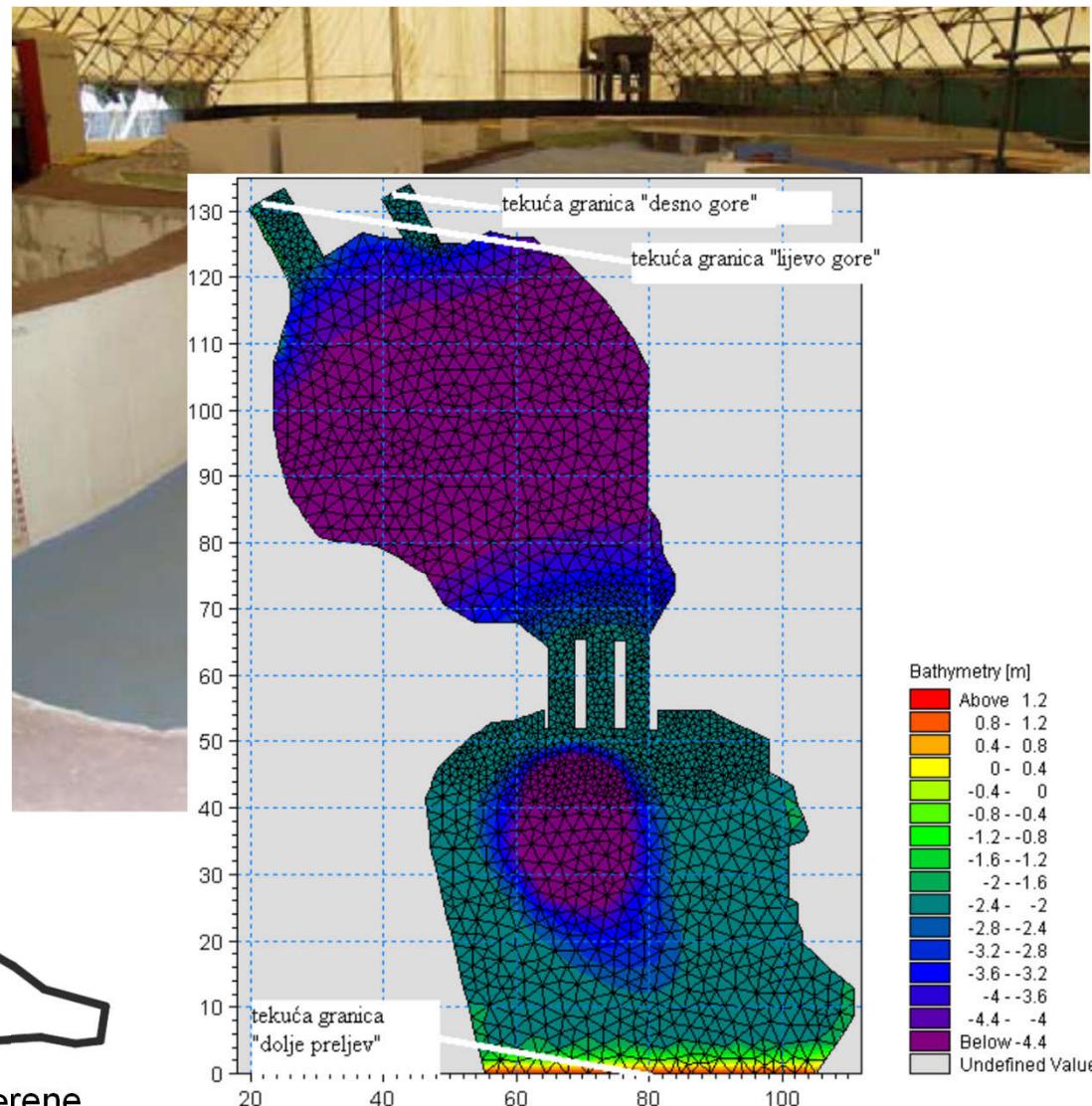
Stoga se kod predviđanja ponašanja originala moraju respektirati nastala ograničenja.

Modelske ispitivanje zahtijeva od inženjera - istraživača veliku strpljivost, pedantnost i široku tehničku naobrazbu. U konačnici, pri uspoređivanju ponašanja model - original, svaki istraživač koji to posjeduje biti će višestruko nagrađen, i preko očekivanja.

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

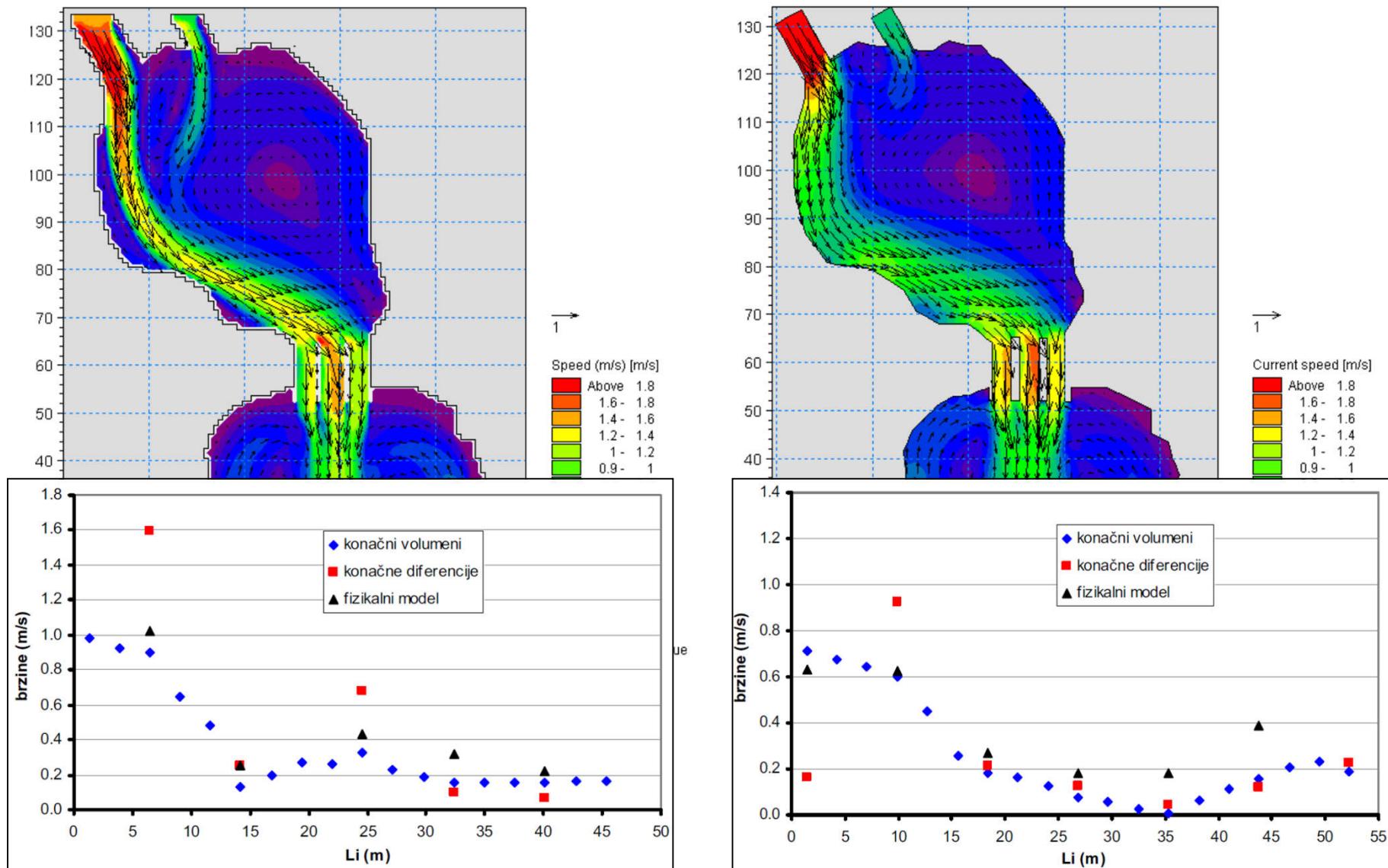


Položaji mjernih točaka na kojima su mjerene brzine na fizikalnom modelu (Lončar i sur., 2007., Građevinar)



Prostorna domena numeričkog modela s tekućim granicama (MKV)

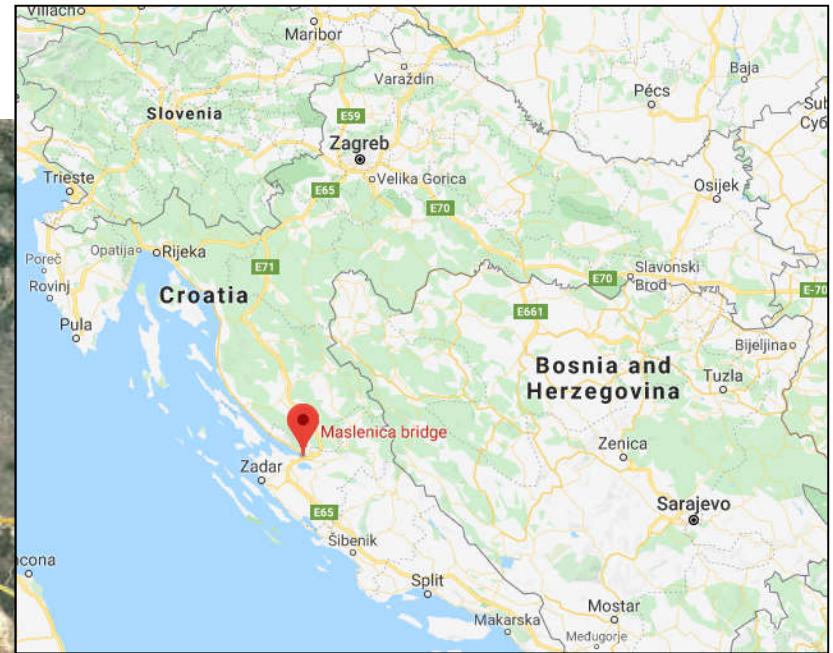
2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



Usporedba vrijednosti brzina na fizikalnim i numeričkim modelima - pojedini profili (Lončar i sur., 2007.)

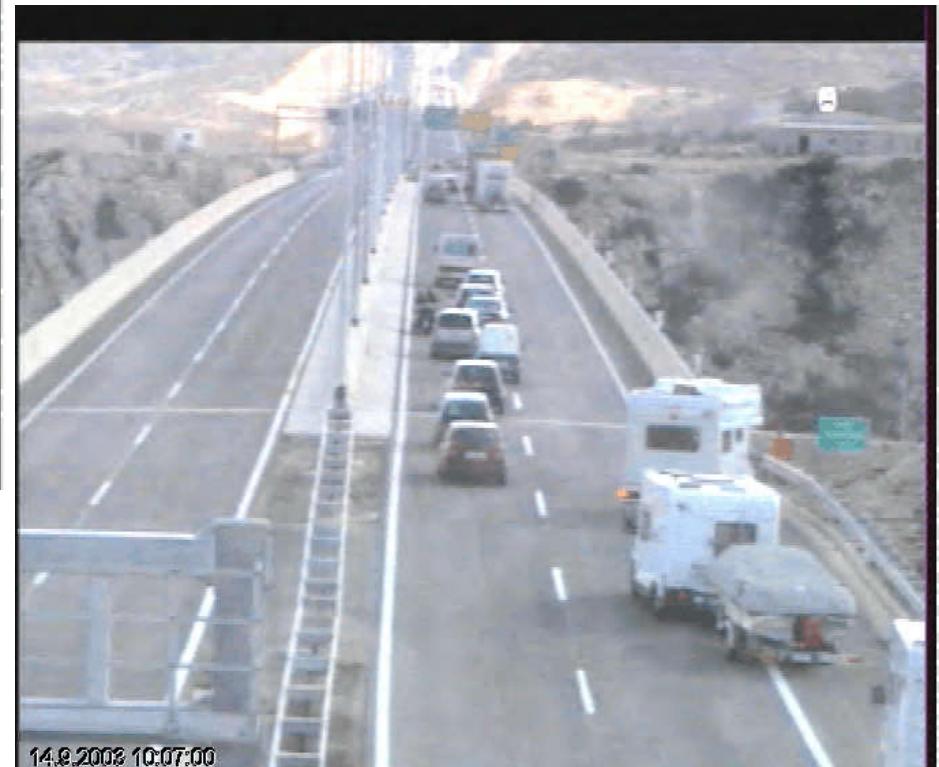
2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

NEKOLIKO PRIMJERA IZ PRAKSE ...



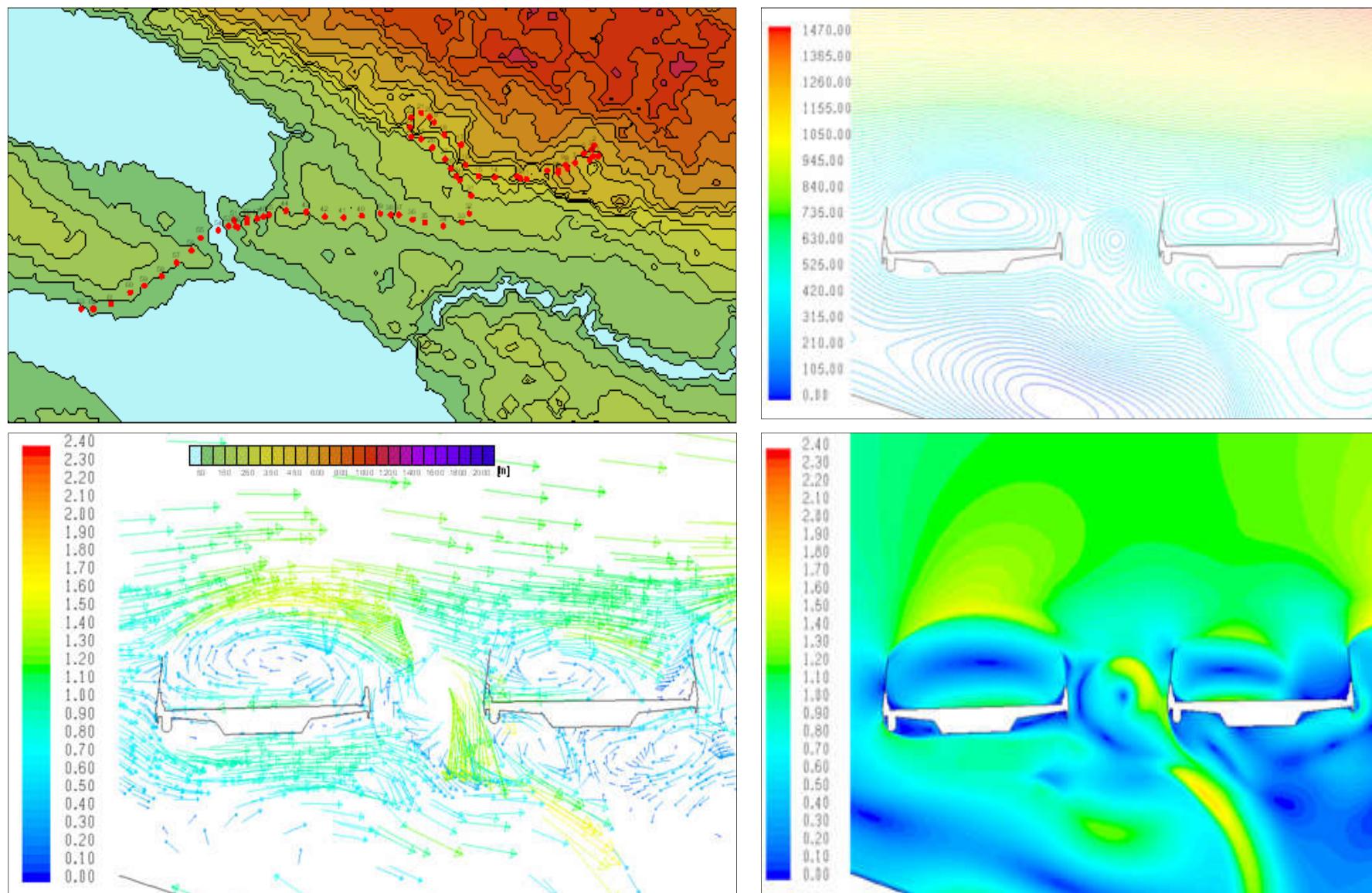
Veliki problem: Kako riješiti jak intenzitet olujnih udara na Masleničkom mostu?

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



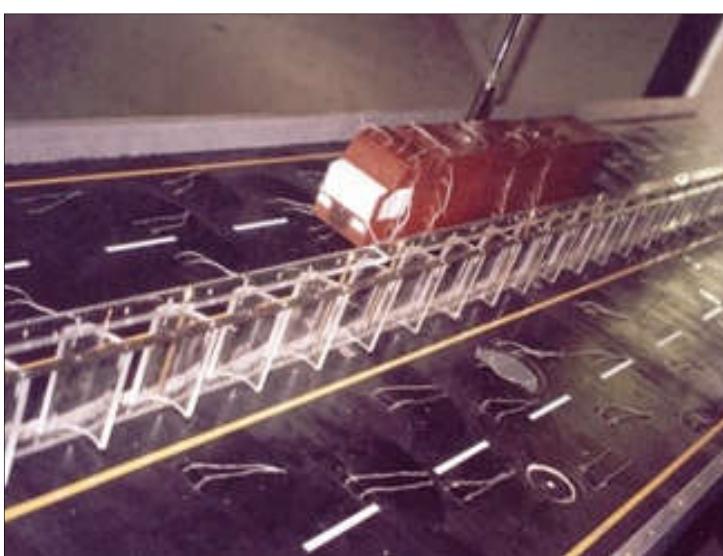
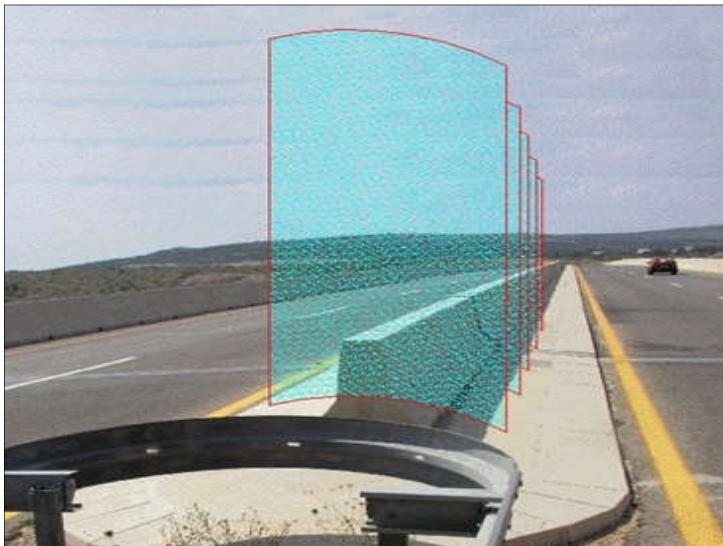
Veliki problem: Kako riješiti jak intenzitet olujnih udara na Masleničkom mostu?

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



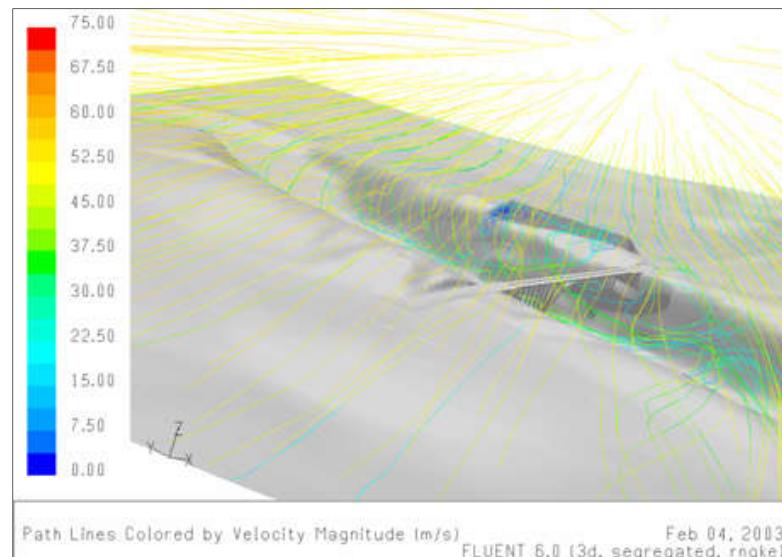
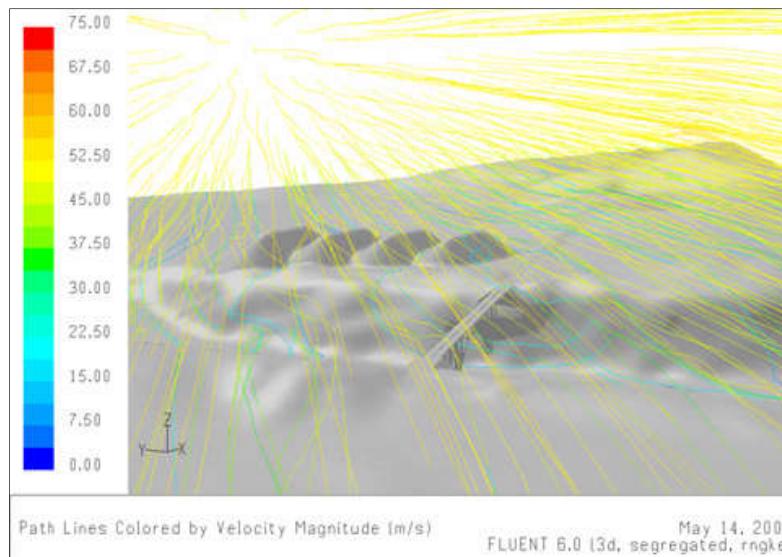
Numerički model opstrujavanja vjetra na kolničkoj konstrukciji (Maslenički most)

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



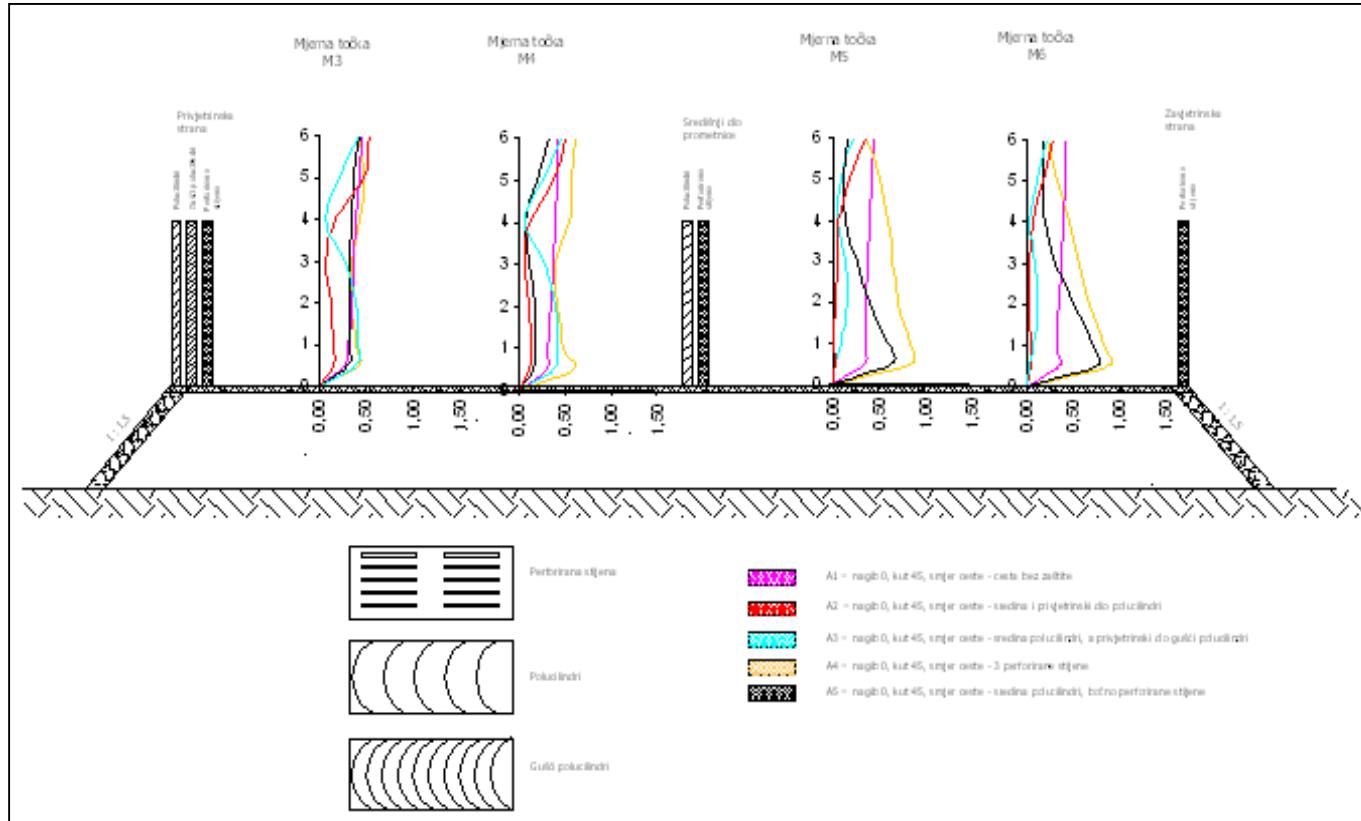
Fizikalni model zaštite od nepoželjnog djelovanja vjetra (Maslenički most)

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

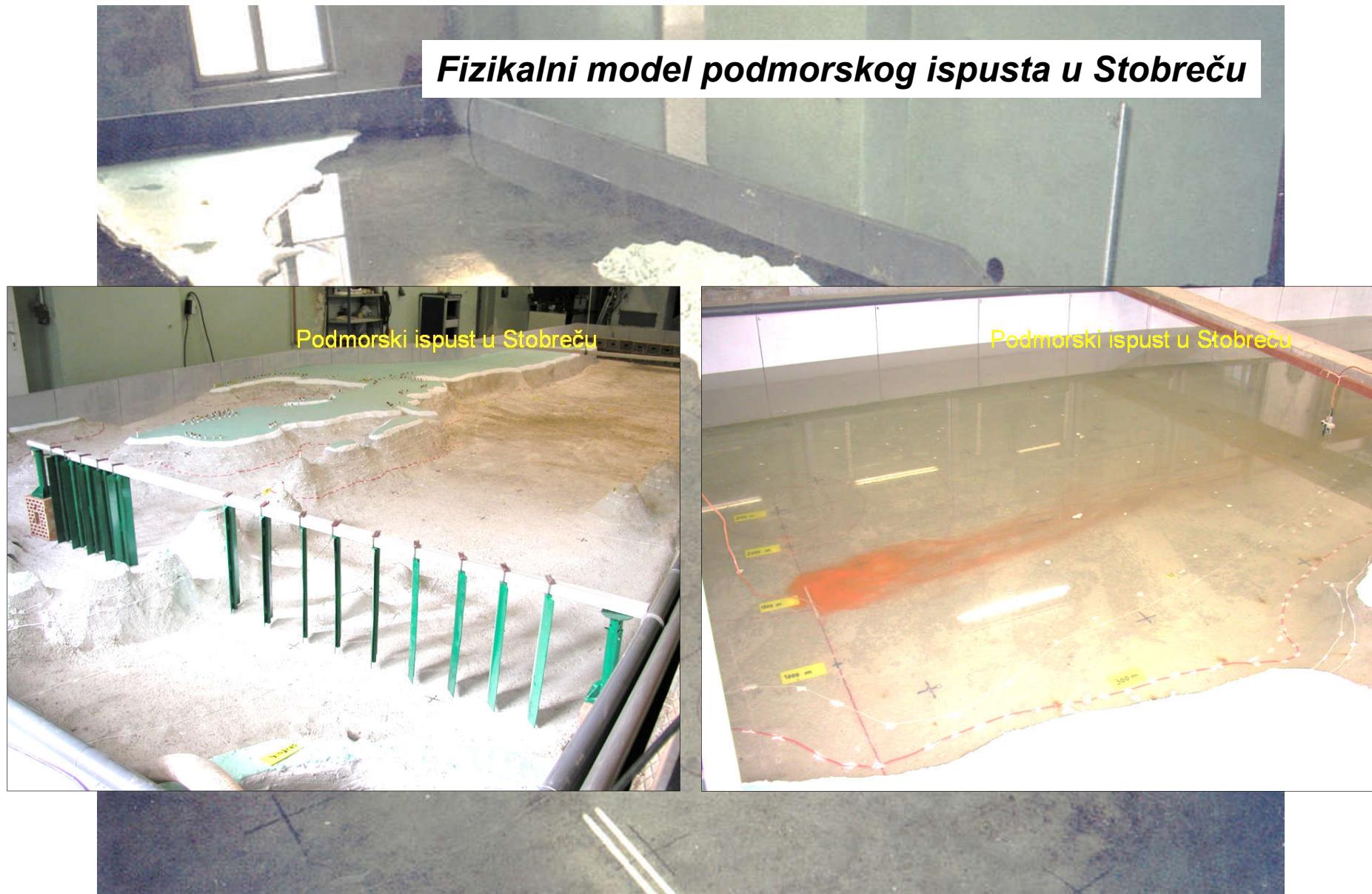


Fizikalni i numerički model zaštite od nepoželjnog djelovanja vjetra na Masleničkom mostu

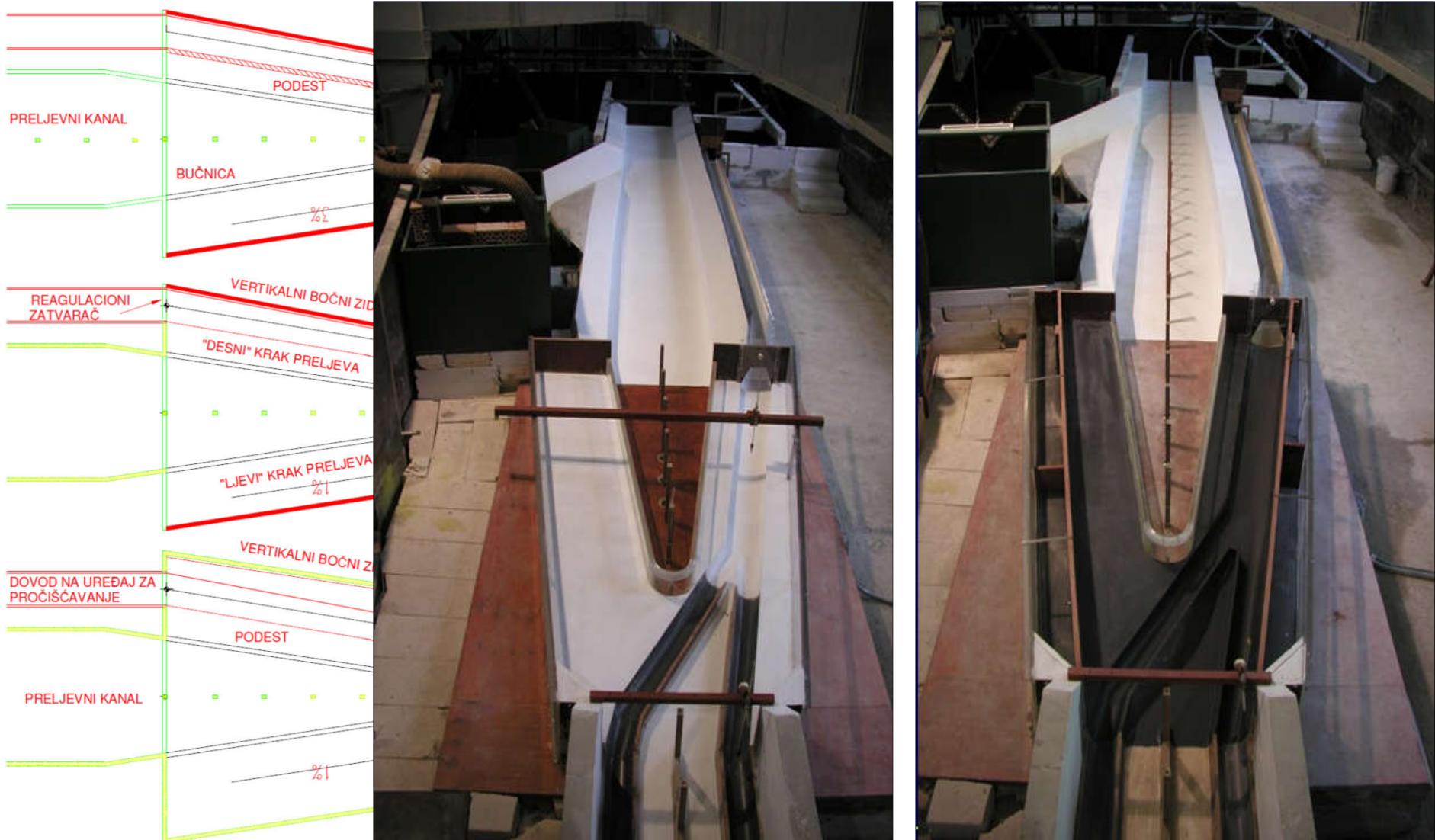
2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

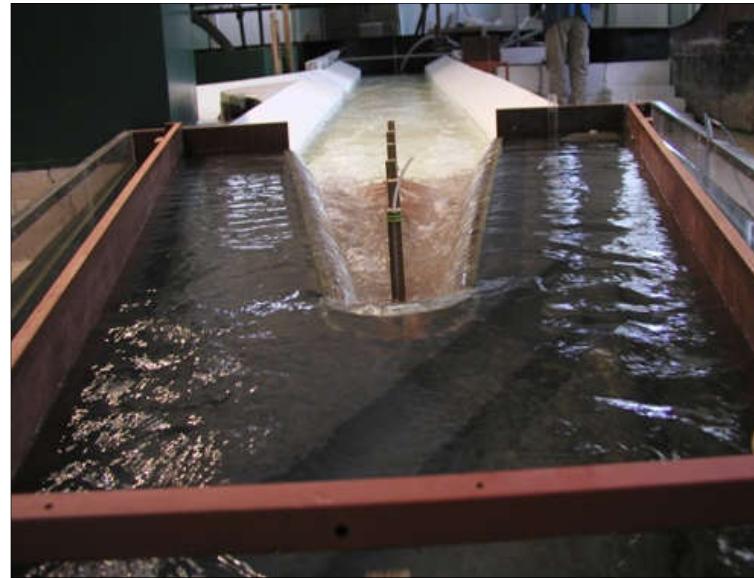
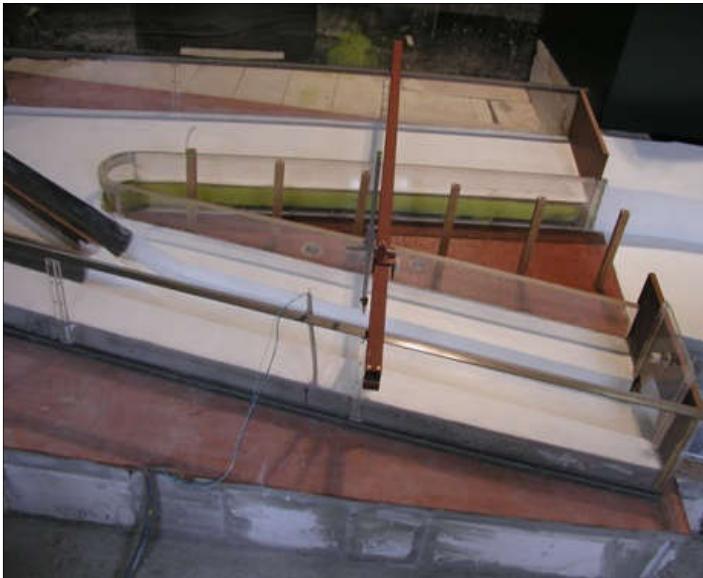


2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



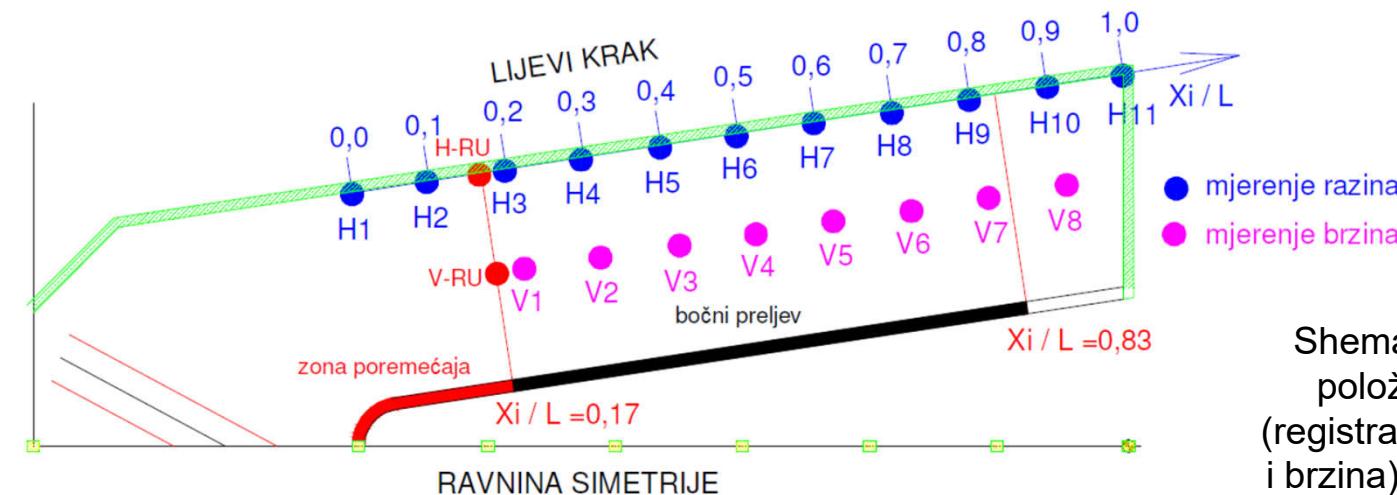
Fizikalni model rasteretnog preljeva GOK-a grada Zagreba izvedenog u hidrotehničkom laboratoriju GFZ (Froudeova sličnost; $\kappa = Lr = 16,7$)

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA

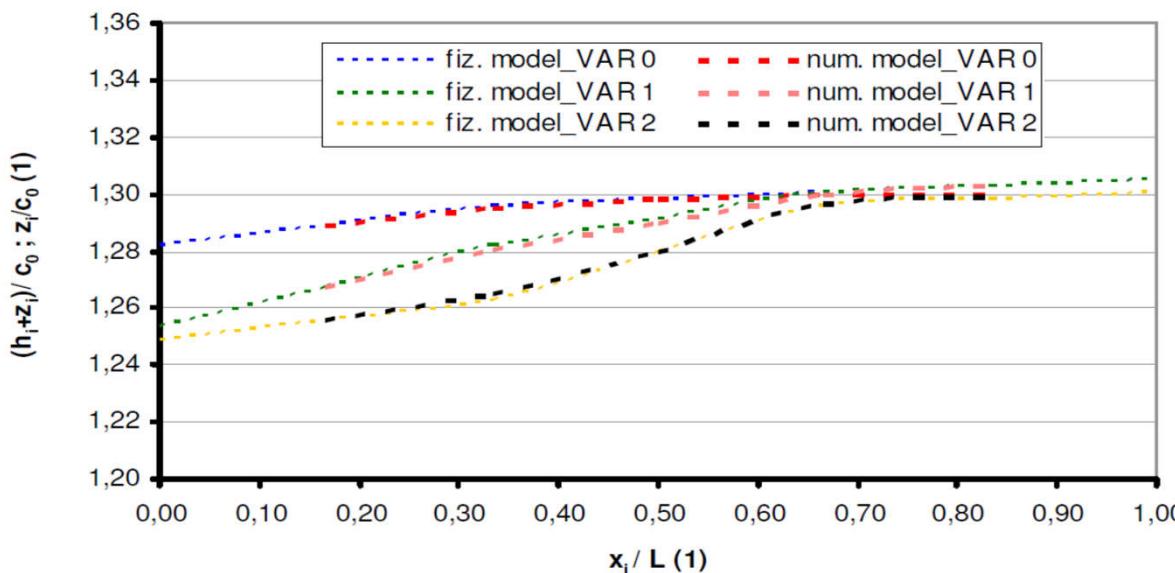


Fizikalni model preljeva – GOK u Radničkoj ulici u Zagrebu

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



Shematski prikaz područja položaja mjernih točaka (registracija razina vodnog lica i brzina) na fizikalnom modelu



Prikaz usporedbe koeficijenta preljevanja Cd lijevog i desnog kraka za varjantna rješenja 0,1 i 2 dobivenih na temelju numeričkog i fizikalnog modeliranja

Fizikalni model preljeva – GOK u Radničkoj ulici u Zagrebu

2. FAZE FIZIKALNOG MODELIRANJA



***Fizikalni model proloma brane – širenje propagacije vodnog vala
(Hidrotehnički laboratorij Građevinskog fakulteta u Zagrebu)***

3. UVJETI SLIČNOSTI KOD FIZIKALNOG MODELIRANJA

Tehnike fizikalnog modeliranja su u biti opći zakoni mehaničke sličnosti. Da bi mehanička sličnost hidrauličkih pojava bila potpuna, potrebna je njihova:

(1) geometrijska sličnost, (2) kinematička sličnost, (3) dinamička sličnost.

(1) Geometrijska sličnost je sličnost oblika. Dvije pojave bit će geometrijski slične, ako između njihovih odgovarajućih linearnih dimenzija, l , postoji jednak odnos:

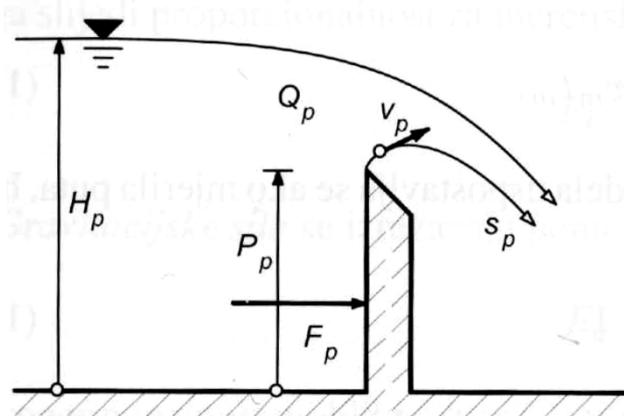
$$\frac{l_n}{l_m} = \kappa$$

$$\frac{A_n}{A_m} = \frac{l_n \cdot l_n}{l_m \cdot l_m} = \kappa^2 = \kappa_A$$

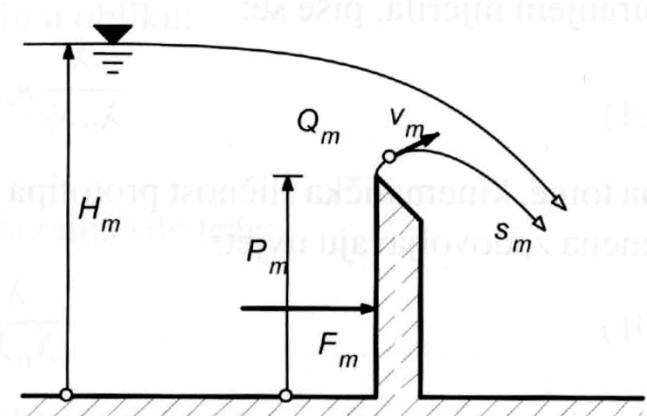
$$\frac{V_n}{V_m} = \frac{l_n \cdot l_n \cdot l_n}{l_m \cdot l_m \cdot l_m} = \kappa^3 = \kappa_V$$

gdje je: κ - geometrijsko (linearno) mjerilo modela (L_r ili λ),
 n - indeks koji označava veličinu u prirodi (naturi),
 m - indeks koji označava veličinu na modelu.

a) prototip



b) model



3. UVJETI SLIČNOSTI KOD FIZIKALNOG MODELIRANJA

(2) **Kinematicka sličnost** je sličnost strujanja. Dva stanja strujanja su kinematički slična, ako su odnosi komponenata brzina (i ubrzanja) u svim **sličnim točkama (homolognim točkama)** dviju geometrijski sličnih pojava jednaki. Tada (srednje i lokalne) brzine, v , sličnih točaka kinematički sličnih pojava moraju biti uzajamno povezane odnosom:

$$\frac{v_n}{v_m} = \kappa_v$$

$$\frac{a_n}{a_m} = \kappa_a$$

κ_v i κ_a su mjerila brzina i ubrzanja

(3) **Dinamička sličnost** između geometrijski i kinematički sličnih pojava uvjetuje jednakost odnosa svih sila iste kategorije (npr. sila tromosti, sila unutarnjeg trenja, sila gravitacije, sila površinske napetosti, sila elastičnosti, itd.) koje djeluju na par sličnih djelića. Dakle, ako na neki djelić toka u prirodi djeluje sila $(F_i)_n$, a na sličan djelić na modelu djeluje sila $(F_i)_m$, iste kategorije kao sila $(F_i)_n$, tada vrijedi:

$$\frac{(F_i)_n}{(F_i)_m} = \kappa_F$$

κ_F - mjerilo za sile, jednako za svaki par sličnih djelića

Uvjet dinamičke sličnosti između modela i prirode zahtijeva da bude ispunjena jednakost odnosa svih sila koje sudjeluju u hidrauličkoj pojavi, tj. zahtijeva isti odnos između sila u prirodi i istih takvih sila na modelu.

Zbog fizičkih karakteristika djelujućih sila praktički nije moguće ispuniti taj uvjet, te se nastoji ustanoviti uvjete sličnosti u kojima dominira jedna do dvije od djelujućih sila.

3. UVJETI SLIČNOSTI KOD FIZIKALNOG MODELIRANJA

NEWTONOV ZAKON SLIČNOSTI

Uvrštavajući usvojene omjere u Newtonov zakon ($F=ma$) dobiva se opći zakon mehaničke sličnosti čime se osigurava dinamička sličnost modela i prototipa:

$$K_F = K_m \cdot K_a$$

Za stacionarno strujanje, gdje postoji samo konvektivna komponenta ubrzanja može se pisati $\kappa_a = \kappa_v / \kappa_t = (\text{kako je } v=s/t \text{ ili } \kappa_v = \kappa / \kappa_t \text{ slijedi}) = \kappa / \kappa_t^2$ pa vrijedi:

$$K_F = K_m \cdot K_a = K_m \cdot \frac{K_v^2}{K} = (K_m = K_\rho \cdot K_V; K_V = K^3) = K_\rho K^2 K_v^2$$

$$\frac{K_F}{K_\rho K^2 K_v^2} = 1$$

pri čemu su: κ - geometrijsko (linearno) mjerilo
 K_F – mjerilo sile, K_m – mjerilo mase,
 K_a – mjerilo ubrzanja, K_ρ – mjerilo gustoće,
 K_v – mjerilo brzine

Odnosno vrijedi:

$$\frac{F_M}{\rho_M L_M^2 v_M^2} = \frac{F_P}{\rho_P L_P^2 v_P^2} = Ne$$



Newtonov kriterij dinamičke sličnosti - predstavlja osnovu za fizikalno modeliranje strujanja fluida

3. UVJETI SLIČNOSTI KOD FIZIKALNOG MODELIRANJA

Strujanje na modelu i prototipu će biti dinamički slično ako je odnos dominantnih sila na modelu i prototipu isti u odgovarajućim točkama. Najčešće se promatraju slijedeći odnosi sila:

Zakon sličnosti	Odnos sila – bezdimenzionalni parametar	Primjena
Reynoldsov	$\frac{SILA\ INERCIJE}{SILATRENJA} = \frac{\rho \cdot L^2 \cdot v^2}{\mu \cdot v \cdot L} = \frac{v \cdot L}{\nu} = Re$	Kad promjena tlaka zavisi od sile trenja (strujanje kroz hidrodinamički glatke provodnike ili u slučaju laminarnog strujanja).
Froudeov	$\frac{SILA\ INERCIJE}{SILA\ GRAVITACIJE} = \frac{\rho \cdot L^2 \cdot v^2}{\rho \cdot L^3 \cdot g} = \frac{v^2}{g \cdot L} = Fr$	Odgovara strujanju sa slobodnom površinom (istjecanje, preljevanje) u zonama malih gubitaka energije.
Eulerov	$\frac{SILA\ INERCIJE}{SILA\ TLAKA} = \frac{\rho \cdot L^2 \cdot v^2}{p \cdot L^2} = \frac{\rho \cdot v^2}{p} = \frac{1}{Eu}$	Koristi se kad promjena tlaka nastaje pod djelovanjem inercijalnih sila. Slučajevi lokalnih gubitaka energije ili izrazito turbulentnog strujanja u hidrodinamički hrapavim koritima.
Stokesov	$\frac{SILA\ GRAVITACIJE}{SILA\ TRENJA} = \frac{\rho \cdot L^3 \cdot g}{\mu \cdot v \cdot L} = \frac{\rho \cdot g \cdot L^2}{\mu \cdot v} = St$	Kada su inercijalne sile zanemarljive, a sile viskoziteta i sile gravitacije dominantne (npr. kod taloženja sitnih čestica u fluidu).

3. UVJETI SLIČNOSTI KOD FIZIKALNOG MODELIRANJA

Zakon sličnosti	Odnos sila – bezdimenzionalni parametar	Primjena
Weberov	$\frac{SILE INERCije}{SILA POVRŠINSKENA PETOSTI} = \frac{v}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho \cdot L}}} = We$	Kad prevladavaju utjecaji površinskih napona i inercijalnih sila. Primjena kod npr. modeliranja kapilarnog kretanja u tlu i kapilarnih valova. Što je vrijednost Weberovog broja manja, to je relativni utjecaj površinskih naprezanja veći i obrnuto.
Hidraulički gradijent	$\frac{SILA TLAKA}{SILA GRAVITACIJE} = \frac{p \cdot L^2}{\rho \cdot L^3 \cdot g} = \frac{p}{\rho \cdot g \cdot L} = I$	Kod Darcyevog laminarnog zakona procjeđivanja, cijevnih sustava pod tlakom i sl.

4. FROUDEOV ZAKON SLIČNOSTI

Froudeov zakon sličnosti. Kada kod neke hidrauličke pojave prevladavaju gravitacijski utjecaji (npr. kod preljevanja preko brane ili kod istjecanja kroz otvore), moguće je uspostaviti prikladnu osnovu za sličnost izjednačavanjem odnosa sila tromosti i gravitacijskih sila, uz zanemarenje ostalih sila. Ako se sila tromosti predstavi sa $F_I=ma=MLT^2=(\rho L^2 T^2)L^2$, a sila gravitacije sa $F_G=\rho g L^3$ gdje su M , L i T dimenzije za masu, duljinu i vrijeme, dobije se slijedeća veza:

$$\rho L^2 T^2 L^2 = \rho g L^3 \quad \Rightarrow \quad \frac{\rho L^2 T^{-2} L^2}{\rho g L^3} = 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{L}{g T^2} = 1 \quad \text{množenjem sa } L$$

$$\frac{L^2}{g T^2 L} = 1 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{L^2}{T^2} = v^2 \right) \quad \Rightarrow \quad \frac{v^2}{gL} = 1 \quad (\text{Froudeov broj})$$

↓

$$\frac{L_m^2}{g_m T_m^2 L_m} = \frac{L_n^2}{g_n T_n^2 L_n}$$

što je, svedeno na linearan oblik, ekvivalentno:

$$\boxed{\frac{v_m^2}{g_m L_m} = \frac{v_n^2}{g_n L_n}}$$

⇒ Froudeov zakon sličnosti ($Fr_m = Fr_n$)

4. FROUDEOV ZAKON SLIČNOSTI

Uzimajući u obzir geometrijsko (linearno) mjerilo modela κ ($\frac{l_n}{l_m} = \kappa$), te mjerilo brzine κ_v ($\frac{v_n}{v_m} = \kappa_v$) možemo pisati:

$$\boxed{\frac{\kappa_v^2}{\kappa_g \kappa} = 1} \quad (1)$$

gdje je $\kappa_g = g_n/g_m$ mjerilo gravitacijskog ubrzanja. Prema Froudeovom zakonu sličnosti zahtijeva se jednaka vrijednost Froudeovog broja, Fr , na modelu i u prirodi, dakle, $Fr_n = Fr_m$. Analitičke veze model – original (priroda) za brzinu, protok, vrijeme, itd., slijede neposredno iz izraza (1). Tako npr. uz $g_n = g_m$, tj. kod $\kappa_g = 1$ (mjerilo koef. gravitacije), direktno slijedi:

1. mjerilo brzine κ_v

$$\frac{v_m^2}{g_m L_m} = \frac{v_n^2}{g_n L_n} \quad (g_m = g_n) \quad \Rightarrow \quad \frac{v_n^2}{v_m^2} = \frac{L_n}{L_m} \quad \kappa_v^2 = \kappa$$

$$\kappa_v = \sqrt{\frac{v_n}{v_m}} = \sqrt{\kappa} \quad \text{odnosno} \quad \boxed{v_n = \sqrt{\kappa} * v_m}$$

4. FROUDEOV ZAKON SLIČNOSTI

2. mjerilo za vrijeme κ_t

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow t = \frac{s}{v} = \frac{\kappa}{\kappa_v} = \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa}} = \sqrt{\kappa} = \kappa^{\frac{1}{2}}$$

odnosno

$$\kappa_t = \left(\frac{t_n}{t_m} \right) = \sqrt{\kappa} \Rightarrow t_n = t_m * \sqrt{\kappa}$$

3. mjerilo za ubrzanje (akceleraciju) κ_a

$$a = \frac{v}{t} \Rightarrow \kappa_a = \frac{a_n}{a_m} = \frac{\kappa_v}{\kappa_t} = \frac{\sqrt{\kappa}}{\sqrt{\kappa}} = 1$$

odnosno

$$a_n = a_m$$

4. mjerilo za protok κ_Q

$$\kappa_Q = \kappa_A * \kappa_v = \kappa^2 * \sqrt{\kappa} = \kappa^{\frac{5}{2}} \Rightarrow \kappa_Q = \frac{Q_n}{Q_m} \Rightarrow Q_n = \kappa^{\frac{5}{2}} * Q_m$$

5. mjerilo za silu κ_F

$$\kappa_F = \frac{F_n}{F_m} = \frac{m_n * a_n}{m_m * a_m} = \frac{\rho_n V_n a_n}{\rho_m V_m a_m} = \left(\frac{\rho_n}{\rho_m} = 1 \right) = \kappa^3 * 1 = \kappa^3$$

odnosno

$$F_n = \kappa^3 * F_m$$

4. FROUDEOV ZAKON SLIČNOSTI

6. mjerilo za tlak κ_p

$$\kappa_p = \frac{p_n}{p_m} = \frac{\frac{F_n}{A_n}}{\frac{F_m}{A_m}} = \frac{\kappa_F}{\kappa_A} = \frac{\kappa^3}{\kappa^2} = \kappa \quad \text{odnosno} \quad p_n = \kappa^* p_m$$

7. mjerilo za energiju κ_E ($E=F*s$)

$$\kappa_E = \frac{E_n}{E_m} = \frac{F_n * l_n}{F_m * l_m} = \kappa^3 * \kappa = \kappa^4 \quad \text{odnosno} \quad E_n = \kappa^4 * E_m$$

8. mjerilo za snagu κ_P ($P=\frac{F*s}{t}=F*v$)

$$\kappa_P = \frac{P_n}{P_m} = \frac{F_n * v_n}{F_m * v_m} = \kappa_F * \kappa_v = \kappa^3 * \sqrt{\kappa} = \kappa^{\frac{7}{2}} \quad \text{odnosno} \quad P_n = \kappa^{\frac{7}{2}} * P_m$$

5. REYNOLDSOV ZAKON SLIČNOSTI

Reynoldsov zakon sličnosti. Ako kod hidrauličke pojave dominiraju sile viskoznosti (npr. kod strujanja pod tlakom u cijevima ili kod strujanja sa slobodnom površinom), izrazita osnova za sličnost može se dobiti izjednačenjem odnosa sila viskoznosti prema silama tromosti, uz zanemarenje ostalih sila.

Ako se sila tromosti predstavi sa $F_I=ma=MLT^2=(\rho L^2 T^2)L^2$, a sila viskoznosti njenim ekvivalentom $F_v=\rho v L(LT^1)$, slijedi:

$$F_v = \rho v L(LT^1) = \frac{\rho v L^2}{T} \quad (\text{po m'}) \qquad \qquad (\text{Re} = \frac{v^* l}{\nu} = \frac{v^* l^* \rho}{\mu})$$

$$\rho L^2 T^2 L^2 = \rho v L(LT^1) \Rightarrow \frac{\rho L^2 T^{-2} L^2}{\rho v L^2 T^{-1}} = 1 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{L^2 T}{\nu T^2} = \left(\frac{\nu^2 t}{\nu}\right) = \frac{\nu^* \nu^* t}{\nu} = \frac{\nu^* l}{\nu}$$

Slijedi jednakost:

$$Re_m = Re_n \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\nu_m * l_m}{\nu_m} = \frac{\nu_n * l_n}{\nu_n}} \quad \text{odnosno} \quad (2)$$

$$\boxed{\frac{\kappa_v * \kappa}{\kappa_v} = 1} \quad (3) \qquad \kappa_v = \frac{\nu_n}{\nu_m} = \text{mjerilo kinematičke viskoznosti}$$

5. REYNOLDSOV ZAKON SLIČNOSTI

Bezdimenzionalna veličina vl/v je **Reynoldsov broj, Re** , a uvjet jednakosti izraza (2) na modelu i u prirodi poznat je kao **Reynoldsov zakon sličnosti**. Prema njemu se zahtjeva jednaka vrijednost Reynoldsovog broja, Re , na modelu i u prirodi, tj. $Re_n = Re_m$. Analitičke veze model - priroda za brzinu, protok, vrijeme, itd., uz pretpostavku $\kappa_g = 1$ mogu se prema Reynoldsovom zakonu sličnosti izvesti iz relacije (3), vidi Tablicu 1.:

1. mjerilo brzine κ_v

$$\frac{v_n * l_n}{v_n} = \frac{v_m * l_m}{v_m} \quad (v_n = v_m)$$

$$\frac{v_n}{v_m} = \frac{l_m}{l_n} \Rightarrow \kappa_v = \frac{v_n}{v_m} = \frac{1}{\kappa} = \kappa^{-1}$$

$$v_n = v_m * \kappa^{-1}$$

2. mjerilo za vrijeme κ_t

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow \frac{\kappa}{\kappa_t} = \frac{1}{\kappa} \Rightarrow \kappa_t = \kappa^2$$

Odnosno vrijedi:

$$\kappa_t = \frac{t_n}{t_m} = \kappa^2 \Rightarrow t_n = t_m * \kappa^2$$

5. REYNOLDSOV ZAKON SLIČNOSTI

3. mjerilo za ubrzanje (akceleraciju) κ_a

$$a = \frac{v}{t} \Rightarrow \kappa_a = \frac{a_n}{a_m} = \frac{\frac{v_n}{t_n}}{\frac{v_m}{t_m}} = \frac{\kappa_v}{\kappa_t} = \frac{\kappa^{-1}}{\kappa^2} = \kappa^{-3} \quad \text{odnosno} \quad a_n = a_m * \kappa^{-3}$$

4. mjerilo za protok κ_Q

$$\kappa_Q = \frac{Q_n}{Q_m} = \frac{A_n * v_n}{A_m * v_m} = \kappa_A * \kappa_v = \kappa^2 * \kappa^{-1} = \kappa \quad \Rightarrow \quad Q_n = \kappa * Q_m$$

5. mjerilo za silu κ_F

$$\kappa_F = \frac{F_n}{F_m} = \frac{m_n * a_n}{m_m * a_m} = \frac{\rho_n V_n a_n}{\rho_m V_m a_m} = (\frac{\rho_n}{\rho_m} = 1) = \kappa^3 * \kappa^{-3} = 1 \quad \text{odnosno} \quad F_n = F_m$$

6. mjerilo za tlak κ_p

$$\kappa_p = \frac{p_n}{p_m} = \frac{\frac{F_n}{A_n}}{\frac{F_m}{A_m}} = \frac{\kappa_F}{\kappa_A} = \frac{1}{\kappa^2} = \kappa^{-2} \quad \text{odnosno} \quad p_n = \kappa^{-2} * p_m$$

5. REYNOLDSOV ZAKON SLIČNOSTI

7. mjerilo za energiju κ_E ($E=F^*s$)

$$\kappa_E = \frac{E_n}{E_m} = \frac{F_n * l_n}{F_m * l_m} = \kappa_F * \kappa = 1 * \kappa = \kappa \quad \text{odnosno} \quad [E_n = \kappa * E_m]$$

Identično vrijedi i za moment sile M:

$$[M_n = \kappa * M_m]$$

8. mjerilo za snagu κ_P ($P = \frac{F^*s}{t} = F^*v$)

$$\kappa_P = \frac{P_n}{P_m} = \frac{F_n * v_n}{F_m * v_m} = \kappa_F * \kappa_v = 1 * \kappa^{-1} = \kappa^{-1} \quad \text{odnosno} \quad [P_n = \kappa^{-1} * P_m]$$

FAKTORI MJERILA PO FROUDEOVOM I REYNOLDSOV ZAKONU SLIČNOSTI

Veličine	Dimenzija	Uvjet sličnosti po zakonu	
		Froudeovom	Reynoldsovom
GEOMETRIJSKE			
Duljina	L	κ	κ
Površina	L^2	κ^2	κ^2
Volumen	L^3	κ^3	κ^3
KINEMATIČKE			
Vrijeme	T	$\kappa^{1/2}$	κ^2
Brzina	LT^{-1}	$\kappa^{1/2}$	κ^{-1}
Ubrzanje	LT^{-2}	I	κ^{-3}
Protok	$L^3 T^{-1}$	$\kappa^{5/2}$	κ
DINAMIČKE			
Sila	MLT^{-2}	κ^3	I
Tlak	$ML^{-1}T^{-2}$	κ	κ^{-2}
Energija, rad	ML^2T^{-2}	κ^4	κ
Snaga	ML^2T^{-3}	$\kappa^{7/2}$	κ^{-1}

Tablica 1. Faktori mjerila po Froudeovom i Reynoldsovom zakonu sličnosti

6. PRIMJERI

ZADATAK 1. Projektirana brana na nekom kanalu provjerena je na modelu izrađenom u mjerilu 1:20. Eksperimentiranjem na modelu, zaključeno je da će doći do prelijevanja za protok veći od $Q_M = 38,0 \text{ l/s}$. Koji stvarni protok odgovara ovom modelskom protoku?

Uradak:

Budući da u tečenju sa slobodnom površinom dominiraju sile gravitacije i sile inercije, to za dinamičku sličnost moraju Froudeovi brojevi na modelu i u prirodi biti jednaki. Iz Froudeovog zakona sličnosti (Ž.Vuković:»Osnove hidrotehnike», strana 257.) slijedi:

$$\frac{Q_{natura}}{Q_{modela}} = \frac{Q_{prirodi}}{Q_{modela}} = k_Q = \frac{A_{prir.} * v_{prir.}}{A_{mod.} * v_{mod.}} = k_A * k_V = k^2 * k^{1/2} = k^{5/2} = L_r^{5/2}$$

pri čemu je:
k_Q - mjerilo protoka
k_A – mjerilo površine
k_V – mjerilo za brzinu
k=L_r – geometrijsko (linearno) mjerilo modela.

Stvarni protok u prirodi koji odgovara ovom modelu iznosi:

$$Q_{natura} = Q_{prirodi} = L_r^{5/2} * Q_{mod.} = 20^{5/2} * 0,038 = 67,97 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{ili}$$

$$\frac{Q_{mod.}}{Q_{prirodi}} = \frac{1}{L_r^{5/2}} = \frac{1}{20^{5/2}} = \frac{1}{1788,9} \Rightarrow Q_{prir.} = 1788,9 * Q_{mod.} = 1788,9 * 0,038 = 67,97 \text{ m}^3 / \text{s}$$

6. PRIMJERI

ZADATAK 2. Model za ispitivanje vodenih valova izrađen je u mjerilo 1:15. Ako je perioda vala u prirodi $T_{prirodi} = 10$ s, kolika treba biti perioda nastajanja valova na modelu da bi se osigurala dinamička sličnost.

Uradak:

Ukoliko želimo da se osigura dinamička sličnost potrebno je da Froudeovi brojevi u prirodi i na modelu budu jednaki:

$$F_{r, \text{modela}} = F_{r, \text{prirodi}}$$

Prema Froudeovom zakonu sličnosti vrijedi slijedeće:

$$\frac{T_{natura}}{T_{\text{modela}}} = \frac{T_{prirodi}}{T_{\text{modela}}} = k_T = k^{1/2}$$

pri čemu je: k_T – mjerilo za vrijeme
 $k = L_r$ – geometrijsko (linearno) mjerilo modela.

Stoga slijedi da je perioda nastajanja valova na modelu jednaka:

$$T_{\text{modela}} = \frac{T_{prirodi}}{L_r^{1/2}} = \frac{10}{15^{1/2}} = \frac{10}{3,873} = 2,582 \text{ s}$$

6. PRIMJERI

ZADATAK 3. Model preljevnog dijela brane izgrađen je u mjerilu 1:25. Ako se na modelu, pri visini preljevanja od $H_M=12,0$ cm odvodi $q_M=87,3$ l/s/m', izračunajte odgovarajuću visinu preljevanja i specifični protok u prirodi. Ako je na modelu visina hidrauličkog skoka $h_s=h''-h'=14,1$ cm, izračunajte odgovarajuću visinu hidrauličkog skoka u prirodi. Primjeniti Froudeov zakon sličnosti.

Uradak:

a) $\frac{H_{pr,prirodi}}{H_{pr.modela}} = k_{H_{pr.}} = k = L_r$ pri čemu je: $k_{H_{pr.}}$ – mjerilo za visinu preljevanja
 $k=L_r$ – geometrijsko (linearno) mjerilo modela

Stvarna visina preljevanja u prirodi iznosi:

$$H_{pr,prirodi} = k * H_{pr.modela} = 25 * 0,12 = 3 \text{ m}$$

Specifični protok dobivamo na temelju formule:

$$q = \frac{Q}{b} \Rightarrow q_r = \frac{Q_r}{L_r} = \frac{L_r^{5/2}}{L_r^{3/2}} = L_r^{3/2} = 25^{3/2} = 125$$

$$q_r = \frac{q_{prirodi}}{q_{modela}} = 125 \quad \Rightarrow \quad q_{prirodi} = 125 * q_{modela} = 125 * 0,0873 = 10,91 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}'$$

6. PRIMJERI

b) odgovarajuća visina hidrauličkog skoka u prirodi slijedi iz Froudeova zakona sličnosti:

$$\frac{h_{\text{hidraul.skoka,prirodi}}}{h_{\text{hidraul.skoka,modela}}} = k_{\text{hidraul.skoka}} = k = L_r$$

pri čemu je: $k_{\text{hidr.skoka}}$ – mjerilo visine hidrauličkog skoka

$$h_{\text{hidraul.skoka,prirodi}} = L_r * h_{\text{hidraul.skoka,modela}} = 25 * 0,141 = 3,525 \text{ m}$$

6. PRIMJERI

ZADATAK 4. Voda temperature 10^0C teče kroz cijev presjeka $d_1=5,0 \text{ cm}$ brzinom $v_1=0,5 \text{ m/s}$. Kojom brzinom mora teći nafta pri temperaturi od 18^0C kroz cijev presjeka $d_2=30,0 \text{ cm}$ da bi se ostvarila dinamička sličnost. Kinematički koeficijent viskoznosti nafte na 18^0C je $\nu_2=0,20 \text{ cm}^2/\text{s} = 0,2*10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, a vode na 10^0C $\nu_1=1,3\times10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s} = 1,3\times10^{-2} * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Uradak:

Budući da pri tečenju fluida kroz cijevi dominiraju sili inercije i sili viskoziteta, potrebno je izjednačiti Reynoldsove brojeve na modulu i u prirodi (tečenje vode u cijevi možemo promatrati kao tečenje u prirodi, dok je tečenje nafte promatrano kao tečenje koje se ostvaruje putem fizikalnog modeliranja!):

$$\text{Re}_{vode} = \text{Re}_{nafte} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_1 \cdot d_1}{\nu_1} = \frac{v_2 \cdot d_2}{\nu_2} \quad \Rightarrow \quad v_2 = \frac{\nu_1 * d_1 * v_2}{d_2 * \nu_1}$$

$$v_2 = \frac{0,5 * 0,05 * 0,2 * 10^{-4}}{0,3 * 1,3 * 10^{-2} * 10^{-4}} = \frac{0,005}{0,0039} = 1,282 \text{ m/s}$$

6. PRIMJERI

ZADATAK 5. Za jednu se crpku ispituje na modelu u mjerilu 1:16 kutna brzina u granicama $\omega_{prirodi} = (10-25 \text{ o/min})$, (kutna brzina u prirodi). Kolike su granice na modelu. Vrijedi Froudeov zakon sličnosti.

Uradak:

Iz Froudeovog zakona sličnosti slijedi da Froudeovi brojevi na modelu i u prirodi moraju biti jednaki:

$$F_{r, \text{modela}} = F_{r, \text{prirodi}} \quad \Rightarrow \quad Fr = \frac{v^2}{g * h}$$

$$\frac{v_{\text{modela}}^2}{g * L_{\text{modela}}} = \frac{v_{\text{prirodi}}^2}{g * L_{\text{prirodi}}} \quad \Rightarrow \quad (v = \varpi * L) \quad \Rightarrow \quad \frac{\omega_{\text{modela}}^2 \cdot L_{\text{modela}}^2}{g * L_{\text{modela}}} = \frac{\omega_{\text{prirodi}}^2 \cdot L_{\text{prirodi}}^2}{g * L_{\text{prirodi}}}$$

$$\frac{\omega_{\text{modela}}^2 \cdot L_{\text{modela}}}{g} = \frac{\omega_{\text{prirodi}}^2 \cdot L_{\text{prirodi}}}{g} \quad \Rightarrow \quad \frac{\omega_{\text{prirodi}}^2 \cdot L_{\text{prirodi}} * g}{\omega_{\text{modela}}^2 \cdot L_{\text{modela}} * g} = \frac{\omega_{\text{prirodi}}^2 \cdot L_{\text{prirodi}}}{\omega_{\text{modela}}^2 \cdot L_{\text{modela}}} = 1$$

$$\frac{\omega_{\text{prirodi}}^2}{\omega_{\text{modela}}^2} = \frac{L_{\text{modela}}}{L_{\text{prirodi}}} = \frac{1}{L_r} \quad / \sqrt{\quad} \quad L_r = k - \text{geometrijsko (linearno) mjerilo modela}$$

$$\frac{\omega_{\text{prirodi}}}{\omega_{\text{modela}}} = \frac{1}{\sqrt{L_r}} \quad \Rightarrow \quad \omega_{\text{modela}} = \omega_{\text{prirodi}} * \sqrt{L_r}$$

6. PRIMJERI

$$\omega_{\text{modela},1} = \omega_{\text{prirodi},1} * \sqrt{16} = 10 * \sqrt{16} = 40 \text{ o/min}$$

$$\omega_{\text{modela},2} = \omega_{\text{prirodi},2} * \sqrt{16} = 25 * \sqrt{16} = 100 \text{ o/min} \quad \Rightarrow \quad \omega_{\text{modela}} = (40 - 100) \text{ o/min}$$

POPIS KORIŠTENE LITERATURE:

1. Sharp, J.J.: *Hydraulic Modeling*, Butterworth, London, 1981.
2. Yalin, M.S.: *Theory of hydraulic models*, Macmillan, London, 1971.
3. Miller, R.W.: *Flow measurement engineering handbook*, McGraw-Hill, New York, 1996.
4. Getvaj, G.: *Hidraulika, Rukopis predavanja iz kolegija Hidraulika, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2010.*
5. Shaughnessy, Jr., E.J.; Katz, I.M.; Schaffer, J.P.; *Introduction to Fluid Mechanics*, Oxford University Press, New York, 2005.
6. Lončar, G.; Andročec, V.: *Mehanika tekućina*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, godina izdanja nepoznata
7. Lončar, G.; Andročec, V.; Getvaj, G.: *Usporedba rezultata fizikalnog i numeričkog ravninskih modela tečenja*, Građevinar, 59 (12), str. 1067-1072, 2007.
8. V. Jović, Osnove hidrotehnike, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, Split, Element, 2006.
9. Agroskin, I.I.; Dmitrijev, G.T.; Pikalov, F.I.: *Hidraulika*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1969.
10. Munson, B.R.; Young, D.F.; Okiishi, T.H.: *Fundamentals of Fluid mechanics*, 4. izdanje, Department of Aerospace Engineering and Engineering Mechanics, Iowa State University, John Wiley & Sons, 2002.
11. Novak, P.; Čabelka, J.: *Physical Principles and Design Applications, Models in Hydraulic Engineering*, Pitman advanced publishing program, Boston, 1981.
12. Abbott, M.; Basco, D.: *Computational fluid dynamics*, John Wiley & Sons, New York, 1989.
13. White, F.M.: *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill, New York, 2005.
14. Žic, E.; Ožanić, N.; Karleuša, B: *Skripta riješenih zadataka iz kolegija Hidromehanike*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2010.



Zahvaljujem na pažnji!



HIDRAULIKA – LABORATORIJSKI RAD: Primjena fizikalnog modeliranja u Mehanici fluida

Project title: Winter school

Acronym: SWARM

Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

Work package	Title
6	Dissemination & exploitation
Activity	Title
6.5	Winter/summer schools

Dates	15.11.2021. – 26.11.2021.
City	Rijeka
Meeting venue	University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering (UNIRIFCE) – ONLINE (MS Teams)
Address	Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Croatia



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



WINTER SCHOOL (on-line)

UNIVERSITY OF RIJEKA FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

15. - 26.11.2021.

**We thank all students for
their attention and participation
in the winter school!**