

Eksperimentalna analiza mlaza

Petrović, Magdalena

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:665744>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

EKSPERIMENTALNA ANALIZA MLAZA

Rijeka, srpanj 2024

Magdalena Petrović

0035228879

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

EKSPERIMENTALNA ANALIZA MLAZA

Mentor: Prof.dr.sc. Lado Kranjčević

Komentor: dr. sc. Marta Alvir

Rijeka, srpanj 2024.

Magdalena Petrović

0035228879

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 20. ožujka 2024.

Zavod: **Zavod za mehaniku fluida i računalno inženjerstvo**
Predmet: **Mehanika fluida**
Grana: **2.15.04 mehanika fluida**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Magdalena Petrović (0035228879)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Eksperimentalna analiza mlaza**

Opis zadatka:

Na temelju provedene eksperimentalne analize mlazova u novom laboratorijskom bazenu, student će analizirati i usporediti rezultate dobivene različitim metodama miješanja mlazova. Potrebno je detaljno opisati problematiku izvora mlazova te provesti eksperimente za različite brzine mlazova. Student će analizirati i usporediti rezultate dobivene običnim i termalnim snimkama. Izvještaj treba sadržavati opis korištenih metoda, detaljnu analizu prikupljenih podataka te zaključak o učinkovitosti različitih metoda miješanja u kontekstu promatranih brzina i vrsta snimaka.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2024.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Lado Kranjčević

izv. prof. dr. sc. Samir Žic

dr. sc. Marta Alvir (komentor)

IZJAVA

Izjavljujem da sam prema članku 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku studija prijediplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, samostalno izradila završni rad naslova „Eksperimentalna analiza mlaza“ pod mentorstvom prof. dr. sc. Lade Kranjčevića i komentorstvo dr.sc. Marte Alvir.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Ladi Kranjčeviću i komentorici dr.sc. Marti Alvir na smjericama i pomoći kod pisanja ovog završnog rada.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. MLAZOVI.....	2
2.1. Osnova mehanike fluida.....	4
2.1.1. Vrste strujanja prema putanji.....	5
2.2. Istjecanje.....	5
2.2.1. Nestacionarno istjecanje.....	5
2.2.2. Stacionarno istjecanje.....	5
2.3. Mehanika fluida mlazova.....	6
2.3.1. Mlazovi.....	7
2.3.2. Perjanice.....	7
2.3.3. Uzgonski mlazovi.....	8
3. PODMORSKI IZVORI.....	9
3.1. Fenomen podmorskih izvora.....	9
3.2. Izvori u priobalnom području Riječkog zaljeva.....	10
3.3. Utjecaj i problematika pojave.....	11
3.3.1. Širenje onečišćenja podmorskim izvorima.....	12
3.4. Pojava podmorskih izvora i njihovo uočavanje	13
3.4.1. Termalne kamere.....	15
4. MEHANIKA FLUIDA PODMORSKIH IZVORA.....	18
4.1. Darcyev zakon.....	19
4.2. Reynoldsov broj.....	20
4.3. Freudov broj.....	20
5. EKSPERIMENT MLAZOM.....	22
5.1. Oprema za ispitivanje.....	22
5.2. Važnost eksperimentalne analize.....	26
6. REZULTAT EKSPERIMENTA.....	27
6.1. Izvođenje eksperimentalne analize.....	27
6.1.1. Prvo mjerenje.....	28
6.1.2. Drugo mjerenje.....	30
6.1.3. Treće mjerenje.....	32
6.1.4. Četvrto mjerenje.....	34

7. ZAKLJUČAK.....	35
8. POPIS LITERATURE.....	36
9. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLISKOM JEZIKU.....	38
9.1. Sažetak.....	38
9.2. Summary.....	38
9.3. Ključne riječi.....	39
9.4. Keywords.....	39

1. UVOD

U sklopu ovog završnog rada bit će prikazana eksperimentalna analiza mlazova kojom analiziramo pojavu podmorskih izvora u obalnom području Riječkog zaljeva.

U priobalnom području Riječkog zaljeva fenomen podmorskih izvora slatke vode česta je pojava i kao takav utječe na sastav i kvalitetu morske vode. Uzevši u obzir njihovu učestalost i samu prirodu zaljeva, bitno je uzeti u obzir potencijal podmorskih izvora da negativno utječu na čistoću i kvalitetu morske vode, u slučajevima kada je ona onečišćena.

Suvremenim tehnologijama, danas je moguće lociranje podmorskih izvora, te praćenje njihovog vrtloženja i širenja po morskom području i upravo na taj način moguće je pravovremeno uočavanje i sprječavanje širenja onečišćenja.

U sklopu eksperimenta, analizirali smo različite metode miješanja mlazova pri različitim brzinama, te detaljnije promotrili njihovu problematiku i značaj.

Podmorski izvori slatke vode obično su teški za uočavanje, no obzirom na to da ih karakterizira izmjena energije s morem pri različitim temperaturama, za detaljnu analizu njihovog ispuštanja koristili smo termalne kamere i zapažanja su navedena u narednim poglavljima.

Rad se sastoji od devet poglavlja.

U drugom poglavlju opisano je fizikalno ponašanje fluida, odnosno vrste strujanja i vrste istjecanja. Zatim su definirane moguće pojave mlazova: mlaz, perjanica i uzgonski mlazovi, u obliku kojih se evidentiraju izvori podzemne vode u moru.

U trećem poglavlju opisan je fenomen podmorskih izvora, uzrok njihovog nastanka i karakteristična područja njihove pojave. Također, opisani su utjecaji izvora na biljni i životinjski svijet mora, ali i problem širenja onečišćenja. U ovom poglavlju opisana je problematika njihovog lociranja i rješenja u obliku termalnih (satelitskih) kamera, koji proces njihovog uočavanja i praćenja značajno olakšavaju.

U četvrtom poglavlju definirani su neki od najvažnijih fizikalnih zakona i odnosa kojima detaljnije možemo objasniti ponašanje podmorskih izvora.

U petom poglavlju objašnjena je oprema kojom se izvela eksperimentalna analiza. Definirani su dijelovi sklopa i pojašnjene njihove uloge, te objašnjen značaj eksperimentalne analize mlazova vezane za podmorske izvore.

U šestom poglavlju rada prikazani su rezultati i zapažanja mjerenja. Ovisno o uvjetima, za svako mjerenje izračunate su vrijednosti Reynoldsovog i Froudeovog broja.

2. OPĆENITO O MLAZOVIMA

2.1. Osnove mehanike fluida

Fluid su kemijske tvari kojima molekule lako mijenjaju svoj relativan položaj. Od klasičnih agregatnih stanja, u fluide spadaju tekućine i plinovi, a od specijalnih agregatnih stanja plazma, suprafluidi, suprakritični fluidi, itd [2].

Obzirom na to da nas okružuju razni fluid, bitno je temeljito poznavanje njihovih ponašanja i utjecaja na ljudski život, stoga je tu znanstvena disciplina mehanika fluida.

Mehanika fluida dio je fizike koja se bavi proučavanjem gibanja fluida i silama koje na fluid djeluju i nju dijelimo na statiku i dinamiku fluida [1].

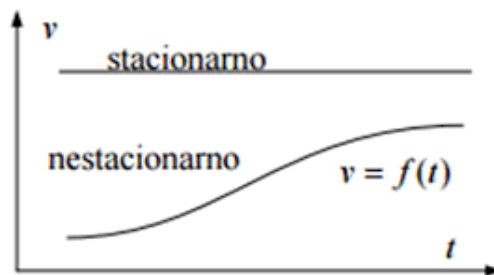
Statika fluida ili hidrostatika proučava uvjete u kojima je fluid u stanju stabilne ravnoteže, odnosno zakonima djelovanja sila na fluid pri njegovom mirovanju [1].

Dinamika fluida ili hidrodinamika bavi se strujanjem fluida u kretanju, odnosno djelovanjem sila koje izazivaju gibanje fluida. Strujanja koja proučava dinamika fluida možemo opisati kao gibanje fluida koje se odvija unutar cijevi ili korita, odnosno nekog nepomičnog predmeta. Jednostavno ju prikazujemo pomoću zamišljenih linija tzv. strujnica, a opisujemo Bernoullijevom jednadžbom [1].

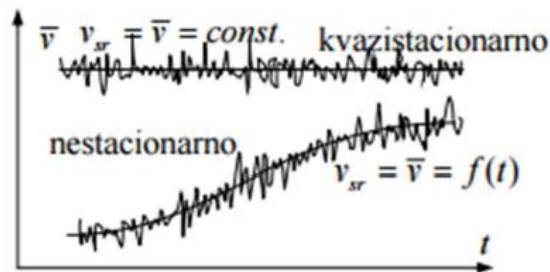
Bitno je razlikovati strujanje idealnog fluida i strujanje realnog fluida. Strujanje idealnog fluida je takvo da je u svim točkama presjeka jednake brzine i nema otpora pri njegovom strujanju oko nepomičnog tijela. Dok strujanje realnog fluida nije u svim točkama presjeka iste brzine, odnosno u sredini cijevi ono je najbrže, a prema rubovima usporava te uz samu stijenku ono je jednako nuli.

2.1.1. Vrste strujanja prema putanji

Prema putanji, kod strujanja razlikujemo laminarno, prijelazno i turbulentno strujanje. Laminarno strujanje je gdje sve čestice u sloju fluida imaju istu brzinu, to jest svi slojevi fluida gibaju se paralelno i kao takav giba se sporo. Dijagram laminarnog strujanja prikazan je slikom 2.1. Porastom brzine fluida, slojevi se miješaju i nastaje turbulentno strujanje. Turbulentno strujanje karakterizira nejednako gibanje fluida u kojem se slojevi miješaju i brzine čestica razlikuju [5]. Dijagram turbulentnog strujanja prikazan je slikom 2.2.



Slika 2.1. : Grafički prikaz laminarnog strujanja [4]



Slika 2.2. Grafički prikaz turbulentnog strujanja [4]

2.2. Istjecanje

Kako općenito u praksi tako i u ovom eksperimentu javlja se potreba za izračunavanjem protoka kroz otvore na dnu posuda ili njihovim bočnim stijenkama u okolinu, točnije proračunom istjecanja. Prema tome razlikujemo dvije vrste istjecanja fluida, stacionarno i nestacionarno istjecanje.

2.2.1. Nestacionarno istjecanje

Istjecanje tekućine iz otvorenog spremnika je nestacionarna pojava u slučaju ako se ona ne nadoknađuje ili u slučaju ako površina razine u spremniku nije velika u odnosu na površinu otvora. Uz konstantnu visinu spremnika, brzina istjecanja iz spremnika kroz otvor na dnu je konstantna i može se odrediti prema Torricelievom zakonu [1].

2.2.2. Stacionarno istjecanje

Istjecanje tekućine iz spremnika uz konstantnu razinu moguće je u različitim uvjetima i kao takvog tumačimo ga kao stacionarno istjecanje.

Razlike u stacionarnim istjecanjima nastaju ovisno o vrstama i načinima pražnjenja. Prema veličini otvora razlikujemo stacionarno strujanje kroz uski otvor ili kroz široki otvor. Dok prema načinu pražnjenja istjecanje će ovisi o tome je li otvor potpuno uronjen ili djelomično.

U realnim uvjetima, kada u obzir uzmemo viskoznost fluida, otpore i površinsku napetost, brzina istjecanja uvijek je manja od teoretske [1].

2.3. Mehanika fluida mlazova

Mlaz je struja tekućine koja istječe iz jednog sustava u drugi, obično kroz nekakvu mlaznicu ili otvor.

Već smo definirali da mlaz može biti stacionaran ili nestacionaran, no u prirodi na način istjecanja, odnosno na izvedbu mlaza najviše utječu količina gibanja fluida i razlika u gustoćama fluida koji se miješaju.

Obzirom na razlike u gustoćama, te početnu brzinu vode, razlikujemo tri moguće pojave, mlazove, perjanice i uzgonske mlazove.

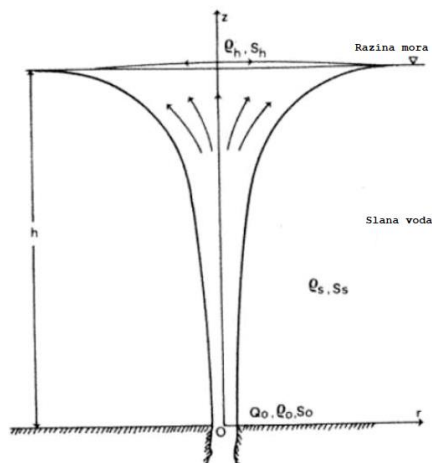
2.3.1. Mlazovi

Prva moguća pojava do koje dolazi pri istjecanju je mlaz. Mlaz će nastati ako dolazi do istjecanja i miješaju fluida istih gustoća. Uz početnu brzinu vode koja istječe, te pod utjecajem inercijalnih sila formirat će se mlaz vode [3].

2.3.2. Perjanice

Perjanice su uobičajene pojave istjecanja tekućine u prirodi. One nastaju u slučaju kada nam je brzina istjecanja fluida jako mala, odnosno zanemariva, a gustoće fluida koji se miješaju (slatka voda i slana morska) različite, tada prevladava utjecaj uzgonske sile[3]. Pod utjecajem uzgona dolazi do uzlaznog gibanja „plutajućeg“ fluida prema gore, od izvora [12].

Kao što je vidljivo na prikazu Slika 2.3. za perjanice je karakteristično da se šire prema površini mora, a ovisno o njenoj jačini mogu biti vidljive i lako uočljive na morskoj površini.

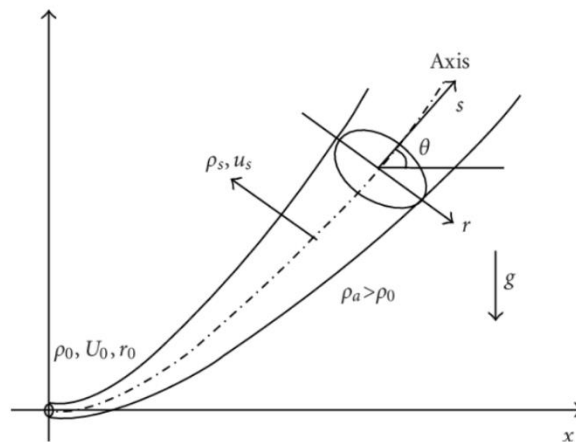


Slika 2.3.: Prikaz perjanica [8]

2.3.3. Uzgonski mlaz

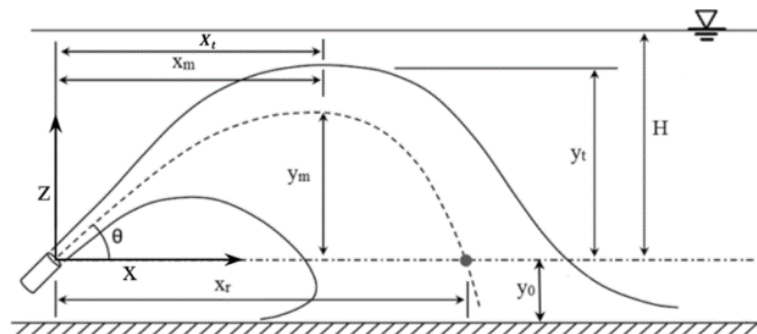
Treća moguća pojava i ujedno i najčešća pojava kod podmorskih izvora je gdje uz svoju početnu brzinu i različitu gustoću u odnosu na slanu morskou vodu, voda formira uzgonski mlaz. U blizini izvora dominantan utjecaj će imati inercijalne sile, dok će udaljavanjem od izvora dominantan utjecaj imati uzgonske sile, na taj način starajući uzgonske mlazove [3].

Ako mlaz vode ima svoju početnu brzinu i gustoću manju od gustoće morske vode nastaje pozitivan uzgonski mlaz, kao što je prikazano na slici 2.4.



Slika 2.4. : Prikaz pozitivnog uzgonskog mlaza [6]

Dok u slučaju gdje je gustoća izvorske vode veća od gustoće morske vode uz početnu brzinu mlaza, nastaje negativan uzgonski mlaz, prikazano na slici 2.5.. Smjer gibanja mlaza određen je položajem i oblikom otvora.

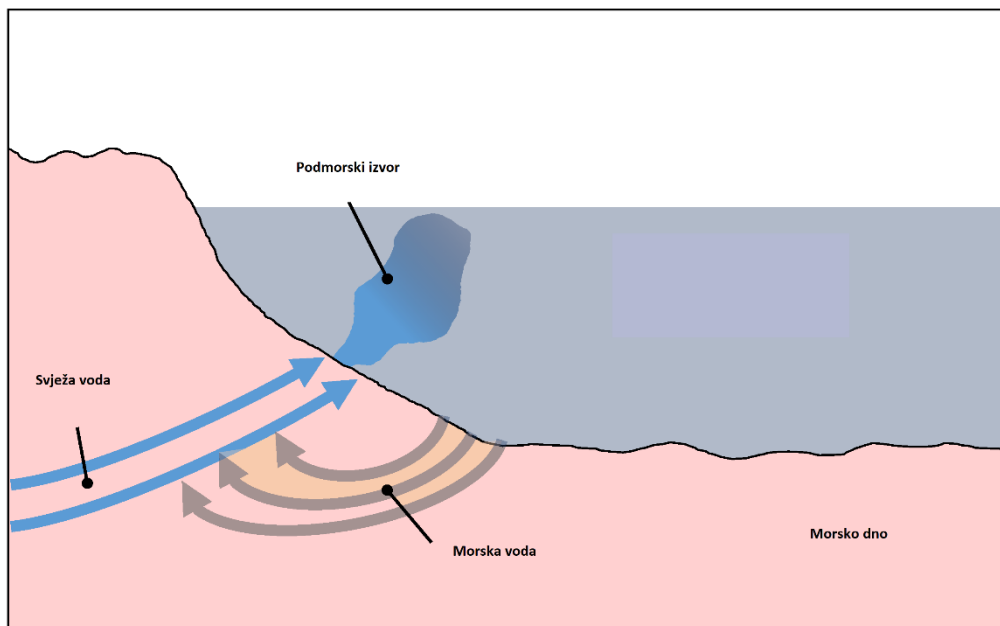


Slika 2.5.: Prikaz negativnog uzgonskog mlaza [7]

3. PODMORSKI IZVORI

3.1. Fenomen podmorskih izvora

Fenomen podmorskih izvora hidrološki je proces do kojeg dolazi na obalama krškoga tipa, kod kojih u određenim periodima godine dolazi do ispuštanja slatke podzemne vode s kopna u more. Do nastanka podmorskih izvora dolazi zbog geomorfoloških procesa koji su se odvijali kroz dugu povijest te zbog značajnih promjena razine mora. Za pojavu podmorskih izvora u Jadranskom moru najutjecajniji pad morske razine dogodio se na prijelazu iz miocena u pliocen, još se naziva kao „mesinska kriza saliniteta“, kada se razina mora spustila za 1500 m [8]. Podmorski izvori česta su pojava na obali Jadrana i na tim područjima svojom pojavom značajno utječu na kvalitetu mora. Ovisno o njihovoj učestalosti i vrsti mlaza izvora oni mogu značajno utjecati na sastav morske vode, životinjski svijet tog područja, ali i način širenja onečišćenja koja se ispuštaju u more. Jednostavni prikaz fenomena prikazan je slikom 3.1.



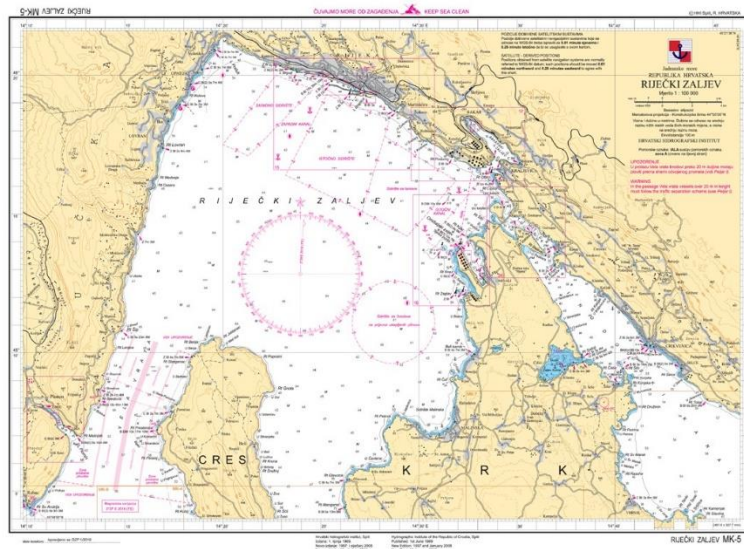
Slika 3.1. : Presjek podmorskog izvora [10]

3.2. Izvori u priobalnom području Riječkog zaljeva

U sklopu ovog rada problematika podmorskih izvora promatrala se za područje Riječkog zaljeva.

Područje Riječkog zaljeva, tj. unutarnji dio Kvarnerskog zaljeva, prikazan slikom 3.2., obuhvaća morski prostor između sjeveroistočne istarske obale i obale Hrvatskog primorja, do Bakarskog zaljeva s jedne strane, zapadne obale otoka Krka i sjeverne obale otoka Cresa sa druge strane [11].

Na širenje ispuštene podzemne vode, te njeno miješanje sa slanom morskom vodom utječu i karakteristike morskog područja i uvjeti u kojima se ispušta. Tako na području Riječkog zaljeva značajan čimbenik su podmorski izvori karakteristični za ovo područje.



Slika 3.2. : Područje Riječkog zaljeva [9]

Obala Riječkog zaljeva tipa je stjenovitih erozijskih obala i pod utjecajem promjene razine mora, uz ostatak Jadranske obale postala je podložna pojavi podmorskih izvora slatke vode.

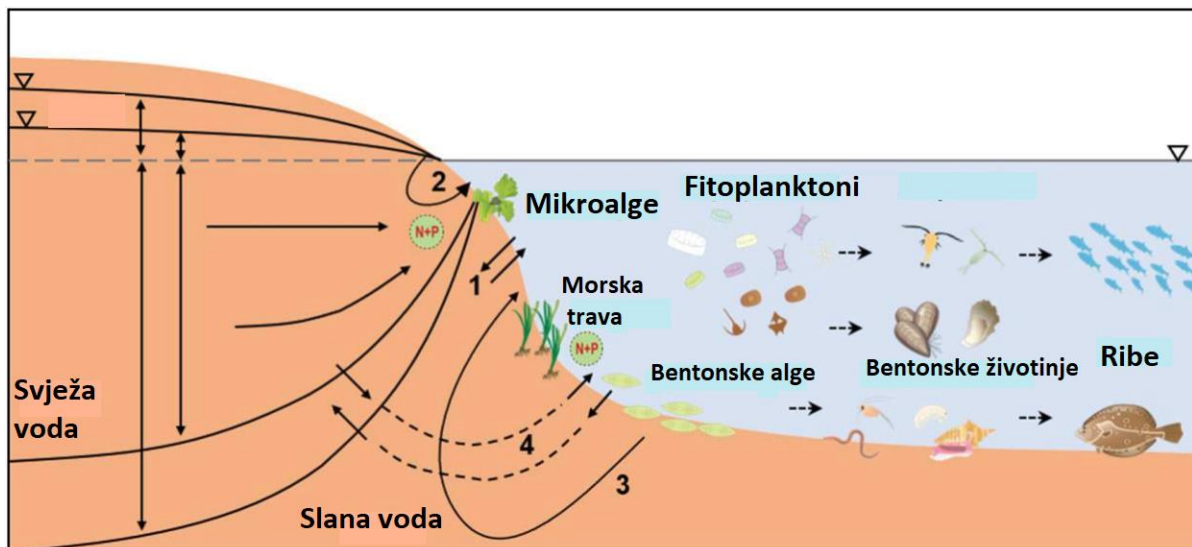
3.3. Utjecaj i problematika podzemskih izvora

Sastav i kvaliteta vode koja se ispušta u podzemskim izvorima nije konstantna, već se ovisno o raznim čimbenicima mijenja kroz period godine. Isto tako duljina mlaza varira od 8 do 23 m, obično na dubinama između 10 do 30 m [8].

Ovisno o količini vode koja se ispušta iz izvora, ona može značajno utjecati na ekosustav, kvalitetu morske vode tog područja, razne hidrološke cikluse i otpuštanje hranjivih tvari i plinova.

Brojna istraživanja pokazala su da prisustvo bočate vode u moru, te ispuštanje hranjivih tvari iz podzemne vode može doprinosti obalnom ribarstvu i uzgoju školjki, kao što je prikazano ilustracijom na slici 3.3. Unatoč svojim pozitivnim utjecajima na ekosustav priobalnog područja bogatog podzemskim izvorima, procjenjuje se da za 26% svjetskih estuarija, 17% slanih močvara i 14% koraljnih grebena, tokovi podzemne vode veći je od 25% (riječkog) toka i kao takav predstavlja rizik za onečišćenje i eutrofikaciju [15]. Također nakon istraživanja utjecaja ispusta podzemnih voda naglašava se kritička važnost pravilnog karakteriziranja unosa hranjivih tvari i metala u određenim primorskim sredinama [14].

Podzemni izvori u blizinama većih urbanih zona i gradova svojom pojavom mogu djelovati negativno raznoseći onečišćenja koja dolaze u more putem ispusta ili mogu sami nositi onečišćenje njegovim prodorom u zemlju.



Slika 3.3.: Utjecaj podzemskih izvora na ekosustav [13]

3.3.1. Širenje onečišćenja podmorskim izvorima

Ispuštanje podzemne vode u zadnjih nekoliko desetljeća prepoznato je kao važan mehanizam za prijenos onečišćujućih tvari sa kopna u more.

Kao što je već spomenuto, podmorski ispusti u more ne ispuštaju samo hranjive tvari pogodne za razvoj života u moru, već i otopljene metale i patogene [15].

Koncentracija onečišćujućih tvari u priobalnim vodama i njihov utjecaj na morsko područje ne ovisi samo o tokovima onečišćujućih tvari već i o intenzitetu miješanja i izmjene energije sa morskom vodom. Stoga da bismo utvrdili veličinu utjecaja ispusta na njegovo morsko područje treba uzeti u obzir veličinu podmorskog ispuštanja podzemne vode i intenzitet miješanja u obalnom morskom području [15].

Eksperimentalnom analizom mlaza pokazali smo kako se fluidi međusobno miješaju i pobliže opisati ponašanje vode iz ispusta.

Obzirom da se unazad zadnjih par desetljeća tek počeo istraživati njihov utjecaj, 2000. godine Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) i UNESCO zajedno su pokrenuli inicijativu za procjenu važnosti podmorskih izvora [15].

Istraživanja su pokazala da onečišćeni podzemni izvori u otvorenim morima nemaju značajan utjecaj na okoliš, no u poluzatvorenim zaljevima ili u priobalnim područjima mora sa slabim djelovanjem valova i cirkulacijom oni značajno mijenjaju kvalitetu morske vode, jer se u tom slučaju onečišćenje zadržava na karakterističnom području i njegova koncentracija raste u određenom vremenskom periodu [16].

Obzirom da se podzemna voda ispušta direktno u more sa cijelim svojim sastavom, važno je naglasiti da je takvo ispuštanje mogući put za ulazak onečišćenja u obalno područje, gdje su obalni vodonosnici kontaminirani septičkim sustavima ili drugim izvorima onečišćenja.

Unatoč tomu što je utjecaj podzemnih voda na more malo, dovoljno je da se ne bi zanemarilo.

Studije koje se provode zadnjih godina, koncentraciju zagađivača u podzemnim voda doveli su u korelaciju sa gustoćom naseljenosti i poljoprivrednih aktivnosti. Sve veći stambeni i komercijalni razvoj na obalnim područjima uvelike pridonose povećanju hranjivih i patogenih tvari u podzemnim vodama [15].

Jednom kada onečišćenja dospiju u more, morske struje i valovi raznose ih po okolnom morskom području.

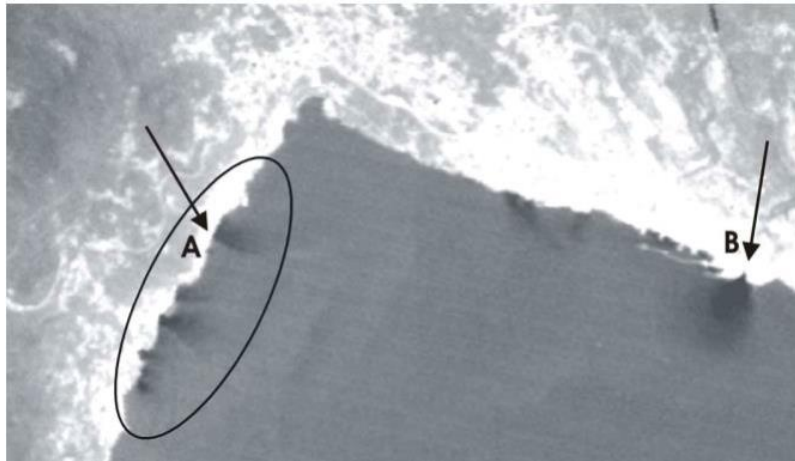
3.4. Pojava podmorskih izvora i njihovo uočavanje

Pojava podmorskih izvora nije konstantna, tj. njihovo prisustvo ovisi o brojnim čimbenicima. Najaktivnije su u jesen, zimu i proljeće kada su kiše najčešće ili kada dolazi do otapanja snijega [8]. Povećane padaline jačaju protok i cirkulaciju vode te na kraju njihovo izbijanje na dnu mora. Također na njihovo prisustvo mogu utjecati i plima i oseka, jer se razina mora i razlika u gustoći slane vode mijenja [8]. Isto tako povećani valovi ne djeluju pozitivno na pojavu izvora. Uz činjenicu to što nisu konstantna pojava, njihovo uočavanje i praćenje otežava i to što obično nisu vidljive na površini. Iako brzina i razlika u gustoćama uzrokuje da se slatka voda miješa sa morskom vodom i diže na površinu mora, njih je jako teško uočavati.

Prisustvo podmorskih izvora slatke vode može se zaključiti pojava koje nisu uobičajene. Osim što se kod prisustva podmorskih izvora na morskom dnu mogu zamijetiti mjehurići, također okolni sedimentni mogu biti obojeni crveno, zbog oksidacije željeza. Razine radija, radona, sumporovodika ili ugljičnog dioksida mogu biti povišene [15].

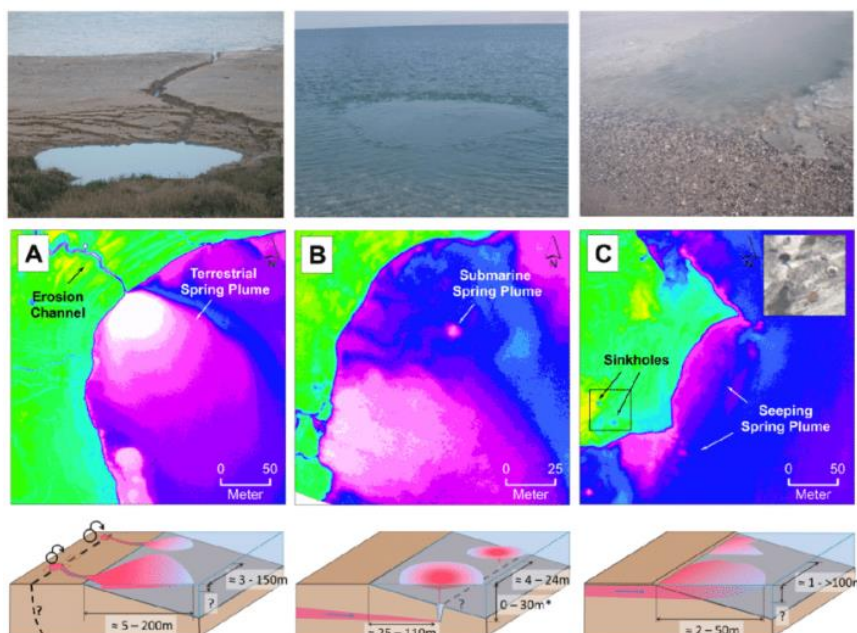
Evidentiraju se anomalijama hladne vode u otvorenim vodama tijekom ljeta i anomalijama tople vode zimi, te anomalijama saliniteta. Oblake plutajuće podzemne vode niže gustoće mogu se detektirati digitalnim toplinskim infracrvenim kamerama na lakim letjelicama ili dronovima [15].

Osim u znanstvene svrhe lociranje podzemnih izvora bitno je u slučaju njihovog potencijalnog zagađivanja priobalnog područja, utjecaja na morski život ili u svrhe iskorištavanja kao pitke vode.



Slika 3.4.: Infracrvena termalna satelitska snimka u Riječkom zaljevu [8]

Ovisno o području u kojem se podzemna voda nalazi ona ima određenu temperaturu, no ustanovljeno je da je ona obično niska i različita u odnosu na temperaturu morske vode. Upravo na temelju razlika temperatura i energije koja se izmjenjuje između hladnije slatke vode iz izvora i nešto toplije morske vode, podzemne izvore moguće je uočiti pomoću termalnih kamera. Primjeri podmorskih izvora snimljenih satelitima sa termalnim kamerama prikazani su slikom 3.4. i slikom 3.5.



Slika 3.5.: Satelitski prikazi podmorskih izvora [17]

3.4.1. Termalne kamere

Infracrvena termografija ili termografsko snimanje koriste termografske kamere koje opažaju zračenje u infracrvenom pojasu elektromagnetskog spektra

(otprilike 900-14000 nanometara) te stvaraju snimke tog zračenja odnosno termograme. Infracrveno zračenje emitiraju sva tijela koja imaju određenu temperaturu. Pri korištenju termografske kamere jasno se vidi razlika između hladnih i toplih predmeta ili fluida.

Primjena termalnih kamera široka je. Koriste se u medicini i termalnom snimanju kod potencijalno zaraženih ljudi, vatrogasci ih koriste kako bi vidjeli kroz dim, kod održavanja dalekovoda za uočavanje pregrijanih spojeva itd [18].

Između ostalog primjena termalnih kamera izražena je kod istraživanja i lociranja podmorskih izvora te praćenje njihovog širenja i miješanja sa morskom vodom [18]. Primjere jedne termalne kamere sa općom primjenom prikazan je na slici 3.7.

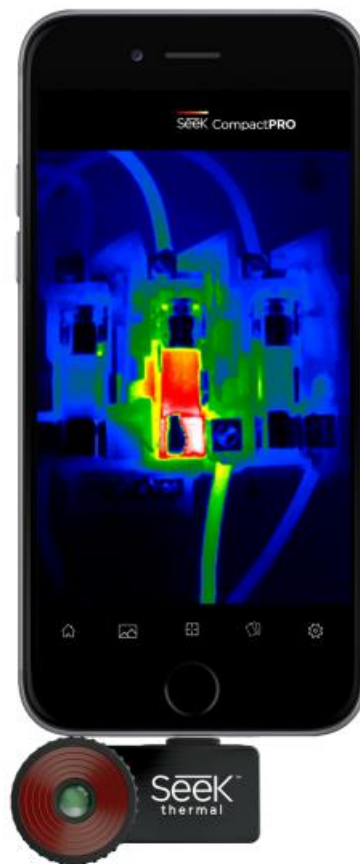


Slika 3.7.: Primjer termalne kamere (proizvođača Autel)) [19]

Termalna kamera korištena kod analize mlaza je CompactPRO prijenosna termalna kamera dizajnirana za pametne telefone, sa slike 3.8. Kamera ima veliki toplinski senzor (320x240) sa visokom osjetljivošću i širokim poljem pregleda (od 32°). Sa ovakvim značajkama te uz podesiv toplinski raspon, razinu i postavke emisivnosti pri analizi mlaza, odnosno prilikom snimanja, ona daje fotografije (i snimke) visoke razlučivosti [20].

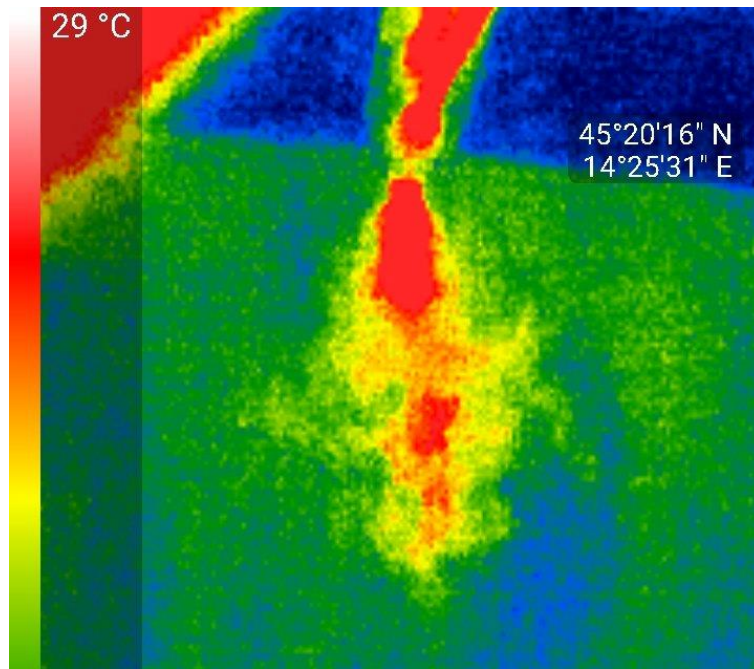
Za valjanost eksperimenta te za njegovu jasnoću, kvaliteta snimaka je jako bitna, upravo na temelju njih mogli smo pratiti ponašanje dvaju fluida. Osnovne karakteristike Compact PRO termalne kamere korištene u eksperimentu jesu senzor sa visokom razlučivosti, podesiva emisivost, široki raspon pregleda od 32° , fokusirajuća leća za brzu identifikaciju, korištenje snage i zaslona pametnog telefona, te vodootpornost [20].

Ovakva termalna kamera vrlo je kompaktna te joj je primjena široka, te se može koristiti u inspekciji električnih instalacija, krovova ili izolacije [20].

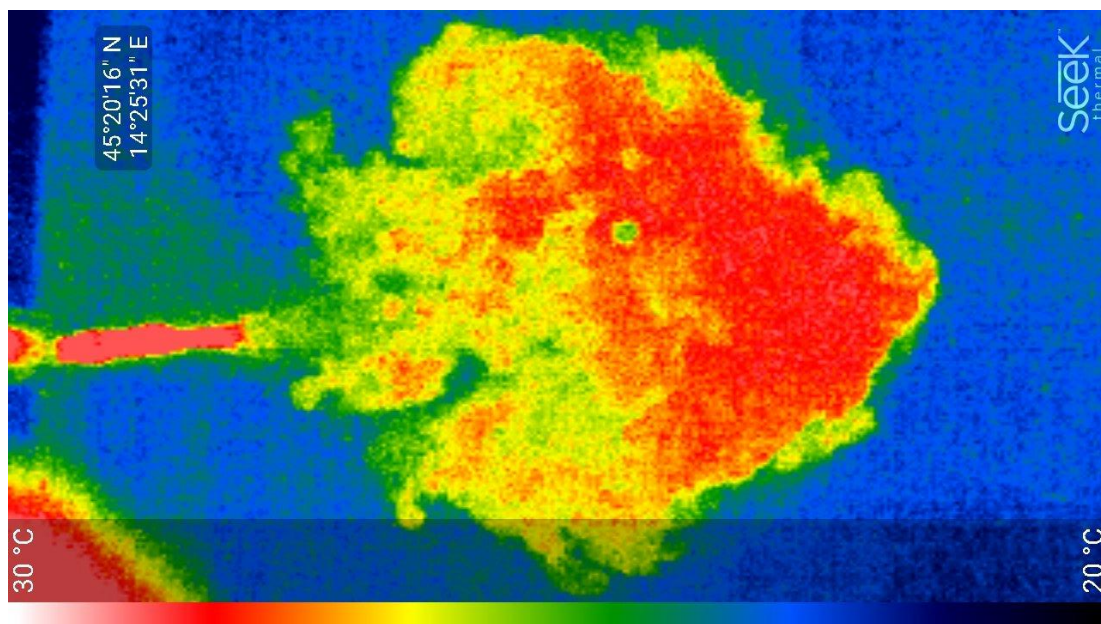


Slika 3.8.: Termalna kamera korištena u eksperimentalnoj analizi mlaza (CompactPRO) [20]

Prije provođenja eksperimenta provjerila se ispravnost termalne kamere, te su na taj način snimljene slike 3.9. i 3.10. na kojima su jasno vidljivi mlazovi vode korištene pri provjeri.



Slika 3.9.: Snimka zabilježena termalnom kamerom prilikom pripreme i provjere opreme



Slika 3.10.: Snimka zabilježena termalnom kamerom prilikom pripreme i provjere opreme

4. MEHANIKA FLUIDA PODMORSKIH IZVORA

Fizikalno ponašanje podmorskih izvora objašnjeno je kroz opise mlazova jer upravo na taj način se evidentiraju. No kao rezultate istraživanja dobili smo detaljnije fizikalne zakonitosti kojima možemo pobliže opisati njihovo ponašanje.

U geografskim područjima tokove podzemne i morske vode pokreću različiti čimbenici. Obje vrste, neovisno o svome sastavu mogu normalno cirkulirati morskim sedimentima zbog prirodnog ponašanja mora (valovi, struje).

Protok slatke i slane morske vode kontroliran je hidrauličkim gradijentima između kopna i mora te razlikama u gustoćama voda (i propusnosti sedimenta) [21].

Kako bismo fizički opisali ponašanje slatke vode u moru bitno nam je nekoliko postavljenih zakonitosti, koje dovoljno dobro opisuju ponašanje vode pri podmorskim ispustima.

Prema Drabbeu, Badon-Ghijbenu i Herzbergu definiran je odnos debljina slatkovodne leće ispod razine mora (z) i debljine razine slatke vode iznad razine mora (h) [21].

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot h \quad (4.1.)$$

z – debljina između granice slane i slatke vode i razine mora, [m]

h – debljina između vrhova slatkovodne leće i razine mora, [m]

ρ_f – gustoća slatke vode, [g cm^{-3}]

ρ_s – gustoća slane vode, [g cm^{-3}]

Za gustoću slatke vode uzima se da je 1 g cm^{-3} , a za gustoću morske vode $1,025 \text{ g cm}^{-3}$.

4.1. Darcyjev zakon

Darcyjev zakon još jedan je od fizikalnih zakonitosti koji koristimo za opisivanje ponašanja podzemne vode koja izvire ispod površine mora. Zakon proizlazi iz laboratorijskih eksperimenata izvedenih od strane znanstvenika Henryja Darcy.

Svojim eksperimentom pokazao je da specifični protok kroz potpuno zasićeni cilindar ispunjen pijeskom izravno proporcionalan razlici između ulazne i izlazne razine vode kada je duljina cilindra konstanta, te obrnuto proporcionalan duljini cilindra kada je razlika između ulazne i izlazne razine vode konstantna [22].

Općenito, zakon je primjenjiv istjecanje podzemne vode u morsku vodu, odnosno on konkretno definira proces slojevitog procjeđivanja podzemne vode kroz homogeno tlo, kao što je prikazano ilustracijom na slici 4.2..

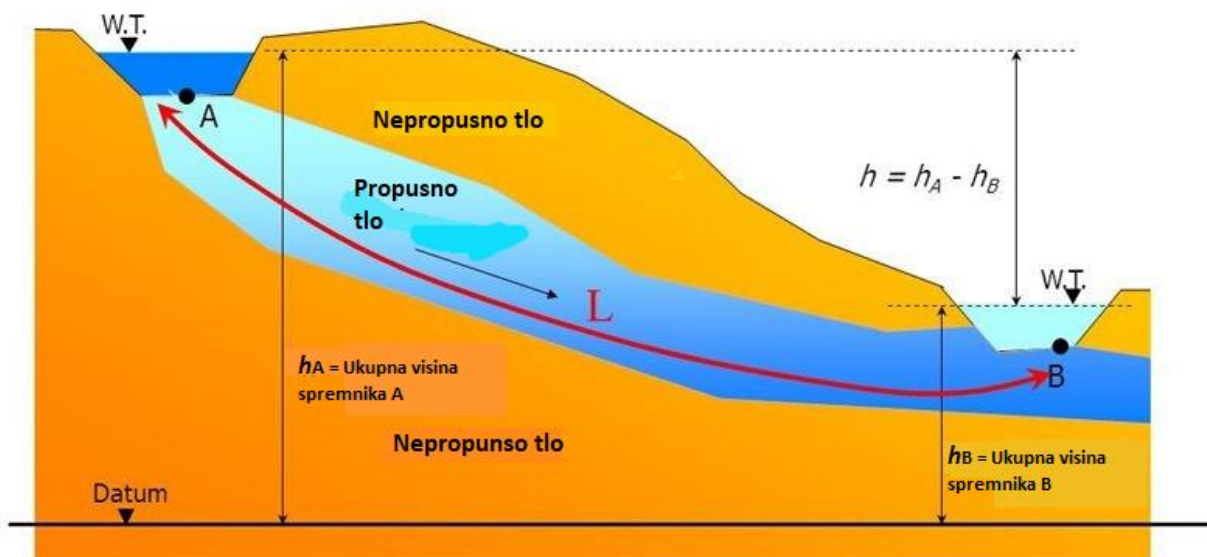
Fizikalni zapis Darcyjevog zakona:

$$v = -K \frac{dh}{dl} \quad (4.2.)$$

v – brzina strujanja specifičnog protoka, [m/s]

K – konstanta proporcionalnosti, hidraulička vodljivost

$\frac{dh}{dl}$ – hidraulički gradijent



Slika 4.2.: Ilustracija primjene Darcyjevog zakona[23]

4.2. Reynoldsov broj

Reynoldsov broj je bezdimenzijska značajka koju koristimo za utvrđivanje vrste strujanja strujanja fluida prema putanji, u određenim uvjetima.

Kao što je na početku rada definirano strujanje fluida može biti laminarno, prijelazno ili turbulentno i kao takve opisujemo ih Reynoldsovim brojem [24].

Reynoldsov broj računamo prema izrazu:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta} = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4.3.)$$

v – najveća brzina strujanja, [m/s]

l – odabrana duljina promatranja (cijev, kanal i sl.), [m]

η – dinamička viskoznost fluida, [Pa·s]

ν – kinematička viskoznost fluida, [m²/s]

ρ – gustoća fluida, [kg / m³]

d – promjer cijevi, [m]

Za $\text{Re} < 2300$ vrijedi da je strujanje laminarno.

Za $2300 < \text{Re} < 4000$ vrijedi da je prijelazno strujanje.

Za $\text{Re} > 4000$ vrijedi da je strujanje turbulentno.

4.3. Froudeov broj

Froudeov broj još jedna je bezdimenzijska značajka u mehanici fluida koja nam je bitna kod opisivanja ponašanja podmorskih izvora, koja nam služi za analizu mlazova i usporedbu dobivenih rezultata sa različitim postavkama.

Froudeov broj jedan je od najvažnijih parametara koje računamo kod istjecanja, stoga nam je bitan i kod mlazova podmorskih izvora.

Froudeov broj funkcija je gustoće i u korelaciji je sa mnogim karakteristikama protoka. Prema tome gustoća podzemne vode kontrolira karakteristike mlaza [25].

Izraz kojim računamo Froudeov broj za izražavanje odnosa inercijalnih i gravitacijskih sila pri strujanju fluida :

$$F_r = \frac{v_0}{\sqrt{g' \cdot D}} \quad (4.4.)$$

Gdje je g' :

$$g' = g \cdot \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \quad (4.5.)$$

v_0 – početna brzina strujanja fluida, [m/s]

g – gravitacijsko ubrzanje, [m/s²]

D – promjer ispusta, [m]

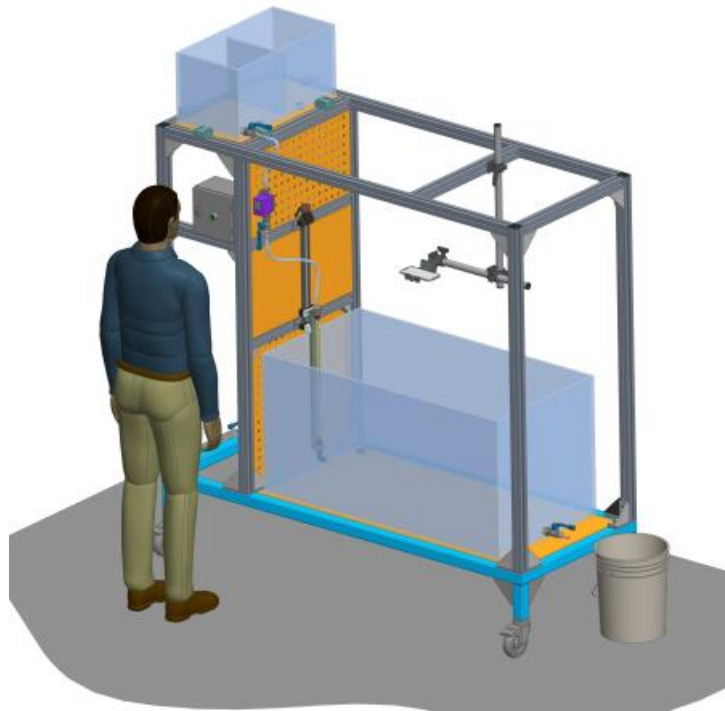
ρ_a – gustoća okolne vode, [kg/m³]

ρ_0 – gustoća vode mlaza, [kg/m³]

5. EKSPERIMENT MLAZOM

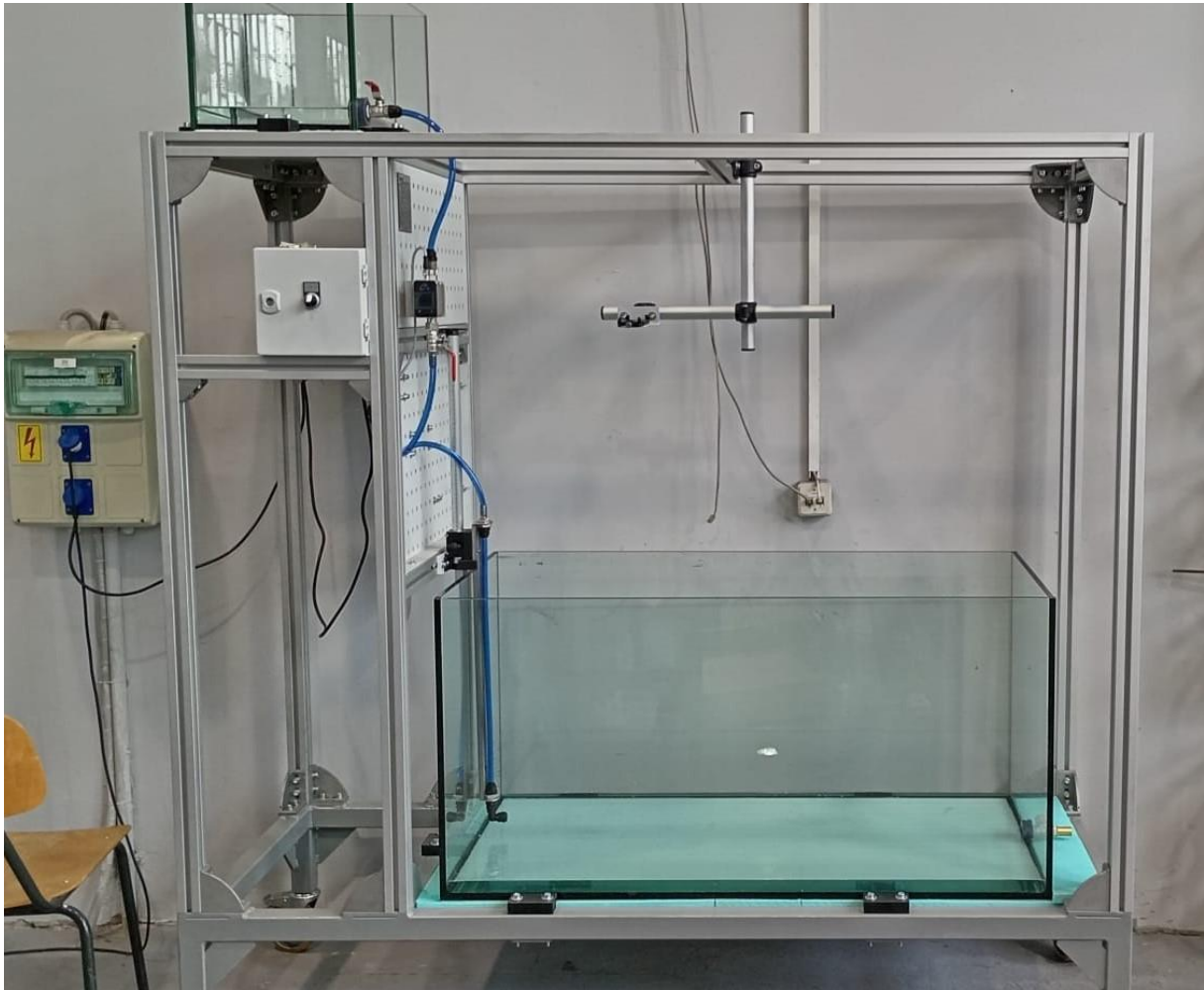
5.1. Oprema za ispitivanje

Eksperimentom smo pokazali kako se voda podmorskih izvora ispušta u morsku vodu, te kako se miješaju vode različitih temperatura.



Slika 5.1.: Dio nacрта sa opremom za izvođenje eksperimenta (iz projekta - N068_23_1_00_00; firme SINEL d.o.o.) [27]

Oprema sa slike 5.1., koja je korištena za analizu podmorskih izvora jest: gornji spremnik sa preljevnom pregradom (dimenzija 600 x 300 x 300 mm), donji spremnik (dimenzija 1200 x 600 x 600 mm), ON/OFF ventil, ventil za regulaciju protoka, brzorastavni priključak za sapnicu, sklopka za pokretanje pumpe, pumpa, elektro ormar za napajanje pumpe i senzora, digitalni mjerač protoka i temperature sa zaslonom, linearni modul za namještanje visine mlaznice sa indikatorom pozicija, blok za pridržavanje spremnika, nosač za kameru i termalna kamera.



Slika 5.2.: Iz laboratorija – oprema za eksperiment

Prije izvedbe eksperimenta provela se provjera opreme namijenjene za eksperiment. Na slici 5.2. prikazana je oprema u laboratoriju netom prije provjere.

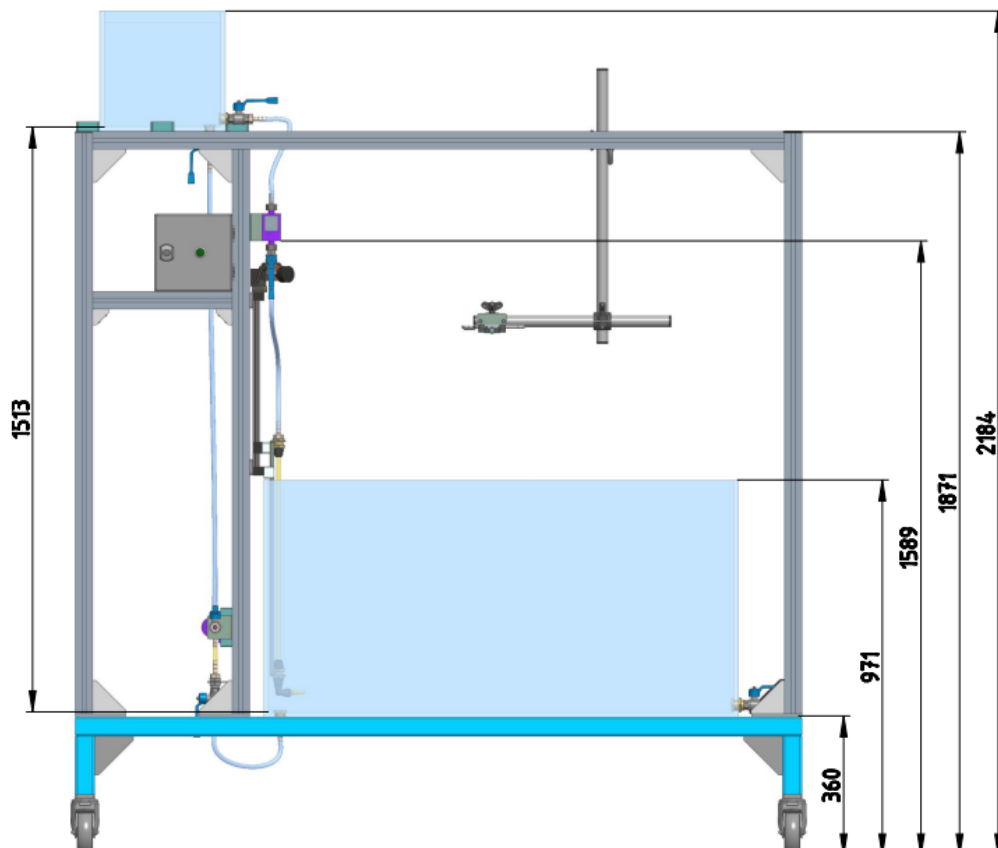
Ovim eksperimentom analiziramo ponašanje podmorskih izvora, odnosno istjecanje podzemne vode sa određenom početnom brzinom strujanja uz konstantnu razinu vode. Gornji spremnik u kojeg punimo vodu više temperature, podijeljen je na dva dijela preljevnom pregradom za održavanje konstantne razine fluida i konstantan protok iz mlaznice. Otvaranjem ventila na gornjem spremniku i pokretanjem pumpe tekućina se ispušta u odvodnu cijev i kroz sapnicu na njenom kraju ispušta se u veliki donji spremnik. Na odvodnoj cijevi nalazi se digitalni mjerač protoka i temperature i ventil za regulaciju protoka.

Iznad donjeg spremnika na konstrukciju je spojen nosač za termalnu kameru koji je podesiv po x, y i z osi. Obzirom na željenu snimku eksperimenta, termalnu kameru i nosač podesimo na određenu poziciju.

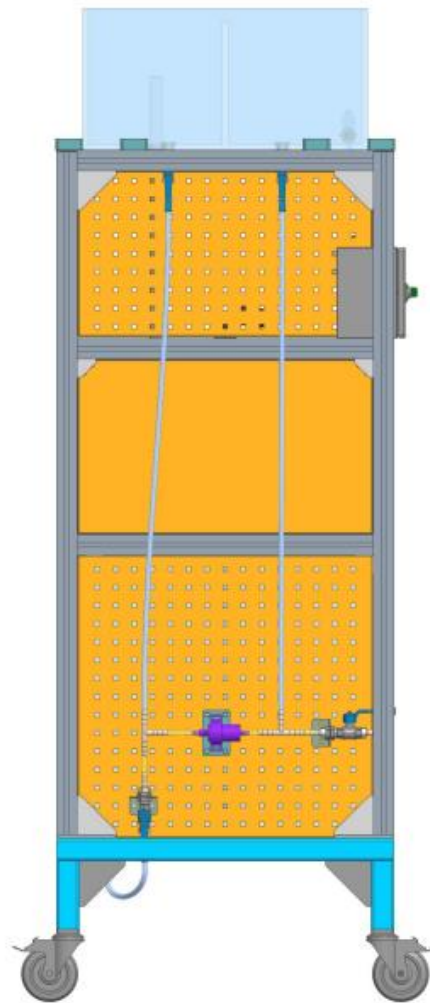
Kroz sapnicu tekućina se ispušta u donji spremnik.

Kako bismo mogli primijeniti svojstva termalnih kamera, donji spremnik djelomično napunimo hladnijom vodom. Ispuštanjem toplije vode (iz gornjeg spremnika) kroz sapnicu, termalnom kamerom bilježimo miješanje toplije i hladnije vode i njihovo međusobno ponašanje, čime pokazujemo ponašanje ulaska hladne podzemne vode u topliju morsku vodu. Za ispuštanje pomiješanih tekućina iz velikog spremnika imamo ventil za pražnjenje sa priključkom za crijevo promjera 15 mm.

Detaljniji prikaz sklopa korišten u analizi vidljiv je na slici 5.3. iz službene dokumentacije opreme.



Slika 5.3.: Nacrt sklopa (iz službene dokumentacije firme SINEL d.o.o) [27]



Slika 5.4.: Fotografija stražnjeg dijela konstrukcije(iz laboratorija) i nacrt iz službene

Na stražnjem dijelu konstrukcije kao što je vidljivo na slici 5.4., nalaze se tlačno i usisno crijevo sa zasebnim ventilima spojeni za gornji spremnik. Njihova uloga je pražnjenje gornjeg spremnika po završetku eksperimenta.

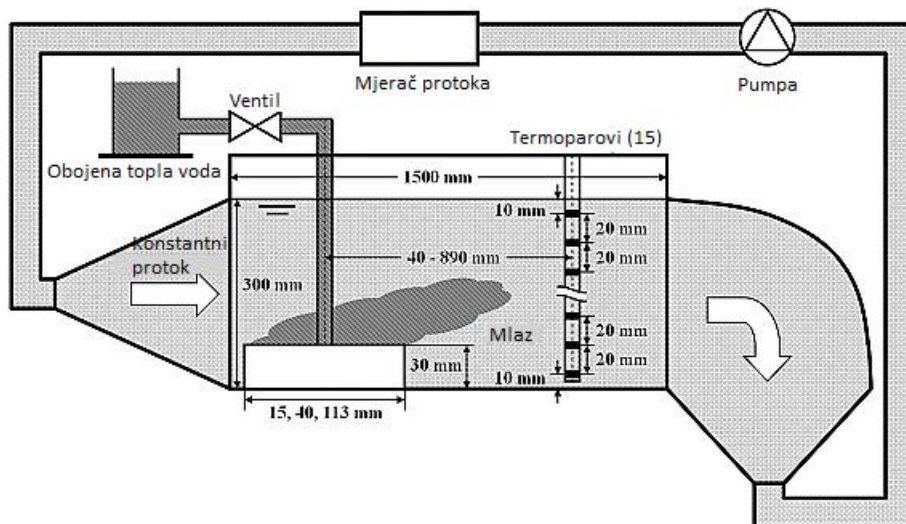
5.2. Važnost eksperimentalne analize

Kao i za sve neuobičajene pojave i fenomene koje imaju mogućnost značajno narušiti ili poboljšati ekosustav, bitno je njihovo detaljnije istraživanje i procjena veličine njihovih utjecaja.

Ovim eksperimentom nastoje se utvrditi veze između protoka i načina miješanja fluida, uz potencijalnu primjenu naučenog na podmorske izvore.

Na sličan način izveden je hidraulički eksperiment u vodnom tunelu sa slike 5.5. (smanjeni model podmorskog izvora) gdje je otkriveno da se flotacijska putanja oblaka niske brzine, kao što je ispuštanje podzemne vode s morskog dna, razlikuje od putanje oblaka velike brzine, poput dima iz dimnjaka ili zagrijane vode iz elektrane. Model je dobro reproducirao eksperimentalno opaženo ponašanje plutajućih trajektorija koja se kreću duž dna spremnika blizu točke pražnjenja [26].

Korištenjem dobivenih rezultata tog modela, može se procijeniti putanja plutanja ispuštene vode, ako su zadani omjer brzine, promjer točke ispusta i gustoća ispuštene vode [26].

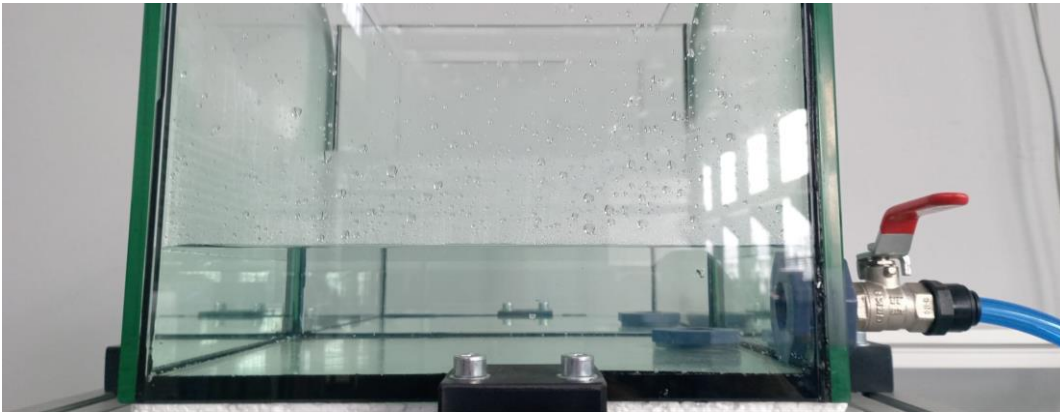


Slika 5.5. Vodni tunel korišten kao oprema za eksperiment[26]

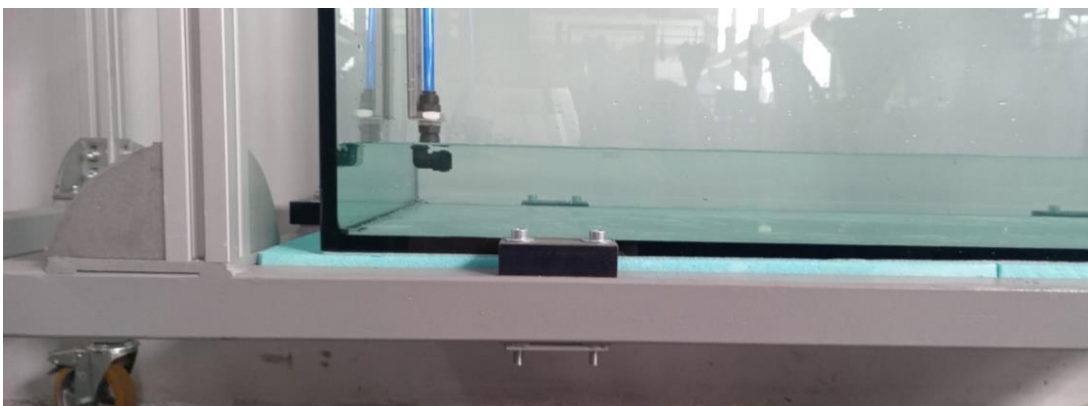
6. REZULTAT EKSPERIMENTA

6.1. Izvođenje eksperimentalne analize

Eksperiment kojim smo pobliže analizirali ponašanje istjecanje podzemnih voda u more izveli smo uz pomoć opreme koja je opisana u prethodnom poglavlju. Kako bismo termalnom kamerom zabilježili miješanje, korišteni su fluidi (voda) različitih temperatura. Gornji spremnik napunjen je iznad razine odvodne cijevi vodom više temperature, kao što je prikazano na slici 6.1., dok je donji veliki bazen napunjen hladnijom vodom iznad mlaznice, prikazano na slici 6.2. Na temelju razlika temperatura vode gornjeg i donjeg spremnika, mogli smo njihovo ponašanje zabilježiti termalnom kamerom. Prilikom eksperimentalne analize izvedena su četiri mjerenja.



Slika 6.1.: Razina vode u gornjem spremniku zabilježena prije prvog mjerenja



Slika 6.2.: Razina vode u donjem spremniku zabilježena prije prvog mjerenja

6.1.1. Prvo mjerenje

Pri prvom mjerenju digitalni mjerač za protok i temperaturu očitao je protok od 3600 ml/min i temperaturu u iznosu od 45°C.

$$Q = 3600 \text{ ml/ min} = 0,00006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nu (T = 45 \text{ }^\circ\text{C}) = 6,03 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Reynoldsov broj računamo formulom:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta} = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4.3.)$$

Brzina strujanja u prvom mjerenju (iz jednačbe kontinuiteta):

$$v = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,00006}{0,01^2 \cdot \pi} = 0,746 \text{ m/s} \quad (6.1.)$$

Za dobivene vrijednosti Reynoldsov broj za prvo mjerenje iznosi: (6.1.) u (4.3)

$$\text{Re} = \frac{0,764 \cdot 0,01}{6,03 \cdot 10^{-7}} = 12\,669,98 \quad (6.2.)$$

$$12\,669,98 > 4000$$

Reynoldsov broj za prvo mjerenje veće od 4000 što znači da je strujanje turbulentno.

Froudeov broj za prvo mjerenje iznosi:

$$\rho_a (T=19 \text{ }^\circ\text{C}) = 999,972 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_0 (T=45 \text{ }^\circ\text{C}) = 989,99 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$g' = g \cdot \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \quad (4.5.)$$

$$g' = 9,81 \cdot \frac{999,972 - 989,99}{989,99} = 0,09891 \text{ m/s}^2$$

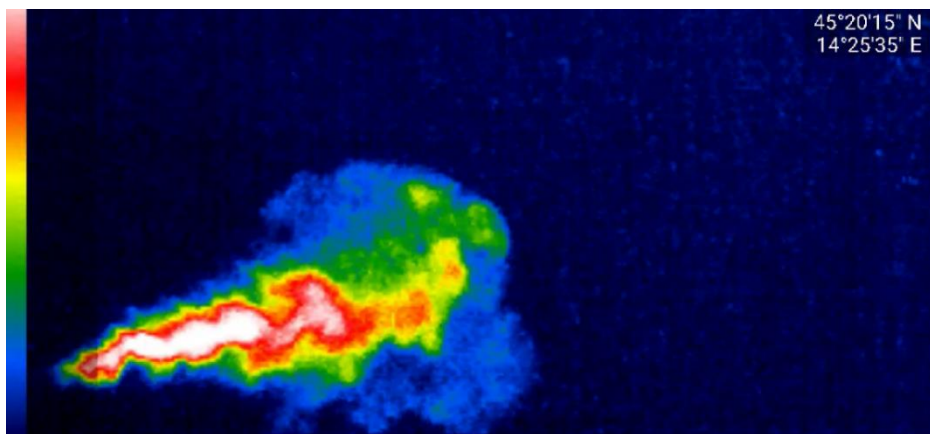
$$F_r = \frac{v_0}{\sqrt{g' \cdot D}} \quad (4.4.)$$

$$F_r = \frac{0,746}{\sqrt{0,09891 \cdot 0,01}} = 23,72$$

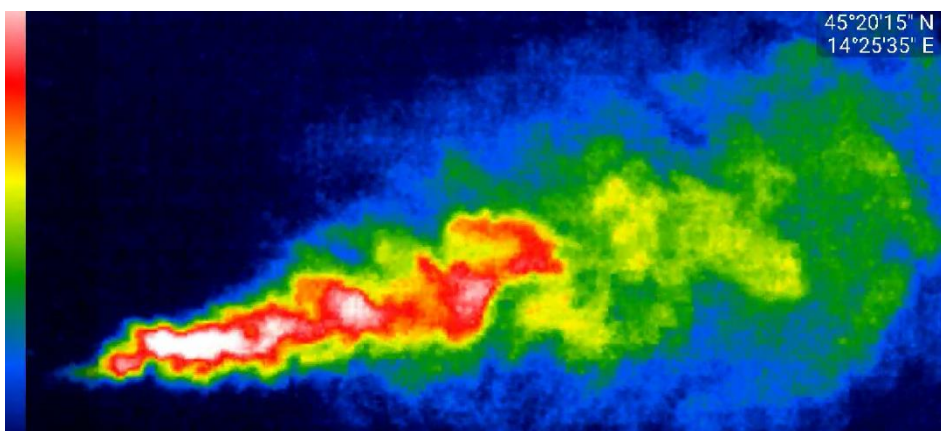
Froudeov broj značajno je veći od 1, što ukazuje da u cijevi prevladavaju inercijalne sile. Termalnom kamerom zabilježen je mlaz tople vode prikazan na slici 6.3 i njegovo miješanje sa hladnom vodom unutar bazena, na slici 6.4. Također na slici 6.5. jasno je vidljivo odbijanje vrtloga sa toplom vodom od stijenke bazena i vrtloženja koja pri tome dodatno nastaju.



Slika 6.3.: Termalnom kamerom zabilježen je mlaz



Slika 6.4.: Termalnom kamerom zabilježeno miješanje tople i hladne vode



Slika 6.5.: Termalnom kamerom odbijanje od stijenke bazena i vrtloženje

6.1.2. Drugo mjerenje

Kod drugog mjerenja digitalni mjerač protoka i temperature zabilježio je protok u iznosu od 1800 ml/min i temperaturu fluida od 50 °C.

$$Q = 1800 \text{ ml/ min} = 0,00003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 50 \text{ °C}$$

$$\nu (T = 50 \text{ °C}) = 5,54 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Reynoldsov broj računamo formule:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta} = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4.3.)$$

Brzina strujanja u drugom mjerenju (iz jednadžbe kontinuiteta):

$$v = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,00003}{0,01^2 \cdot \pi} = 0,382 \text{ m/s} \quad (6.4.)$$

Za dobivene vrijednosti Reynoldsov broj za drugo mjerenje iznosi: (6.4.) u (4.3)

$$Re = \frac{0,382 \cdot 0,01}{5,54 \cdot 10^{-7}} = 6894,06 \quad (6.5.)$$

$$6894,06 > 4000$$

Reynoldsov broj za drugo mjerenje veće od 4000, što znači da je strujanje turbulentno isto kao u prvom mjerenju.

Froudeov broj za drugo mjerenje iznosi:

$$\rho_a (T=21 \text{ °C}) = 999,972 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_0 (T=50 \text{ °C}) = 997,756 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$g' = g \cdot \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \quad (4.5.)$$

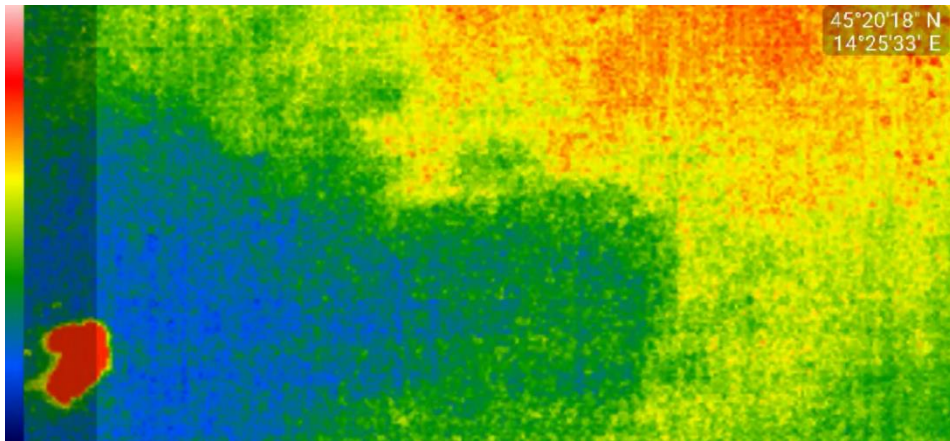
$$g' = 9,81 \cdot \frac{999,972 - 997,756}{997,756} = 0,02179 \text{ m/s}^2$$

$$Fr = \frac{v_0}{\sqrt{g' \cdot D}} \quad (4.4.)$$

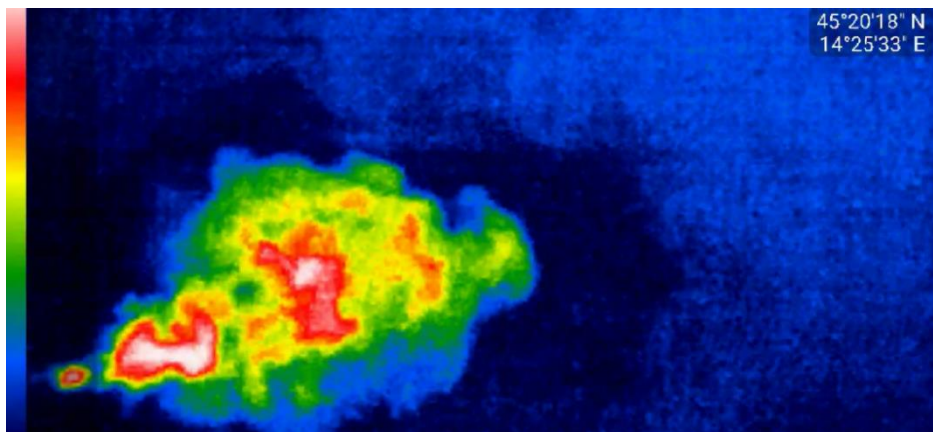
$$Fr = \frac{0,382}{\sqrt{0,02179 \cdot 0,01}} = 25,88$$

Froudeov broj značajno je veći od 1, što ukazuje da u cijevi prevladavaju inercijalne sile.

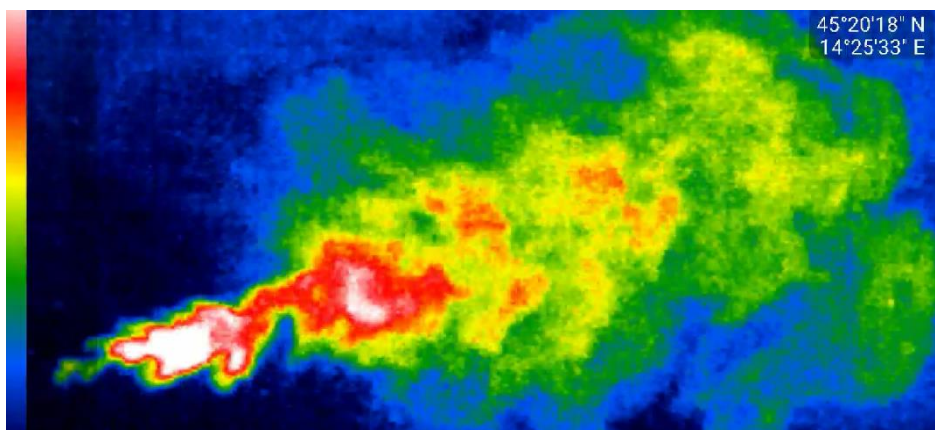
Isto kao u prvom mjerenju termalnom kamerom zabilježen je mlaz na slici 6.6. njegovo miješanje i pojavu mjehurića na slici 6.7. te vrtloženje na slici 6.8.



Slika 6.6.: Termalnom kamerom zabilježen mlaz drugog mjerenja



Slika 6.7.: Termalnom kamerom zabilježeno miješanje i pojava mjehurića



Slika 6.8. Termalnom kamerom zabilježeno miješanje i vrtloženje

6.1.3. Treće mjerenje

Kod trećeg mjerenja digitalni mjerač protoka i temperature zabilježio je protok u iznosu od 2000 ml/min i temperaturu fluida od 49 °C.

$$Q = 2000 \text{ ml/min} = 0,000033 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 49 \text{ °C}$$

$$v(T = 49 \text{ °C}) = 5,63 \text{ m}^2/\text{s}$$

Reynoldsov broj računamo formulom:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta} = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4.3.)$$

Brzina strujanja u trećem mjerenju (iz jednadžbe kontinuiteta):

$$v = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,000033}{0,01^2 \cdot \pi} = 0,420 \text{ m/s} \quad (6.7.)$$

Za dobivene vrijednosti Reynoldsov broj za treće mjerenje iznosi (6.7.) u (4.3):

$$\text{Re} = \frac{0,420 \cdot 0,01}{5,63 \cdot 10^{-7}} = 7460,04 \quad (6.8.)$$

$$7460,04 > 4000$$

Reynoldsov broj za treće mjerenje veće od 4000 što znači da je strujanje turbulentno.

Froudeov broj za treće mjerenje iznosi:

$$\rho_a(T=22 \text{ °C}) = 999,972 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_0(T=49 \text{ °C}) = 997,756 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$g' = g \cdot \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \quad (4.5.)$$

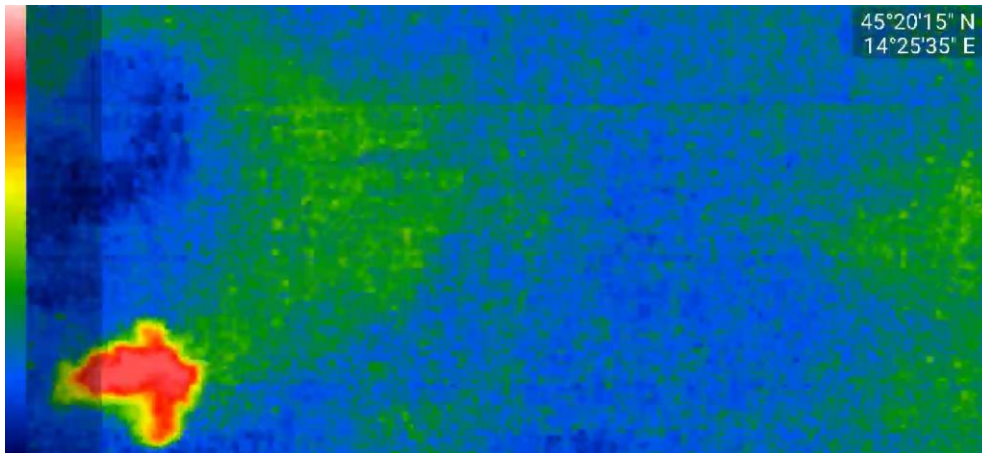
$$g' = 9,81 \cdot \frac{999,972 - 997,756}{997,756} = 0,02179 \text{ m/s}^2$$

$$F_r = \frac{v_0}{\sqrt{g' \cdot D}} \quad (4.4.)$$

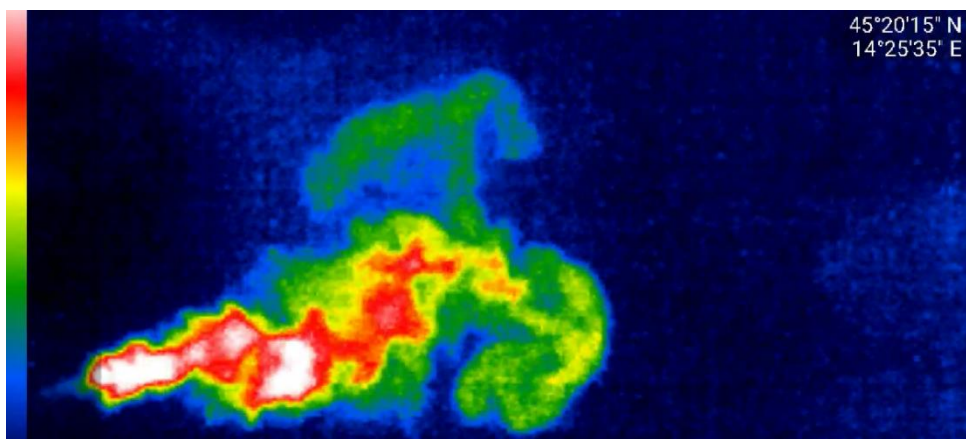
$$F_r = \frac{0,420}{\sqrt{0,02179 \cdot 0,01}} = 28,45$$

Froudeov broj značajno je veći od 1, što ukazuje da u cijevi prevladavaju inercijalne sile.

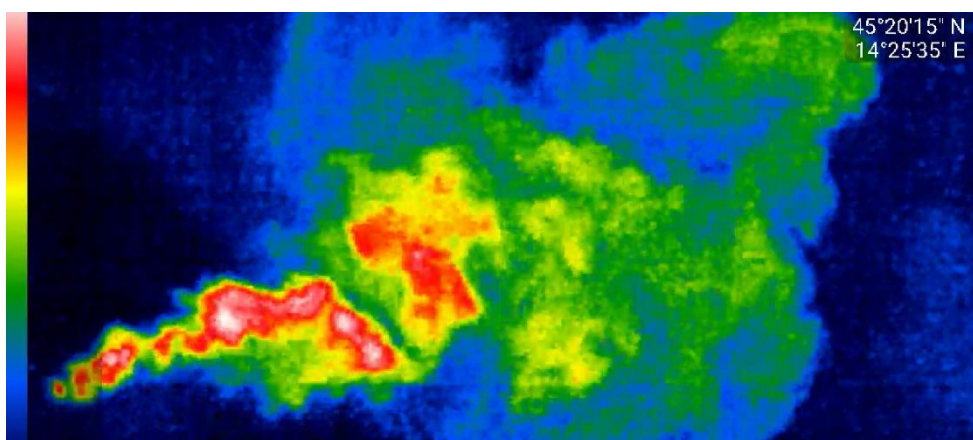
Kao i u prethodna dva mjerenja termalnom kamerom zabilježen je mlaz vode pri ulazu u veliki spremnik na slici 6.9., miješanje voda na slici 6.10. i ponovno pojavu vrtloženja na slici 6.11.



Slika 6.9.: Termalnom kamerom zabilježen početni mlaz trećeg mjerenja



Slika 6.10.: Termalnom kamerom zabilježeno miješanje pri trećem mjerenju



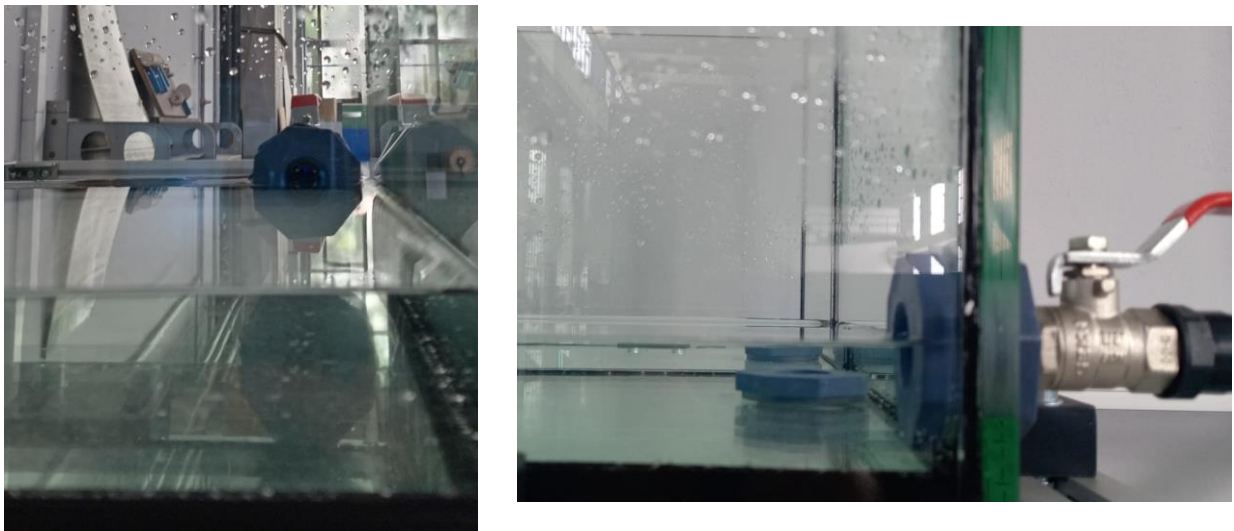
Slika 6.11.: Termalnom kamerom zabilježeno odbijanje od stijenke bazena i vrtloženje

6.1.4. Četvrto mjerenje

Kod četvrtog mjerenja digitalni mjerač za protok i temperaturu nije očitavao konstantne vrijednosti, odnosno iznosi koji su se na zaslonu očitavali varirali su u velikom rasponu.

Bitno je napomenuti da je kod četvrtog mjerenja razina vode u gornjem spremniku bila na sredini ulaza odvodne cijevi, kao što je vidljivo sa slike 6.12.

Iz zapažanja pri četvrtom mjerenju moglo se zaključiti da razina vode gornjeg spremnika mora uvijek biti iznad cijevi, jer je to razlog prisustva viška zraka u cijevi.



Slike 6.12.: Razina vode u gornjem spremniku kod koje dolazi do ulaska zraka u cijev

Velike varijacije kod očitavanja digitalnog mjerača nastale su zbog varijacija u protoku, uzrokovanih viškom zraku. Varijacije u protoku očitavaju se u prevelikim turbulencijama.

7. ZAKLJUČAK

U zadnja dva desetljeća uvelike se prepoznaje i detaljnije istražuje potencijal i utjecaj podmorskih izvora svježe vode. Ustanovljeno je da su podmorski izvori izuzetno pogodni za morski život, te se naglašava i potiče uzgoj raznih morskih kultura na područjima bogatim izvorima slatke vode. Također, brojne države nepovoljnog geografskog položaja i siromašne pitkom vodom na kontinentalnim područjima, započele su istraživanja mogućnosti iskorištavanja takvih izvora za svakodnevnu upotrebu. Može se zaključiti da čak i u slučajevima gdje se podmorski izvori ne mogu koristiti za čovjekovu uporabu, u normalnim uvjetima oni su vrlo pogodni za karakteristično područje. No, u slučajevima kada su normalni uvjeti narušeni raznoraznim onečišćenjima, utjecaj podmorskih izvora djeluje upravo suprotno te svojom energijom djelotvornije raznose onečišćenja po morskom području.

Iz tih razloga bitna su znanstvena istraživanja kojima su definirana njihova fizikalna ponašanja, te primjena termografije u svrhu njihovog praćenja.

Eksperimentalnom analizom mlaza prikazano je miješanje dvaju različitih fluida, koja nam predstavljaju slatku podzemnu i slanu morsku vodu. Eksperimentom je vidljivo ponašanje izvora te njihov utjecaj na područje istraživanja, ali i efikasnost kod potencijalnog širenja onečišćenja.

Bitno je kod većih priobalnih gradova s većom naseljenošću uzeti u obzir prisutnost podmorskih izvora kod planiranja ispusta koji završavaju u moru, kako se ne bi narušilo ljudsko zdravlje ili ekosustav tog područja nepogodnim širenjem onečišćenja. Također, pri lociranju izvora, bitno je istražiti mogućnost prodiranja onečišćenja od velikih postrojenja, kroz tlo, kako ono ne bi završilo u moru.

8. Popis literature

- [1] Izv. prof. dr. sc. Jasna Prlić Kardum : „Mehanika fluida“ FKIT
- [2] Mehanika fluida, s Interneta: https://hr.wikipedia.org/wiki/Mehanika_fluida, 5.5.2024.
- [3] Marta Alvir : „Numeričko modeliranje podmorskih ispustauz primjenu strojnog učenja“; doktorski rad
- [4] Matej Petrović: „Mjerenje brzine strujanja u podzvučnom aerotunelu“, 2016.
- [5] Strujanje, s Interneta:“ <https://hr.wikipedia.org/wiki/Strujanje>“ 5.5.2024.
- [6] Resarch Gate, s Interneta:“ https://www.researchgate.net/figure/Schematic-side-view-of-an-inclined-negatively-buoyant-jet-in-stagnant-ambient_fig1_330933174“, 15.5.2024.
- [7] Resarch Gate, s Interneta: https://www.researchgate.net/figure/Definition-diagram-for-horizontal-buoyant-jet-discharges-from-round-orifice-into-the_fig3_267579634, 15.5.2024.
- [8] Lucija Kačan : „ Fenomen vrulja kao izvora slatke vode u moru“; završni rad
- [9] Hydrographic institute of the Republic of Croatia, s Interneta: „ Riječki zaljev“, 15.5.2024.
- [10] Christoph Tholen i dr: „Investigation of the Spatio-Temporal Behaviour of Submarine Groundwater Discharge Using a Low-Cost Multi-Sensor-Platform“, J. Mar. Sci. Eng. 2021
- [11] „Riječki zaljev“, Hrvatska Enciklopedija s Interneta : „<https://www.enciklopedija.hr/clanak/rijecki-zaljev>“ , 5.6.2024.
- [12] Benoit Cushman-Roisin : „Enviromental fluid mechanics : Plumes and Thermals“
- [13] Makoto Taniguchi i dr: „Submarine Groundwater Discharge: Updates on Its Measurement Techniques, Geophysical Drivers, Magnitudes, and Effects“, 2019.
- [14] Joesph Tamborski i dr.:“Submarine karsticsprings as a source of nutrients and bioactive trace metals for the oligotrophic Northwest Mediterranean Sea“
- [15] Costal Wiki, s Interneta : „Submarine groundwater discharge“, 15.5.2024.
- [16] W.S.Moore:“ Submarine Groundwater Discharge“, u Encyclopedia of Ocean Sciences, 2009.
- [17] Ulf Mallast i dr.“Airborne Thermal Data Indetifies Groundwater Discharge at North-Western Coast of the Dead Sea, u MDPI, 2013.
- [18] Termalne kamere, s Interneta: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Termografija> , 16.5.2024.
- [19] Termalne kamere, s Interenta: Autel MaxiIR100; <https://online.2024shopoutletonline.com/content?c=infracrvena+kamera&id=8>, 16.6.2024.
- [20] Seek thermal: CompactPRO; dokumentacija proizvođača termalne kamere

- [21] „The Badon Ghijben-Herzberg principle“ ; s Interneta :https://www.researchgate.net/figure/The-Badon-Ghijben-Herzberg-principle-a-fresh-salt-interface-in-an-unconfined-coastal_fig1_257315479 ; 10.6.2024.
- [22] Wendy Denise Welsh : „ Groundwater balance modeling with Darcy`s law “
- [23] Water Resources Engineering, s Interneta;
<https://www.waterresourcesengineering.com/groundwater/darcy-law-groundwater-flow>,
20.6.2024.
- [24] Reynoldsov broj, s Interneta: https://hr.wikipedia.org/wiki/Reynoldsov_broj, 15.6.2024.
- [25] Hossein Kheirkhah Gildeh, :“ Numerical Modeling of Turbulent Buoyant Wall Jets in Stationary Ambient Water“
- [26] Tsuguki Kinoshita i dr. : „Slow jet plume due to submarine groundwater discharge“, 2017.
- [27] „Prikaz osnovnih sklopova“ (oprema): službena dokumentacija tvrtke SINEL d.o.o.

9. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLESKOM JEZIKU

9.1. Sažetak

U završnom radu kroz objašnjenje osnova mlazova i strujanja, te uz navedene osnovne zakone i odnose, definirano je fizikalno ponašanje podmorskih izvora slatke vode. Uzevši u obzir učestalost i područje pojave fenomena, naglašava se potencijalni utjecaj i značaj izvora na karakteristično morsko područje.

Eksperimentalnom analizom mlazova, kroz četiri mjerenja analizirano je ispuštanje podzemne vode u more u obliku mlazova i termalnim snimkama su prikazani miješanje i širenje dvaju fluida. Također za svako mjerenje izračunate su vrijednosti Reynoldsovog i Froudeovog broja, bezdimenzijske značajke bitne za definiranje strujanja.

Na temelju dobivenih rezultata mjerenja i eksperimenta prikazano je kako mlazovi podzemne vode svojim miješanjem i vrtloženjem u morskoj vodi mogu imati veliku ulogu u širenju onečišćenja.

9.2. Summary

In this thesis the physical behavior of the groundwater discharge in the sea is defined, by an explanation of the basics of jets, and stated physical laws and relationships. Taking into account the frequency and area of occurrence of the phenomenon, the potential impact and significance of the discharge on characteristic sea areas is emphasized. Through experimental jet analysis, the discharge of groundwater into the sea in the form of jets was analyzed through four measurements, and the mixing and expansion of the two fluids were shown with thermal images. Also for each measurement the Reynolds and Froude number values, dimensionless numbers essential for defining the flow, were calculated.

Based on the obtained results of measurements and experiment, it was shown that jets of underground water can play a major role in the spread of pollution by their mixing and swirling in seawater.

9.3. Ključne riječi

Eksperiment, mlazovi, podmorski izvori, termalne snimke

9.4. Keywords

Experiment, jets, groundwater discharge, thermal images