

Utjecaj plitkoga podmorskoga grebena na miješanje u priobalnim kanalima

Nenad Ravlić

Ključne riječi

priobalni kanal,
turbulentno miješanje,
plitki podmorski greben,
prostorni matematički
model,
stratificirano tečenje

Key words

coastal channel,
turbulent mixing,
shallow undersea reef,
mathematical space
model,
stratified flow

Mots clés

canal côtier,
mélange turbulent,
récif sous-marin
superficiel,
modèle spatial
mathématique,
circulation en fluide stratifié

Ключевые слова

прибрежный канал,
турбулентное смешивание,
мелький подводный гребень,
пространственная
математическая модель,
стратифицированное
течение

Schlüsselworte

Küstenkanal,
turbulentes Mischen,
seichtier
Unterwasserfelsen,
räumliches
mathematisches Modell,
stratifiziertes Fließen

N. Ravlić

Prethodno priopćenje

Utjecaj plitkoga podmorskoga grebena na miješanje u priobalnim kanalima

Prostornim matematičkim modelom analizira se turbulentno miješanje u jadranskim priobalnim kanalima srednjih dubina, uz nepravilnost morskog dna poprečno na prevladavajući smjer morske struje. Proučava se hidrodinamički utjecaj prepreke na procese lokalnog homogeniziranja stratificiranog mora u području u kojem se planira dispozicija otpadnih voda. Rezultati su uspoređeni s poznatim funkcijskim odnosima koji opisuju turbulentno miješanje u slojevima stratificiranog fluida.

N. Ravlić

Preliminary note

Influence of a shallow undersea reef on water mixing in coastal channels

The turbulent mixing in Adriatic coastal channels of medium depth, characterized by irregular sea bottom positioned transverse to the dominant direction of sea currents, is analyzed by a mathematical space model. The hydrodynamic impact exerted by obstacles on local stratified-sea homogenization processes in the area destined for waste water disposal is examined. The results are compared with known functional relationships that describe turbulent mixing in stratified fluid layers.

N. Ravlić

Note préliminaire

L'influence d'un récif sous-marin superficiel sur le mélange des eaux dans les canaux côtiers

Le mélange turbulent dans les canaux de profondeur moyenne, situés le long de la côte de l'Adriatique et caractérisés par le fond placé transversalement par rapport à la direction dominante des courants de mer, est analysé par un modèle spatial mathématique. L'effet hydrodynamique des obstacles exercé sur les procédés d'homogénéisation dans la mer stratifiée, à particulier dans la zone destinée à la décharge des eaux usées, est examiné. Les résultats sont comparés avec les rapports fonctionnels connus décrivant les mélanges turbulents dans les fluides stratifiés.

Н. Равлич

Предварительное сообщение

Влияние мелкого подводного гребня на смешивание в прибрежных каналах

Пространственной математической моделью анализируется турбулентное смешивание в адриатических прибрежных каналах средних глубин при учетывании неправильности морского дна поперечно к преобладающему направлению морской струи. Рассматривается гидродинамическое влияние препятствия на процессы локальной гомогенизации стратифицированного моря в районе, планирующемся для размещения сточных вод. Результаты сравнивались с известными функциональными отношениями, описывающими турбулентное смешивание в слоях стратифицированного флюида.

N. Ravlić

Vorherige Mitteilung

Einfluss seichter Unterwasserfelsen auf das Mischen in Küstenkanälen

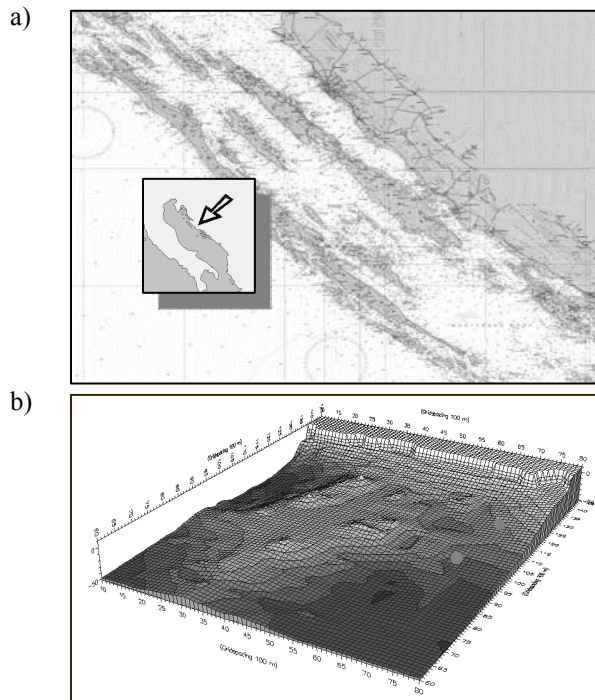
An einem räumlichen mathematischen Modell analysiert man das turbulente Mischen in adriatischen Küstenkanälen mittlerer Tiefen, bei Unregelmässigkeit des Seegrundes quer zur dominanten Richtung der Seeströmung. Man studiert den hydrodynamischen Einfluss des Hindernisses auf den Prozess der lokalen Homogenisierung des stratifizierten Sees im Bereich in dem die Disposition der Abwässer geplant wird. Die Ergebnisse vergleicht man mit den bekannten funktionalen Verhältnissen die das turbulente Mischen in den Schichten des stratifizierten Fluidums beschreiben.

Autor: Dr. sc Nenad Ravlić, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Rijeka

1 Uvod

Predstojeće znatne investicije u izgradnju sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u primorju Republike Hrvatske u okviru projekta "Jadran" nameću potrebu detaljnijeg analiziranja hidrodinamike brojnih priobalnih kanala srednjih dubina (60-80 m) koji će u naravi predstavljati recipijente pročišćenih otpadnih voda primorskih naselja.

Relativno jednostavna tlocrtna konfiguracija tih izduljenih priobalnih akvatorija (slika 1.a) u pojedinim je situacijama komplicirana postojanjem vrlo izraženih nepravilnosti topografije morskog dna (slika 1.b), za koje je opravdano pretpostaviti da iskazuju važne hidrodinamičke utjecaje ne samo na prevladavajuće tečenje uzduž osi kanala, nego i na pojačavanje procesa turbulentnog miješanja u mediju koji inače karakterizira opstanak karakteristične stratificiranosti vodenog stupca u čitavom ljetnom razdoblju.



Slika 1. Tipična konfiguracija priobalnih kanala u srednjem Jadranu (a); nepravilnost morskog dna (podmorski greben) (b)

Dakle, ako se pretpostavi da podmorske prepreke pojačavaju turbulentno miješanje u kanalu (to jest uzrokuju djelomično ili potpuno homogeniziranje stupca mora u blizini prepreke, odnosno nestajanje piknoklinskog sloja koji u naravi predstavlja glavnu barijeru izdizanju oblaka mješavine morske i otpadne vode na površinu mora), ta bi činjenica mogla utjecati na odabir stupnja pročišćavanja otpadnih voda na kopnu te izbor lokacije podmorske dispozicije. U tom kontekstu pitanje analize hidrodina-

mičkog utjecaja podmorske prepreke u relativno uskim i izduljenim priobalnim jadranskim kanalima dodatno dobiva na važnosti.

2 Karakteristike tečenja u jadranskim priobalnim kanalima

Hidrodinamika priobalnih jadranskih kanala srednjih dubina (60-80 m) istraživana je u brojnim oceanografskim studijama koje su redovito potvrđivale prisutnost stabilnoga sezonskoga piknoklinskog sloja na dubinama od približno 15-30 m p.m., visinski lociranom između dvaju područja s bitno različitim termohalnim svojstvima. Unatoč brojnim vanjskim pobuđivanjima (plimne oscilacije, etezijski vjetrovi, kratkotrajni ciklonalni poremećaji, dotoci slatkih voda), opstanak tog sloja u razdoblju najintenzivnijeg iskorištavanja mora redovito nije bio upitan.

Karakteristični izduljeni oblik tih priobalnih akvatorija koji se uglavnom pružaju u smjeru SE-NW, odnosno paralelno s obalom, korespondira sa smjerom gradijent-skih struja u širem području Jadrana, što rezultira u prevladavajućim strujama uzduž longitudinalne osi kanala, s povremenim manjim otklonima ovisno o lokalnim utjecajima obalne linije i/ili rezultantnom smjeru djelovanja vanjskih pobuđivanja (dominantno vjetra i dotoka slatkih voda).

U stabilnim vremenskim prilikama gotovo su sva oceanografska istraživanja redovito potvrđivala efekt prigušivanja vanjskih pobuđivanja po dubini kanala (tzv. "dampening effect"), a često su znale biti registrirane i situacije u kojoj je piknoklinski sloj razdvajao dva područja s potpuno suprotnim smjerovima tečenja (kompenzacijske struje), što rječito govori o ulozi prirodne barijere ispod koje teku sasvim različiti procesi od onih u gornjim slojevima mora.

Povremena jednoslojna strujanja od površine do morskog dna za vrijeme kratkotrajnih ljetnih vremenskih poremećaja redovito ne rezultiraju u potpunom homogeniziranju stratificiranoga vodenog stupca (osim u vrlo uskom i plitkom obalnom pojasu), unatoč znatno većim intenzitetima morskih struja koji se u takvim situacijama registri- raju po čitavom profilu kanala.

3 Hipoteze o lokalnom utjecaju naglih promjena batimetrije morskog dna

Lokalni utjecaji naglih promjena topografije morskog dna (batimetrije) u priobalnim jadranskim kanalima nisu se u proteklom razdoblju detaljnije izučavali *in situ*, ili zbog nedostatka odgovarajuće opreme, ili zbog činjenice da su se nalazili izvan područja istraživanja.

Međutim, neki od recentnijih infrastrukturnih projekata u hrvatskom priobalju generirali su hipoteze o znatnim utjecajima koji bi po nekim scenarijima mogli čak i kom-

promitirati efikasnost inače vrlo pouzdanih sredstava zbrinjavanja otpadnih voda u razdoblju do primjene planiranih konačnih stupnjeva pročišćavanja na uređajima - podmorskih ispusta.

Sažeto, istaknute hipoteze [1] ukazuju na mogućnost vrlo izraženih utjecaja plitkih podmorskih prepreka (koje se pružaju transverzalno na uzdužnu os kanala) na promjene strujnog polja u kanalu, i to u mjeri koja bi u konačnici mogla rezultirati u pojavi potpuno zatvorenih polja strujanja (vrtložnja), ili pak strujanja s vrlo ograničenom izmjenom vodenih masa s glavnom strujom u kanalu, osobito u pridnenim slojevima u frontalnom području prepreke (gledano u smjeru prevladavajuće struje). Pri većim brzinama jednoslojnog strujanja u kanalu naznačila se je i mogućnost pojave "upwellinga", tj. izdizanja sloja pridnene gušće vode (u koji se ispušta otpadna voda) po frontalnoj kosini podvodne prepreke te preko njezina tjemena, s velikom vjerojatnošću konačnog prodora "oblaka" zagađenja na površinu mora, čak i u uvjetima stabilne sezone stratifikacije vodenog stupca.

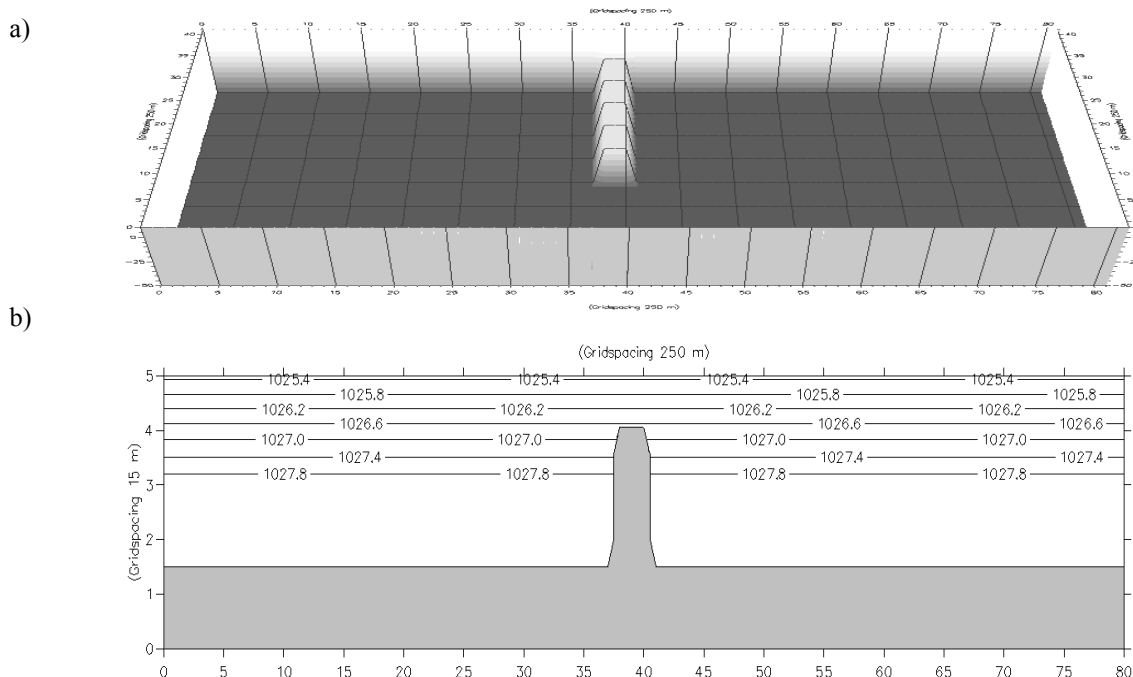
4 Modeliranje tečenja i turbulentnog miješanja u kanalu s plitkom transverzalnom podmorskom preprekom

U nedostatku eksperimentalnih (*in situ*) mjerenja, navedene hipoteze mogu se analizirati primjenom 3-D matematičkog modela [2] koji osim osnovnoga hidrodinamičkoga uključuje i modele skalarnih veličina (temperatura i salinitet) te odgovarajući podmodel pronosa, difuzije i

disipacije veličina (k = turbulentna kinetička energija, ε = disipacija turbulentne kinetičke energije) odgovornih za procese turbulentnog miješanja.

U tu je svrhu uspostavljen idealizirani model jednoga reprezentativnog kanala (slika 2.) s transverzalnom preprekom (dubina 60 m, širina 10 km, duljina 20 km, tjeme prepreke na 15 m p.m.) sa sljedećim karakteristikama: prostorni korak $\Delta x = \Delta y = 250$ m, $\Delta z = 15$ m, broj računskih točaka $N_x = 80$, $N_y = 40$, $N_z = 6$, gustoća mora na površini $\rho_{pov} = 1025,4$ kg/m³, gustoća mora ispod piknokline $\rho_{dno} = \rho_{piknoklina} = 1027,8$ kg/m³, u kojem se nalazi stratificirani medij u početnom stanju mirovanja.

Radi jednostavnosti kontrole rubnih uvjeta, jednoliko i stacionarno tečenje u smjeru uzdužne osi kanala forsirano je različitim protocima na ulaznoj granici modela, čime je omogućeno generiranje polja brzina proizvoljnog intenziteta s logaritamskim profilom brzine po vertikali, odnosno praćenje promjene početnog polja gustoće po vremenu u bilo kojoj od 19.200 računskih točaka modela. Dobiveni rezultati simulacija (slika 3.) pokazali su da pri pridnenim brzinama tečenja od 5 cm/s (mjereno u osi kanala) donji slojevi vodenog stupca horizontalno zaobilaze prepreku bez ikakva vrtložnja (slika 3.a), pri čemu se kontinuitet protoka osigurava povećanjem brzine tečenja u kontrakciji kanala (horizontalna kompenzacija). Uzvodno od prepreke smjer pridnene morske struje slijedi izobate dna, a u zaleđu prepreke nazire se početno odvajanje graničnog sloja i pojava povratnog strujanja.



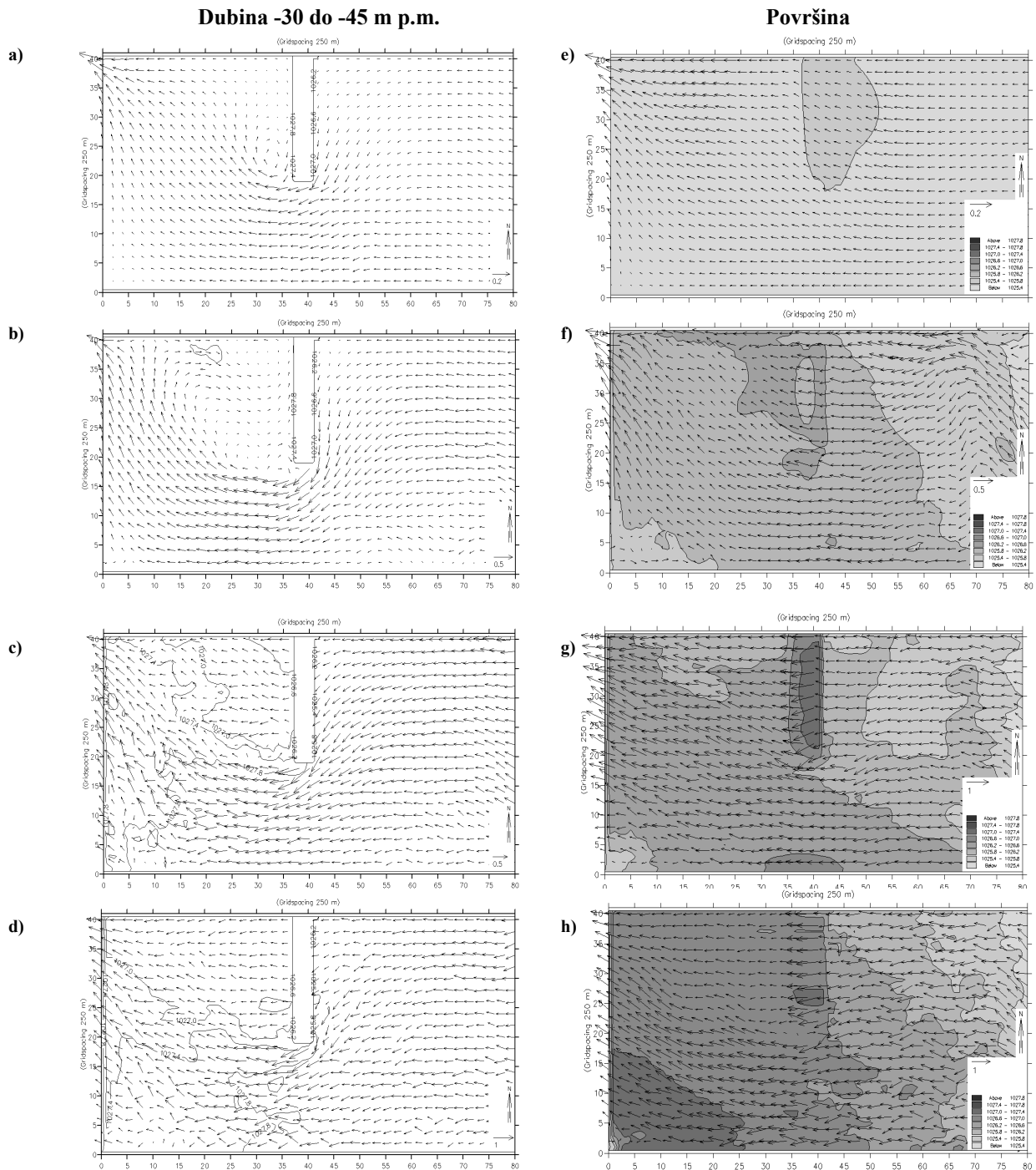
Slika 2. Model probalnog kanala s transverzalnom podmorskom preprekom a); uzdužni presjek kroz model i početni profil stratifikacije vodenog stupca b)

Povećavanjem brzine pridnene struje na 10 cm/s (slika 3.b) uočava se odvajanje (*detachment*) generiranog vrtloga iza prepreke u nizvodnome smjeru, pri čemu se čitavo područje u zaleđu prepreke nalazi u području ograničene izmjene vode s glavnom strujom u kontrakciji kanala.

Daljnijim povećavanjem brzine pridnene struje na 20 cm/s počinje se registrirati kombinirani efekt horizontalnog i

vertikalnog obilaženja prepreke (slika 3.c), dok ekstremno velike brzine pridnenih struja od 40 cm/s rezultiraju tečenjem koje je gotovo paralelno s uzdužnom osi kanala (slika 3.d), što indicira proces "preskakanja" pridnenih slojeva preko prepreke.

Istodobnim praćenjem polja gustoće u površinskom sloju (slike 3.e-3.h) moguće je detektirati posljedice navedenih procesa, generiranih u dubljim područjima koje su



Slika 3. Modelirano pridнено (a-d) i površinsko (e-h) strujno polje i polje gustoće pri jednoslojnom tečenju stratificiranog medija u kanalu s plitkom podmorskom preprekom (pridnena brzina struje 5,10,20 i 40 cm/s)

u hidrodinamičkom smislu pod direktnim utjecajem pod-morskog grebena.

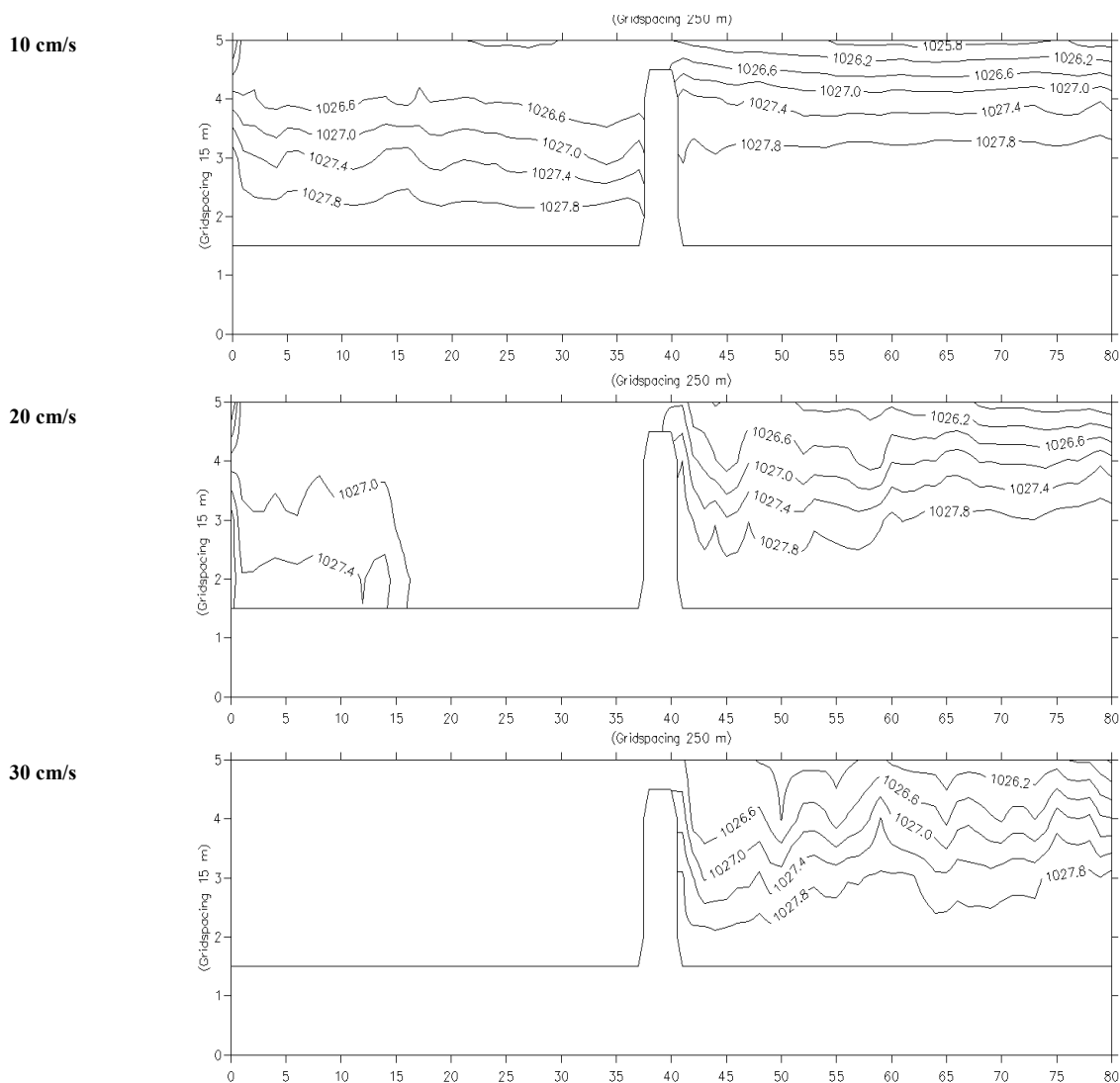
Rezultati simulacija (slike 3.e do 3.h) pokazuju da se pri najslabijim intenzitetima pridnene struje (5 cm/s) na površinu izdiže samo izolinija gustoće s vrijednosti 1025,8 kg/m³, što indicira lokalno djelomično homogeniziranje površinskog sloja vodenog stupca do dubine od najviše 5 m u području koje je prostorno ograničeno karakterističnom širinom od 2,5 km.

Sukcesivnim pojačavanjem brzine struje u kanalu na površinu izbijaju slojevi sve gušće vode iz dubljih slojeva uzvodno od prepreke (*upwelling*), pri čemu se istodobno transportira gušća voda iz frontalnog područja praga u nizvodnom smjeru gdje se miješa s medijem manje gustoće.

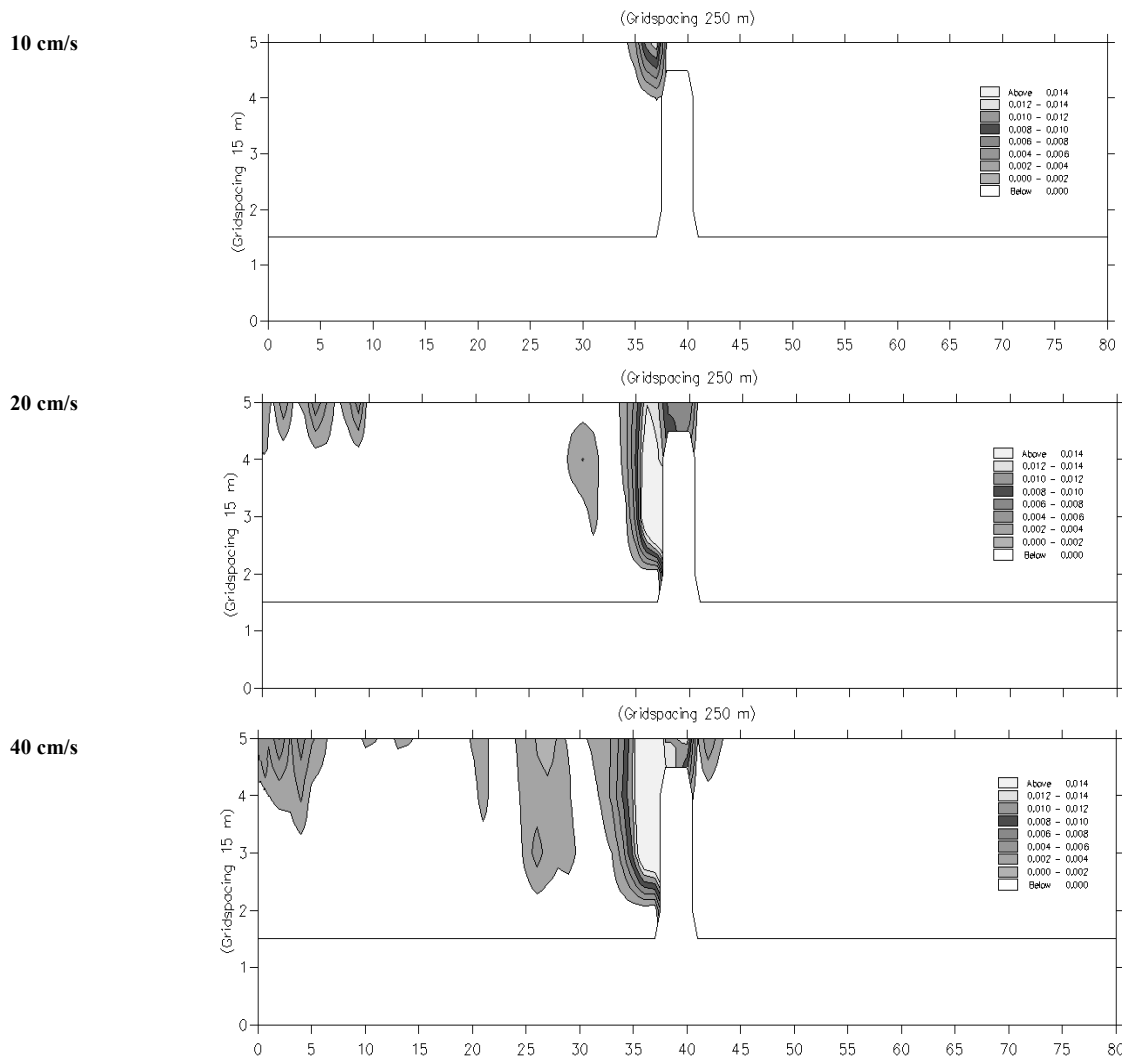
Čak i prije analize vertikalne strukture polja gustoće u kanalu može se zamijetiti kvalitativna razlika između

površinskih polja gustoće u dva dijela kanala – uzvodno i nizvodno od transverzalne prepreke. Naime, u uzvodnom području opstaje stratifikacija i uspostavljaju se horizontalni gradijenti gustoće, dok se nizvodno područje čini potpuno izmiješano (homogenizirano). Hidrodinamički odziv stratificiranog medija u predmetnom slučaju mogao bi se objasniti na sljedeći način:

Načelno, u unutrašnjosti vertikalno stratificiranog medija, odnosno u području pod izravnim i/ili neizravnim utjecajem podmorske prepreke "natječu" se inercijske (općenito destabilizirajuće) i gravitacijske (općenito stabilizirajuće) sile, pri čemu se nastoji uspostaviti dinamička ravnoteža. Budući da intenzitet inercijskih sila (reprezentativni je parametar Froudeov broj) raste proporcionalno s povećanjem brzine tečenja (reprezentativni parametar Reynoldsov broj), prevladavanje inercijalne komponente znači da se gušća voda uspjela izdići iznad podvodne



Slika 4. Vertikalna struktura polja gustoće (kg/m³) u različitim fazama tečenja u kanalu s plitkim podmorskom preprekom (pridnena brzina struje 10,20 i 40 cm/s)



Slika 5. Vertikalna struktura polja produkcije turbulentne energije (m^2/s^2) u različitim fazama tečenja u kanalu s plitkom podmorskom preprekom (pridrena brzina struje 10, 20 ili 40 cm/s)

prepreke te nastaviti kretanje po njezinoj stražnjoj nagutoj strani, uzrokujući pritom puno intenzivnije miješanje nego što je to slučaj u uzvodnom području udaljenijem od prepreke (gdje je reprezentativni parametar miješanja Richardsonov broj).

Uspostavljanje horizontalne stratifikacije u području uzvodno od prepreke sigurno nema svoj razlog u vanjskim pobuđivanjima, već predstavlja manifestaciju internih solitarnih valova (početno generiranih u području kontrakcije kanala) koji propagiraju u uzvodnome smjeru preko zamišljenih dodirnih ploha slojeva različite gustoće, odnosno prema području gdje ih očuvana vertikalna stratifikacija prigušuje, što je fenomen koji je već zabilježen u literaturi [3].

Pri manjim brzinama struje u kanalu i očuvanoj vertikalnoj stratifikaciji vodenog stupca ti interni valovi imaju manju amplitudu i uspijevaju se brzo prigušiti na putu

propagacije u uzvodnome smjeru, za razliku od tečenja s većim brzinama struje kada je (a) medij toliko pobuđen, (b) bitno narušena početna stratifikacija i (c) povećana dubina homogeniziranoga površinskog sloja u toj mjeri da interni solitarni valovi mogu povremeno izbaci gušće intermedijarne slojeve do površine i uzrokovati horizontalne gradijente gustoće.

5 Analiza vertikalne strukture polja gustoće i strukture turbulentnih veličina

Provedena analiza hidrodinamičkih procesa u reprezentativnim horizontalnim ravninama modela može se proširiti razmatranjima vezanim za vertikalnu strukturu polja gustoće i polja turbulentne kinetičke energije (k) koje je najodgovornije za procese miješanja između različitih slojeva pobuđenoga stratificiranoga medija.

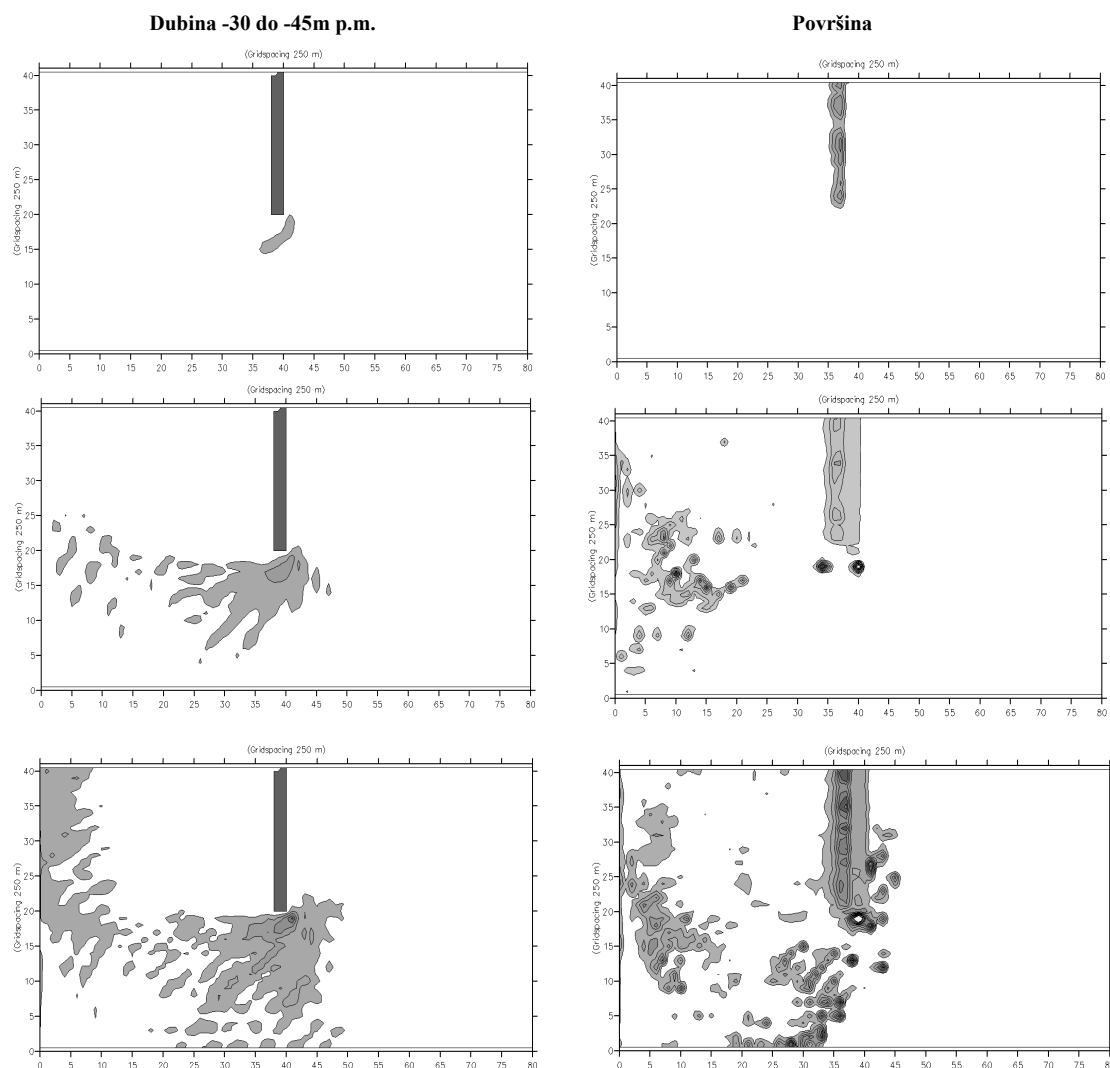
Rezultati prikazani na slikama 4.a do 4.c dokazuju prisutnost prije opisanoga hidrodinamičkog fenomena koji se

javlja pri nailasku morske struje na plitku podmorsku prepreku (tj. pojava internih solitarnih valova uzvodno od prepreke kao rezultat dinamičkog izdizanja i spuštanja kontaktnih ploha medija s različitim gustoćama po frontalnoj strani plitke prepreke), ali i otkriva neke nove, kao što su pojava dodatnih lokalnih nestabilnosti na kontaktnim ploham različite gustoće pri tzv. "shear flowu" uzvodno od prepreke (koje se pojavljuju pri većim Reynoldsovim brojevima), ili pak potpuno razbijanje početne stratifikacije nizvodno od prepreke kao rezultat obrušavanja gušće vode po nagnutoj stražnjoj strani grebena.

Glavni uzrok fenomena pojačane homogenizacije vodenog stupca u zaleđu podmorske prepreke predstavlja pojačana produkcija turbulentne kinetičke energije u kontrakciji modela, što je također potvrđeno numeričkim modeliranjem (slike 5. i 6.).

Analiza rezultata prikazanih na slikama 5. i 6. upućuje na sljedeće zaključke:

- plitka podmorska prepreka (greben) jest glavni izvor produkcije turbulentne energije, čija kasnija disipacija jako ovisi o stupnju očuvanosti stratifikacije medija. Glavnina produkcije turbulentne kinetičke energije generira se na stražnjoj strani podmorske prepreke i biva transportirana strujom glavnog toka u nizvodno područje, gdje pojačava ukupno miješanje između slojeva različite gustoće;
- glavna struja u kanalu pri većim brzinama može izvršiti konvektivni transport generiranih "džepova" turbulentne energije u nizvodnome smjeru po cijeloj visini vodenog stupca, dok je pri manjim brzinama njihov transport ograničen na plitko potpovršinsko područje ispod kojega ne uspijevaju prodirjeti zahvaljujući efektima prigušenja izazvanih očuvanom stratifikacijom vodenog stupca;
- interni stojni valovi koji napreduju u područje uzvodno od podmorske prepreke nisu značajniji izvor turbulent-



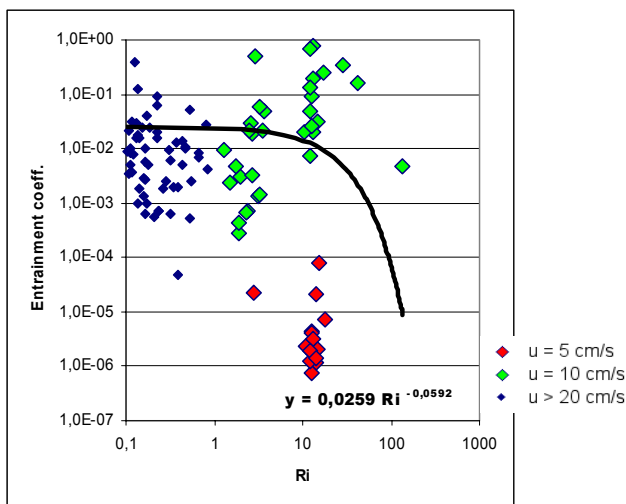
Slika 6. Struktura polja produkcije turbulentne energije (m^2/s^2) na dvjema razinama vodenog stupca u različitim fazama tečenja u kanalu s plitkom podmorskom preprekom (a-c) površinski sloj, (d-f) sloj na -30-45 m.p.m. (pridnena brzina struje 10, 20 ili 40 cm/s)

ne energije koja bi pojačala stupanj miješanja između slojeva različite gustoće do mjere koja bitno nadmašuje efekte miješanja u tzv. "shear layered flow" bez internih oscilacija.

6 Proračun koeficijenta miješanja – kalibracija modela

Vjerodostojnost navedenih zaključaka o stupnju miješanja stratificiranog medija i očuvanju raslojenosti stupca mora u kanalima s plitkom podmorskom preprekom može se provjeriti samo na osnovi eksperimentalnih *in situ* mjerenja. U njihovu nedostatku, na ovoj razini analize problema kao kontrolno sredstvo kalibracije numeričkog modela mogu se usvojiti literaturne vrijednosti koje stupanj miješanja parametriziraju koeficijentom miješanja (tzv. *entrainment coefficient*) za različite vrste tečenja stratificiranog medija [4, 5, 6, 7, 8].

S obzirom na to da su literaturni podaci o koeficijentu miješanja redovito izraženi u funkciji Richardsonova broja (koji je indikator stupnja trenutačne stratifikacije odnosno gradijenta gustoće), za kontrolnu točku kalibracije odabrana je računaska točka modela s koordinatama $(i, j, k) = (70, 30, 3)$ koja se nalazi na lokaciji dovoljno uzvodno od područja pod izravnim utjecajem plitke podmorske prepreke. Dobiveni rezultati proračuna koeficijenta miješanja izraženih u funkciji Richardsonova broja prikazani su na slici 7.



Slika 7. Dijagram koeficijenta miješanja u funkciji Richardsonova broja u kontrolnoj točki modela $i, j, k = 70, 30, 3$

Usporedbom eksperimentalnih rezultata iz [4] (koji opisuju razne tipove miješanja stratificiranog medija) i dijagrama na slici 7. može se zaključiti da se koeficijent miješanja u području dovoljno daleko od analizirane plitke podvodne prepreke kreće u okvirima koje treba očekivati za klasu tzv. "buoyant overflowa". Brzine jednolikoga stacionarnog tečenja u kanalu od 5 cm/s rezul-

tiraju u najmanjim vrijednostima koeficijenta miješanja (10^{-6} - 10^{-4}), brzine od 10 cm/s povećavaju njegovu vrijednost, a tek pri najvećim brzinama ($u > 20$ cm/s) medij se osjetnije homogenizira, pri čemu vrijednosti Richardsonova broja padaju s početnih $Ri = 10$ na $Ri = 0,1$.

7 Zaključak

Dobiveni rezultati modeliranja tečenja i miješanja stratificiranog medija u priobalnom kanalu s plitkom transversalnom preprekom ukazuju na postojanje dvaju bitno različitih područja sa stajališta homogenizacije početno raslojenog stupca mora.

U području uzvodno od plitke podmorske prepreke (gledano u smjeru prevladavajuće struje u kanalu) treba očekivati samo djelomično homogeniziranje vodenog stupca koje ne može prodrijeti u potpiknoklinski sloj mora pri najčešćim pridnenim brzinama u jadranskim priobalnim kanalima (5-10 cm/s) i tipičnim sezonskim, tj. ljetnim profilima vertikalne raslojenosti vodenog stupca.

Nasuprot tome, u području nizvodno od plitke podmorske prepreke miješanje je puno intenzivnije, tako da pri većim brzinama pridnene struje (> 20 cm/s) ono može rezultirati potpunim homogeniziranjem početno stratificiranog stupca mora u zaleđu prepreke. Na sreću, tako intenzivna pridnena strujanja u jadranskim su priobalnim kanalima više izuzetak nego pravilo.

U kontekstu odabira optimalne lokacije podmorske dispozicije otpadne vode u jadranskim priobalnim kanalima, a s obzirom na to da područje nizvodno od plitke podmorske prepreke evidentno pokazuje veću tendenciju razbijanja prirodne piknoklinske barijere, može se zaključiti da je lociranje podmorskih ispusta u frontalnim zonama podmorskih prepreka svakako bolje rješenje od smještaja u zaleđu naglih promjena batimetrije morskog dna.

Iako u ovome radu nisu provjeravani utjecaji sezonskih etezijskih vjetrova, koji u srednjem Jadranu pušu uglavnom u smjeru suprotnom od prevladavajuće ljetne morske struje, na osnovi prije izvršenih numeričkih eksperimenata u akvatorijima koji su sličnih geometrijskih karakteristika [9] može se s velikom sigurnošću tvrditi kako je njihov utjecaj ograničen na relativno tanki površinski sloj mora te da njihovi utjecaji ne bi bitno mijenjali donesene zaključke.

Rezultati provedenih modeliranja koji su predstavljeni u ovome radu nisu, naravno, dovoljni za izdavanje generalnih preporuka o preporučljivim udaljenostima difuzorske sekcije ispusta od lokacije podmorske prepreke. U tom smislu tek slijedi daljnje numeričko eksperimentiranje i istraživanje međuodnosa geometrije prepreke i ve

ličine uzvodno/nizvodnog utjecajnog područja izvan koje bi se za različite uvjete stratifikacije vodenog stupca moglo preporučiti lociranje difuzorskih sekcija većih podmorskih ispusta u jadranskom priobalju.

LITERATURA

- [1] Institut za oceanografiju i ribarstvo Split: *Rezultati istraživanja mora za potrebe projektiranja podmorskog ispusta Split-Stobreč*, IOR Split, Split, 1998.
- [2] Rasmussen, E. B. et al.: *System 3 – A Three Dimensional Hydrodynamic Model*, Danish Hydraulic Institute, Horsholm, 1991.
- [3] Farmer, D.; Armi, L.: *The Generation and Trapping of Solitary Waves over Topography*. Science 283 (1999), 188-190.
- [4] Christodoulou, G.C.: *Interfacial mixing in stratified flows*, Journal of Hydraulic Research 24 (1986)2, 77-92.
- [5] Pedersen, F.B.: *Environmental Hydraulics: Stratified flows*, Springer-Verlag, Berlin, 1986.
- [6] Fischer, H.B. et al.: *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, New York, 1979.
- [7] Okubo, A.: *Diffusion and Ecological Problems: Mathematical Models*, Springer-Verlag, Berlin, 1980.
- [8] Fernando, H.J.S.: Turbulent Mixing in Stratified Fluids, Ann. Rev. Fluid Mech. 23 (1991), 455-493
- [9] Ravlić, N.: *Modellazione numerica dei processi idrodinamici nei bacini costieri di media profondita' in presenza dell'effetto baroclinico*, Universita degli Studi di Padova, Padova, 1996.