

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN  
BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE ENERGETICĂ**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

Conducător de doctorat:  
**Prof. dr. ing. Carmen-Anca SAFTA**

Autor:  
**Ing. Cosmin KATONA**

**BUCUREȘTI  
2022**





UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI  
Facultatea de Energetică  
Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului



Nr. decizie Senat ..... din .....

# TEZĂ DE DOCTORAT

*Contribuții la valorificarea potențialului energetic din surse regenerabile de energie (eolian și valuri) din zonele portuare*

## *Rezumat*

**Autor:** drd. ing. Cosmin Katona

**Conducător de doctorat:** prof. dr. ing. Carmen-Anca Safta

## COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. dr. ing Sanda Carmen GEORGESCU	de la	Universitatea Politehnica din București, Facultatea ENERGETICA
Conducător de doctorat	Prof. dr. ing Carmen-Anca SAFTA	de la	Universitatea Politehnica din București, Facultatea ENERGETICA
Referent	Prof. Dr. ing Andrei Mugur GEORGESCU	de la	Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea HIDROTEHNICĂ
Referent	Prof. Dr. ing Marius STOIA-DJESKA	de la	Universitatea Politehnica din București, Facultatea INGINERIE AEROSPAȚIALĂ
Referent	C.S. II dr. ing. Alexandru DUMITRACHE	de la	Institutul de Statistică Matematică și Matematică Aplicată "Gheorghe Mihoc-Caius Iacob"
Membru supleant	Conf. dr. ing. Costin COȘOIU	de la	Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea HIDROTEHNICĂ

București, 2022



## CUPRINSUL TEZEI

Lista de figuri	7
Lista de tabele	10
Lista principalelor notații	11
Lista de publicații	14
<b>INTRODUCERE</b>	17
CONTEXTUL PREZENTULUI STUDIU	17
OBIECTIVE ȘI MOTIVAȚII	18
ANALIZA STADIULUI ACTUAL	19
STRUCTURA TEZEI	20
<b>Capitolul I STADIUL ACTUAL PRIVIND CONVERSIA ENERGIEI     REGENERABILE ÎN ENERGIE ELECTRICĂ</b>	22
1.1. INDICATORI ENERGETICI	22
1.2. INDICATORI SOCIO-ECONOMICI	28
1.3. INDICATORI PRIVIND INOVAREA ȘI COMPETITIVITATEA	31
1.4. APLICAREA PENTRU BREVETE	32
1.5. CONCLUZII	33
<b>Capitolul II EFECTUL DIREȚIEI VÂNTULUI ȘI AL CLĂDIRILOR     ADIACENTE ASUPRA UNUI PORT DE AGREMENT DIN     MAREA NEAGRĂ</b>	35
2.1. INTRODUCERE	35
2.2. EVIDENȚIEREA PROBLEMEI ȘI ZONA COSTIERĂ URBANĂ	37
2.3. DOMENIUL DE SIMULARE NUMERICĂ	38
2.4. REZULTATE ȘI INTERPRETĂRI	41

---

2.5. STUDIUL UNUI ANSAMBLU DE CLĂDIRI	44
2.6. CARACTERISTICI ALE DOMENIULUI NUMERIC	46
2.7. ALGORITMI MATEMATICI	47
2.8. SETĂRI METODOLOGICE	48
2.9. REZULTATE ȘI INTERPRETĂRI	50
2.10. CONCLUZII	54
<b>Capitolul III MODELAREA NUMERICĂ PRIVIND AMPLASAREA UNEI</b>	<b>56</b>
<b>TURBINE EOLIENE ÎNTR-UN MEDIU URBAN COSTIER</b>	
3.1. INTRODUCERE	56
3.2. STRATUL LIMITĂ ATMOSFERIC (ABL)	58
3.3. ANALIZA MODELULUI DE CURGERE PERTURBAT ȘI NEPERTURBAT	59
3.4. GHID DE MODELARE URBANĂ	61
3.5. DISCRETIZAREA ȘI ANALIZA INDICELUI DE CONVERGENȚĂ A REȚELEI DE DISCRETIZARE	63
3.6. STRUCTURA CURGERII ÎN JURUL ZONEI DE INTERES	65
3.7. ANALIZA TURBINEI EOLIENE	69
3.8. CONCLUZII	75
<b>Capitolul IV VALORIFICAREA MICROPOTENȚIALULUI ENERGETIC</b>	<b>76</b>
<b>PRIN MODELAREA IMPACTULUI VALULUI PE O     SUPRAFAȚĂ PLANĂ</b>	
4.1. INTRODUCERE	76
4.2. DESCRIEREA VALURILOR	78
4.3. CONSIDERAȚII TEORETICE	79
4.4. FORMA VALURILOR ÎN ZONELE DE COASTĂ	81
4.5. DEFERLAREA VALURILOR	84
4.6. MODELAREA NUMERICĂ A VALURILOR	86
4.7. CONCLUZII	97
<b>Capitolul V VALIDAREA REZULTATELOR NUMERICE</b>	<b>98</b>
5.1. GENERALITĂȚI	98
5.2. SETAREA CAZURILOR EXPERIMENTALE	99
5.3. VALIDAREA EXPERIMENTELOR PRIN METODA VIZUALIZĂRII DIRECTE	100

---

5.4. CONCLUZII	110
<b>Capitolul VI CONCLUZII FINALE</b>	<b>111</b>
6.1. CONCLUZII GENERALE	111
6.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE	112
6.3. PERSPECTIVE ÎN DEZVOLTAREA ULTERIOARĂ	113
<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>115</b>
<b>ANEXE</b>	<b>125</b>
A1. MODELE DE TURBULENȚĂ	125
A2. DATE CLIMATOLOGICE DIN ZONA MARITIMĂ CONSTANȚA	128
A3. INSTALAȚIA DE MĂSURARE ȘI DATELE NEPRELUCRATE OBȚINUTE DIN TEREN	133
A4. PROFILELE ARHITECTURALE PROPUSE CLĂDIRILOR AFERENTE AMPLASĂRII TURBINELOR EOLIENE	135
A5. CODUL DE IMPLEMENTARE A STRATULUI LIMITĂ ATMOSFERIC NEUTRU PENTRU MODELUL DE TURBULENȚĂ $k - \varepsilon$ STANDARD	138
A6. CODUL DE IMPLEMENTARE PENTRU ANALIZA INDICELUI DE CONVERGENȚĂ A REȚELEI DE DISCRETIZARE	142
A7. ECHIPAMENTE ȘI INSTRUMENTE UTILIZATE ÎN STUDIILE NUMERICE ȘI DE VIZUALIZARE	145
A8. CURRICULUM VITAE	149

**Lista de publicații (01.09.2022)****Jurnale internaționale**

1. **Katona C.**, Safta C., Dumitrache A., ”Adjoint building design optimization coupled with a VAWT for wind energy harvesting through a sea coastal wind stream”, ICNAAM 2022 WORLD CONGRESS, AIP Conference Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Volume XXX, Issue XXX, [on-going](#), 2022
2. **Katona C.**, Safta C., Frunzulica F., Goemans M., ”Numerical Simulations of Gaseous Flames in Combustion Chamber Applications”, IC-MSQUARE 2020 WORLD CONGRESS, Journal of Physics, Conference Series of the 9<sup>th</sup> International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences, Volume 1730, Issue 1, [doi:10.1088/1742-6596/1730/1/012110](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1730/1/012110), 2021
3. **Katona C.**, Safta C., Frunzulica F., ”Efficiency location of a VAWT based on the wind conditions around the buildings in a sea coastal region”, ICNPAA 2018 WORLD CONGRESS, AIP Conference Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences,, Volume 2046, Issue 1, <https://doi.org/10.1063/1.5081560>, 2018
4. **Katona C.**, Safta C., ”The effect of wind direction and building surroundings on a marina bay in the Black Sea”, ICNPAA 2016 WORLD CONGRESS, AIP Conference Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences,, Volume 1798, Issue 1, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4972665>, 2017
5. Lupu S., Pocora A., Nicolae F., **Katona C.**, ”The role of the maritime simulators in evaluating the practical competences of graduated students in order to accomplish officer of the watch duties onboard vessels”, Proceedings of the 12th International Scientific Conference „eLearning and Software for Education”, ISSN 2066-026X-16-031, vol. II, Bucharest, April 21 - 22, 2016, indexed by ISI Web Of SCIENCE, CEEOL, ProQuest, EBSCO HOST
6. Lupu S., Pocora A., Toma A., **Katona C.**, ”Training of the Romanian Navy personnel for underway replenishment operations”, Proceedings of the 11th International Scientific Conference „eLearning and Software for Education”, ISSN 2066-026X, vol. II, Bucharest, April 23 - 24, 2015, indexed by ISI Web Of SCIENCE, CEEOL, ProQuest, EBSCO HOST
7. Lupu S., Pocora A., **Katona C.**, Boșneagu R., ”Simulation techniques for training and coaching of navy officers in naval kinematics problems and fleet formations scenarios”, Proceedings of the 11th International Scientific Conference „eLearning and Software for Education”, ISSN 2066-026X, vol. II, Bucharest, April 23 - 24, 2015, indexed by ISI Web Of SCIENCE, CEEOL, ProQuest, EBSCO HOST



8. Lupu S., Pocora A., Toma A., **Katona C.**,” Software application for officers in charge of a navigational watch”, Proceedings of the 10th International Scientific Conference „eLearning and Software for Education”, ISSN 2066-026X, vol. I, Bucharest, April 24 - 25, 2014, indexed by ISI Web Of SCIENCE, CEEOL, ProQuest, EBSCO HOST

### **Bază de date internaționale**

1. **Katona C.**, Safta C., Building effect assembly and urban surroundings on a helical wind turbine performance: A numerical perspective, Universitatea Politehnică București, Scientific Bulletin, Series D, vol. XX, issue XX, ISSN XXX-XXXX, on-going (în curs de publicare), 2022
2. Lupu S., Pocora A., Bosneagu R., **Katona C.**, “Maritime traffic in the Romanian harbours”,” Mircea cel Batran” Naval Academy Scientific Bulletin, ISSN 1454 – 864X, vol XIX, issue 1, indexed by SciTech Journals, ProQuest, Constanța, 2016
3. Lupu S., Pocora A., Bosneagu R., **Katona C.**, “The security and safety of maritime navigation through Romanian maritime harbors”,” Mircea cel Batran” Naval Academy Scientific Bulletin, ISSN 1454 – 864X, vol XIX, issue 2, indexed by SciTech Journals, ProQuest, Constanța, 2016
4. Pocora A., Lupu S., Toma A., **Katona C.**, “Light pollution in Constanta: A case study”,” Mircea cel Batran” Naval Academy Scientific Bulletin, ISSN 1454 – 864X, vol XIX, issue 2, indexed by SciTech Journals, ProQuest, Constanța, 2016
5. **Katona C.**, Toma A., “The cargo evolution transportation on romanian waterways Cernavodă – Agigea and Poarta Albă – Midia Năvodari”,” Mircea cel Batran” Naval Academy Scientific Bulletin, ISSN 1454 – 864X, vol XVIII, indexed by SciTech Journals, ProQuest, Constanța, 2015
6. Șerban Sergiu, **Katona Cosmin**, Valeriu Panaitescu, “The analysis of squat and underkeel clearance for different ship types in a trapezoidal cross-section channel”, Universitatea Politehnică București, Scientific Bulletin, Series D, vol. 77, issue 3, ISSN 1454-2358, 2015
7. **Katona Cosmin.**, Toma Alecu., “The information management for maritime accident reconstruction using Voyage Data Recorder system,” Naval Academy Scientific Bulletin, ISSN 1454 – 864X, vol XVIII - issue 2, indexed by SciTech Journals, ProQuest, Constanța, 2015
8. Sergiu Șerban, **Katona Cosmin**, Valeriu Panaitescu, “Case study of ship-to-ship interaction using NTPRO 5000 navigational simulator, Mircea cel Bătrân” Naval Academy Scientific Bulletin, Volume XVII – 2014 – Issue 2, pag 31-35, ISSN 2392-8956, Constanta, 2014

9. **Katona Cosmin**, Sergiu Lupu, Andrei Pocora, Sergiu Șerban, “Adjusting the magnetic deviation table for MK 2000S compass outfit in educational purposes,” *Mircea cel Bătrân* Naval Academy Scientific Bulletin, Volume XVII – 2014 – Issue 2, pag 18-21, ISSN 2392-8956, Constanta, 2014

### Conferințe internaționale

1. **Katona Cosmin**, Valeriu Panaitescu, Scurtu Cristian Ionuț, “Optimal parametric rudder shape based on numerical analysis using commercial software CFX”, 7th International Conference on Energy and Environment, October 2015
2. **Katona Cosmin**, Șerban Sergiu,” Storage, access, and processing of information within VDR system (Voyage Data Recorder)”, Science and Engineering, International Conference “Professor Dorin Pavel – Romanian hydropower founder”, ISSN 2067-7138, Sebeș, 2015
3. Șerban Sergiu, **Katona Cosmin**, Valeriu Panaitescu, “Modelarea planurilor de proiecție ale unei nave de tip tanc petrolier utilizând programul autoship”, International conference “Energy, Efficiency, Ecology and Education”, ISBN 978-9975-71-719-9, Chișinău, 2015
4. Șerban Sergiu, **Katona Cosmin**, Valeriu Panaitescu, “Ship squat for a theoretical hull model in trapezoidal variable cross-section canal”, International conference “Current issues of urbanism and planning”, vol. II, ISSN 987-9975-71-582-9, Chisinau, 2014

### Propunere brevete de invenție

1. Petică C.C., Petică G.Al., **Katona C.**, Safta C.A., “Dispozitiv și metodă pentru monitorizarea funcționării scărilor de pești din amenajările hidroelectrice de puteri mici”, cerere de brevet OSIM A00660 din 18.10.2019

### Membru în proiecte de cercetare

1. Modal course for practical training in integrated simulator ship for the officer of the watch in the Navy – position 123 from R & D Sectorial Plan - 2014.
2. The use of waterways for efficient military actions in responsibility of the Romanian Navy - position 125 from R & D Sectorial Plan – 2014.
3. Modal course for training in integrated simulator ship for the Search and Rescue Operations - position 145 from R & D Sectorial Plan – 2015.
4. The dispersion of oil in case of accidental pollution aboard military ships using real time hydro-meteorological forecasts received - position 144 from R & D Sectorial Plan – 2015
5. Modernization study of the Astronomical Observatory from the Naval Academy “Mircea cel Bătrân” - position 143 from R & D Sectorial Plan – 2015

## INTRODUCERE

### CONTEXTUL PREZENTULUI STUDIU

Transportul maritim este o componentă semnificativă în sistemul mondial de transport ceea ce conferă libertatea comerțului diversificat și oferă prețuri competitive în comparație cu celelalte metode de transport ale bunurilor. Porturile maritime care permit transportul pe calea apei au un impact major asupra mediului economic, social și natural. Autoritățile portuare manifestă o conștientizare tot mai mare a influențelor negative asupra mediului înconjurător urban și astfel, concomitent, implementează măsuri energetice și ecologice în conformitate cu principiile dezvoltării durabile.

Un element cheie ca răspuns la problemele energetice durabile este dezvoltarea și implementarea unui port independent energetic ca fiind parte substanțială în dezvoltarea conceptului de port maritim verde.

Îmbunătățirea producției energetice a unui port maritim implică provocări și eforturi ingineresti enorme astfel încât implementarea la nivel macroscopic devine aproape nerealizabilă pe termen scurt [168]. O astfel de provocare poate induce riscuri în dezvoltarea structurilor portuare cât și reducerea traficului maritim datorită implicațiilor financiare ridicate ceea ce reduce conceptul macroscopic la o scală microscopică, de altfel perfect adaptabilă pentru porturile comerciale de susținere a ambarcațiunilor de agrement de dimensiuni mici și mijlocii.

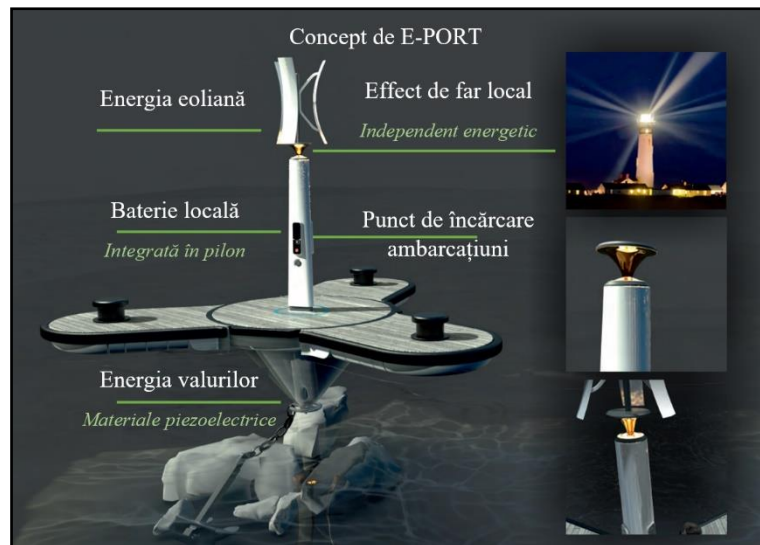
La nivel mondial ideea portului susținut parțial energetic evoluează datorită potențialului energetic de tip *offshore* ceea ce realizează un aport substanțial de energie electrică în proximitatea portuară însă costurile de instalare în scopul susținerii unui port maritim de dimensiuni mici nu amortizează pe termen scurt investiția propriu-zisă [157, 164]. De altfel, se realizează faptul că potențialul energetic verde din proximitatea porturilor turistice nu este exploatat aproape pentru nici o formă de resursă regenerabilă.

### OBIECTIVE ȘI MOTIVAȚII

Teza de doctorat intitulată *Contribuții la valorificarea potențialului energetic din surse regenerabile de energie (eolian și valuri) din zonele portuare* reprezintă o cercetare aplicativă prin care se urmărește stabilirea unor zone locale de captare a energiilor regenerabile asociate fenomenelor curgerilor dinamice perturbate.

Studiul dinamicii curgerilor în vecinătatea structurilor urbane precum și a bazinelor portuare au un potențial aplicativ ridicat, fiind un subiect direct legat de fundamentele din

mecanica fluidelor: stabilirea corectă a condițiilor de limită impuse domeniului de curgere în cuantificarea micro-potențialului de putere real pentru energii regenerabile.



**Fig. 0.1.** Conceptul de e-Port în viziunea autorului

Teza de față tratează cu atenție deosebită curgerea aerodinamică locală a clădirilor, a turbinelor eoliene și hidrodinamica curgerilor cu suprafețe libere în sisteme închise – cu precădere asupra direcțiilor de curgere, dezvoltarea zonelor de recirculare și a dârelor de vârtej, șocului de tip ”rupere de baraj”, impactul și distribuția de forțe hidrodinamice pe o suprafață bine definită.

Consider obiective principale ale tezei următoarele:

- i. Valorificarea potențialului de putere real al golului portului turistic Tomis, Constanța, în vederea realizării unui E-port independent energetic;
- ii. Concepția, proiectarea și construcția unor geometrii arhitecturale din zonele de terasă ale clădirilor înalte pentru îmbunătățirea fluxului de curgere dinamic în zonele urbane;
- iii. Determinarea unei proceduri de identificare și îmbunătățire a structurilor urbane pentru cuantificarea influenței geometrice asupra zonei cu potențial energetic;
- iv. Elaborarea unei proceduri pentru stabilirea amplasării turbinelor eoliene de puteri mici în zonele urbane din proximitatea porturilor turistice;
- v. Realizarea, validarea și extinderea simulărilor numerice pentru extragerea datelor relevante în vederea optimizării micropotențialului energetic local;
- vi. Studiul numeric și experimental a instabilităților fizice a curgerii nepermanente cu suprafețe libere de tip ”rupere de baraj”.

## ANALIZA STADIULUI ACTUAL

Producerea de energie din surse regenerabile în proximitate portuară oferă avantaje importante: un număr ridicat de ore de funcționare, variabilitatea scăzută, flexibilitate ridicată, mentenanță la costuri minime și costuri de echilibrare reduse față de energia eoliană offshore și cea fotovoltaică. Astfel, identificăm următoarele aspecte: energie eoliană urbană nu necesită structuri de susținere deoarece structurile clădirilor înalte pot fi utilizate ca suport

de bază, terasele clădirilor pot fi modificate [56], cu costuri minime, în scopul îmbunătățirii profilului vântului precum și siguranța zonelor pietonale în cazuri de rafale [129], structurile danelor de acostare a ambarcațiunilor pot capta energia valurilor și nu necesită modificări considerabile ci dimpotrivă se integrează în aspectul arhitectural portuar.

Una din principalele dificultăți în analiza, modelarea și implementarea energiilor regenerabile în zonele portuare urbane este stabilirea influențelor spațiale locale ce caracterizează domeniul curgerii perturbate asupra dinamicii fluidelor. Acest subiect rămâne o provocare neabordată de literatura de specialitate și riscă pierderea oportunității predicției energetice în detrimentul optimizării și eficientizării sistemelor de captare a energiilor din surse regenerabile.

Energia eoliană poate deveni un pilon pentru atingerea obiectivului de neutralitate climatică în contextul european 2050 [164]. Avantajul tehnologic și resursele eoliene semnificative la nivelul țării noastre pot contribui la o dezvoltare rapidă a obiectivului strategic european pentru energie regenerabilă. Se identifică o capacitate naturală potențială de 94 GW din care 22 GW folosind turbine fixe conform strategiei Uniunii Europene (*European Green Deal*).

La momentul actual, România este unul din liderii dezvoltării potențialului energetic a energiilor eoliene de coastă din zona de sud-est a Europei având instalată o putere de 3 GW conform *Planului National Integrat în Domeniul Energiei și Schimbărilor Climatice 2021-2030* [55] însă aceste instalații sunt în afara zonelor urbane.

Totodată, există un interes din ce în ce mai mare pentru dezvoltarea proiectelor eoliene în diferite zone de coastă definite în urma studiului vitezei medii a vântului care în perioada de iarnă poate ajunge până la 8 m/s [29, 38, 110, 142, 198] însă stațiile automate meteorologice (*Direcția Hidrografică Maritimă din Rețeaua de Supraveghere Meteorologică Maritimă a Forțelor Navale*) din proximitatea urbană și portuară determină o viteză medie a vântului de doar 5,5 m/s. Prin urmare, reducerea de viteză a vântului ca diferență dintre un câmp deschis și o zonă urbană populată cu clădiri înalte [44], descurajează piața pentru a introduce energia eoliană în urbanism.

Implicațiile importante pe care le pot avea corpurile statice urbane asupra curgerilor dinamice reprezintă oportunități pentru numeroase investigații dedicate strategiilor pasive [53, 114, 137] și active de intensificare a acestui fenomen [83, 136]. Strategiile pasive sunt realizate în baza optimizărilor locale a formelor corpurilor și respectiv, strategii active precum utilizarea suprafețelor locale în generarea de locații ideale pentru instalarea turbinelor eoliene în contextul urban bine ancorat [14, 126, 183].

În ultimi ani, diverse scenarii au fost propuse în lupta independenței energetice, preponderent cu surse eoliene și fotovoltaice însă pentru îndeplinirea furnizării 100% a energiilor regenerabile trebuie considerate și alte surse adiționale precum energia generată de valuri [167]. Cu toate că concentrarea rămâne asupra zonelor de coastă, ușor, se acordă o atenție deosebită și mediului maritim [185, 187 191].

Atractivitatea mediului marin crește semnificativ o dată ce ne îndepărtăm de zona de coastă însă pentru a rămâne competitiv este important de pus în balanță potențialul energetic existent și caracteristicile de valorificare a potențialului energetic, cum ar fi distanța față de țărm, adâncimea apei, CAPEX, OPEX, grila de conectivitate, traficul maritim, mediu acvatic și costurile de mentenanță.

În majoritatea scenariilor energetice, eficiența de valorificare energetică se definește în largul mării iar zona de coastă rămâne un caz particular fără interes. Proiectele de captare a energiilor maritime se întâlnesc frecvent ca fiind planuri macroscopice și implică eforturi tehnologice și financiare mari cu riscul eșuării obiectivului de implementare.

Astfel, un plan microscopic (din punct de vedere local) poate avea un succes ridicat prin abordarea zonelor relativ mici cu concentrare semnificativă de resurse energetice maritime cum ar fi bazinul portuar sau proximitățile portuare create în scopul adăpostirii ambarcațiunilor. Aici, identificăm o zonă cu micropotențial energetic ridicat, o fluxuație a suprafeței libere continue și o bază materială a structurilor de acostare deja prezente. Dacă obiectivul se menține la un nivel microscopic în sensul alimentării ambarcațiunilor electrice, generarea de lumini stradale sau a unor platforme flotabile de acostare, se realizează primul pas infrastructural în concepția portului independent energetic, Figura 0.1.

## **STRUCTURA TEZEI**

Teza de doctorat este structurată în 6 capitole, precedate de Introducere. Strategia de realizare a acestora vizează să prezinte o evoluție a cazurilor studiate, pornind de la aspecte actuale, teoretice, simulări numerice și studii experimentale în regim perturbat și continuând cu investigații asociate micropotențialului energetic local.

Primul capitol aduce în vedere stadiul actual al surselor regenerabile ca indicatori energetici, socio-economici, prin inovare și competitivitate a potențialului energetic la nivel european, național și local, așa cum reiese din studiul bibliografic.

Capitolul 2 prezintă principalele noțiuni teoretice cu privire la efectul direcției vântului și al clădirilor asupra unui port de agrement din regiunea dobrogeană, Constanța. Sunt prezentate măsurători la nivel regional precum și local, în zonele de interes determinate conform aspectelor generale și utilizând simulările numerice. Este introdus conceptul de strat limită atmosferic, preluat din literatura de specialitate și se efectuează un studiu al terasamentelor clădirilor pentru îmbunătățirea potențialului de putere energetic.

Extinderea simulărilor numerice din capitolul precedent se realizează în Capitolul 3 ca o continuare a studiului clădirilor din proximitatea portuară prin transferul de rezultate obținute în studiul comportării corpurilor solide la acțiunea maselor de aer. Rezultatele obținute au fost transferate în condiții inițiale în studiul numeric al eficienței turbinei eoliene. Se introduce aici conceptul de strat limită atmosferic neutral, se determină poziția de amplasare a turbinei eoliene precum și alegerea acesteia în funcție de cazul particular studiat. Totodată, capitolul conține raportul de putere realizabil în condiții perturbate în comparație cu curba puterii oferită de furnizorul turbinei eoliene.

Capitolul 4 este dedicat simulărilor numerice a suprafețelor libere de tip ”rupere de baraj”. Confruntarea instabilității dinamice a curgerilor cu suprafețe libere într-un sistem închis sunt prezentate ca simulări numerice a deferlării valului. Șocul ruperii de baraj și impactul cu o primă suprafață de contact sunt evidențiate într-un domeniu bidimensional. Potențialul de putere captabil din energia valurilor este prezentat prin propunerea folosirii materialelor piezoelectrice drept componente integrate în suprafața de contact.

Rezultatele experimentale stau la baza validării unor cazuri numerice, acestea fiind descrise în Capitolul 5 și realizate în condiții similare celor din experiment. În urma confirmării cantitative a soluțiilor rezultate din simularea numerică, acestea pot fi extinse către cazuri de complexitate ridicată cum ar fi domeniul tridimensional.

Capitolul 6 încheie teza prin formularea concluziilor generale reieșite din analiza rezultatelor obținute și prezintă contribuțiile originale aduse de lucrare, concentrată pe cele trei direcții de cercetare – teoretică, numerică și experimentală – precum și perspective de dezvoltare viitoare a cercetărilor.

Teza se încheie cu bibliografia și șapte anexe, care cuprind formularea modelelor de turbulență utilizate, baza de date a situației hidro-meteorologică din perioada 2008-2019 a regiunii Constanța, instalația de măsurare a parametrilor locali pe clădirea de interes, profilele arhitecturale cu cotele tehnice aferente, codul de implementare a stratului limită atmosferic neutral în codul numeric Numeca – FineOpen (recent Cadence), codul de implementare pentru analiza indicelui de convergență a rețelei de discretizare și instalațiile comerciale utilizate în studiile numerice.

O serie de rezultate prezentate în teză provin din simulări numerice iar baza acestor metode numerice sunt efectuate folosind codul numeric Fluent<sup>TM</sup> versiunea 12.1 dezvoltat de ANSYS pentru simulările regionale a zonei urbane și codul numeric NUMECA FineOpen with OpenLabs versiunea 6.2 (*Fidelity*, noua denumire a codului fiind preluată compania NUMECA de către compania CADENCE în 2020) pentru simulările detaliate ale clădirilor, turbinei eoliene alese și spargerea valurilor.

Toate rezultatele experimentale prezentate în teză au fost realizate în Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului din Facultatea de Energetică, Universitatea Politehnică București iar măsurătorile locale au utilizat aparatura din baza materială a Academiei Navale ”Mircea cel Batrân” Constanța. Excepție vor face datele și rezultatele menționate din bibliografia literaturii de specialitate.

# CAPITOLUL I

## STADIUL ACTUAL PRIVIND CONVERSIA ENERGIEI REGENERABILE ÎN ENERGIE ELECTRICĂ

### 1.1. INDICATORI ENERGETICI

În anul 2017 s-au înregistrat un număr record de instalații în sectorul energiei eoliene din Uniunea Europeană însă anul următor, 2018 a înregistrat mult mai puține instalații eoliene. Eurostat raportează că UE a adăugat 10,5 GW de capacitate comparativ cu 14,1 GW în 2017 (adică o scădere de 26,7%) [171÷173]. Capacitatea maximă netă de energie electrică eoliană exprimată prin capacitate maximă activă care poate fi furnizată în mod continuu, a UE, a crescut la 179,1 GW până la data de 31 decembrie 2018. Această tendință generală este atribuită în principal scăderii puternice de la an la an a capacității noi instalate pe cele trei piețe principale ale Uniunii Europene [184, 186], și anume Germania (o scădere de 46,9% la 3263 MW), Marea Britanie (o scădere de 36,8% la 2 186 MW) și Franța (o scădere de 27,5% la 1401 MW).

Cu toate acestea, nu toate statele membre UE au urmat acest trend, deoarece nivelurile de instalații noi ale unui număr semnificativ de țări din Europa de Vest și de Nord au crescut în mod clar, unele prezentând rate de creștere semnificative. Acest lucru este valabil pentru Suedia (689 MW de capacitate suplimentară, 291,5% creștere), Danemarca (631 MW, creștere de 158,5%) și Spania (281 MW, creștere de 108,6%). Italia a înregistrat o performanță foarte bună, cu o creștere mai puțin substanțială asemeni Danemarcei și Spaniei (494 MW, creștere de 40,0%) [177].

Scăderea pieței este o tendință de bază în multe țări a căror activitate de energie eoliană este sau aproape a fost oprită de câțiva ani. Aproximativ jumătate din bazele de turbine eoliene ale statelor membre ale Uniunii Europene nu s-au extins. Un motiv pentru aceasta este că unele state și-au atins deja obiectivele europene de energie regenerabilă pentru 2020 (sau sunt foarte aproape de a face acest lucru).

În timp ce în UE s-au înregistrat scăderi în implementarea de noi conexiuni de energie eoliană pe uscat, energia eoliană pe mare a oferit o imagine diferită [156]. Potrivit Eurostat [171], capacitatea maximă netă de energie electrică eoliană pe mare a UE în 2018 a fost de 18 731,9 MW, ceea ce înseamnă un număr de 2 964,4 MW suplimentari, similar cu realizarea din 2017 (3174,6 MW). Șapte țări ale Uniunii Europene, Tabelul 1.1, operează integral capacitatea turbinelor eoliene pe mare. Energia eoliană pe mare a reprezentat astfel 28,1% din capacitatea suplimentară conectată în 2018, comparativ cu 22,1% în 2017.



**Tabelul 1.1.** Capacitatea electrică maximă din energia eoliană la nivelul UE

	2017	of which offshore	2018	of which offshore
Germany	55 580.0	5 406.0	58 843.0	6 396.0
Spain	23 124.5		23 405.1	
United Kingdom	19 584.8	6 987.9	21 770.4	8 216.5
France	13 499.4		14 900.1	
Italy	9 736.6		10 230.2	
Sweden	6 611.0	203.0	7 300.0	203.0
Denmark	5 489.6	1 263.8	6 120.6	1 700.8
Poland	5 759.4		5 766.1	
Portugal	5 124.1		5 172.4	
Netherlands	4 202.0	957.0	4 393.0	957.0
Ireland	3 318.0		3 676.1	
Belgium	2 796.5	877.2	3 260.7	1 185.9
Austria	2 886.7		3 132.7	
Romania	3 029.8		3 032.3	
Greece	2 624.0		2 877.5	
Finland	2 044.0	72.7	2 041.0	72.7
Bulgaria	698.4		698.9	
Croatia	576.1		586.3	
Lithuania	518.0		533.0	
Hungary	329.0		329.0	
Czechia	308.2		316.2	
Estonia	311.8		310.0	
Cyprus	157.7		157.7	
Luxembourg	119.7		122.9	
Latvia	77.1		78.2	
Slovenia	5.0		5.2	
Slovakia	4.0		3.0	
Malta	0.1		0.1	
Total EU 28	168 515.3	15 767.6	179 061.7	18 731.9

\* Net maximum electrical capacity. Source: Eurostat

Marea Britanie și Germania au avut din nou cel mai mare număr de instalații noi pe mare. Conform datelor publicate de BEIS (Departamentul pentru Afaceri, Energie și Strategie Industrială) citate de Eurostat, Marea Britanie a adăugat 1228,7 MW de capacitate în 2018 (1694,5 MW în 2017), aducând volumul de energie eoliană a țării la 8 216,5 MW la finele anului 2018 [181]. Parcurile eoliene complet conectate includ Walney 3 Extensions Faza 1 – Vest (66 MW) și Faza 2 – Est (329 MW), Galloper (277,2 MW), Rampion (220,8 MW), Race Bank (50,4 MW), EOWDC (93,2 MW), precum și racordarea parțială a Parcului Eolian Beatrice 2 (273 MW). Germania a fost a doua cea mai activă țară cu 990 MW conectați în 2018 (1275 MW în 2017), ducând capacitatea parcului eolian pe mare la 6396 MW. Această capacitate suplimentară echivalează cu punerea în funcțiune completă sau parțială a parcurilor eoliene Borkum Riffgrund 2 (450 MW) și Merkur (396 MW) din Marea Nordului

și a parcurilor eoliene Wikinger (350 MW) și Arkona (384 MW) din Marea Baltică. Danemarca a ocupat locul al treilea, cu 437 MW conectați în 2018, conform Agenției Daneze pentru Energie. În 2018 capacitatea de energie eoliană pe mare înregistră era de 1 700,8 MW, datorită punerii în funcțiune a parcului eolian Horns Rev 3 (407 MW). Belgia s-a remarcat prin conectarea parcului eolian Rentel (309 MW), ceea ce a făcut-o a patra țară din UE care depășește pragul de 1 GW conectat pe mare cu 1185,9 MW, depășind Olanda (957 MW), care nu a conectat nici o nouă instalație suplimentară.

Energia hidro este, de asemenea, un domeniu mic în ceea ce privește investițiile publice în cercetare și dezvoltare în comparație cu energia solară. În acest domeniu, SUA are cea mai mare investiție publică în cercetare și dezvoltare dintre toate țările considerate în analiza de față. Este urmată de Turcia, Elveția, Canada și Norvegia, care au toate resurse hidroenergetice semnificative. UE, în ansamblu, are valorile de investiții pentru cercetare-dezvoltare în sectorul hidroenergetic, între Canada și Norvegia. În UE, Marea Britanie, Austria, Franța și Germania prezintă cele mai mari valori. Cotele din PIB arată că cele mai mari cote se găsesc în Elveția, Norvegia, Canada, SUA și Coreea.

## 1.2. APLICARE PENTRU BREVETE

În energia eoliană, China are cel mai mare număr de cereri de brevete. Comparativ, UE are doar o treime din cifrele de depunere ale Chinei, deși numărul de depuneri din UE a crescut ușor din 2014. China, totuși, și-a crescut și activitățile de brevetare în tehnologiile eoliene.

Germania ocupă locul trei, urmată de Coreea, Japonia, Statele Unite și Danemarca. Această poziție puternică a Europei este susținută în mare parte din poziția puternică a două țări europene, și anume Germania și Danemarca, care împreună sunt responsabile pentru mai mult de 70% din toate brevetele europene în domeniul energiei eoliene. Cu toate acestea, de asemenea, Spania, Franța, Marea Britanie, Olanda și Polonia au depus un număr semnificativ de brevete în acest domeniu în anul 2015.

În ceea ce privește contribuția la PIB pe care o aduc brevetele depuse cu subiecte din energia eoliană, Danemarca este țara lider cu cea mai mare valoare. Este urmată de Coreea, China, Letonia, Germania și Japonia. În ceea ce privește specializarea brevetului pe domeniul eolian, în special Danemarca prezintă o valoare mare, ceea ce implică faptul că energia eoliană poate fi văzută ca un factor important în portofoliul său de tehnologie energetică autohtonă. Valori mari pot fi găsite și pentru Letonia, Lituania și Spania. Germania prezintă, de asemenea, o specializare peste medie, dar nu este la fel de pronunțată ca în cazul Danemarcei și a celorlalte țări menționate. Acest lucru se datorează faptului că, în general, Germania depune un număr mare de brevete în tehnologii energetice, astfel încât efectul brevetelor de energie eoliană asupra portofoliului său nu este atât de pronunțat.

În energia hidro, cifrele de brevetare sunt mai mici decât în energia eoliană sau solară. Din nou, în special China este cea care afișează un număr mare de brevete. Japonia, UE și Coreea urmează, dar la un nivel mai scăzut decât China. China, UE 28 și Japonia au reușit o creștere a depunerilor de brevete între 2014 și 2015, în timp ce cifrele pentru Coreea au

scăzut. În Europa, Germania este responsabilă pentru 30% din toate depunerile de brevete în acest domeniu, în timp ce Franța este responsabilă pentru 15%. Polonia, Italia, România, Finlanda, Olanda, Marea Britanie, Slovacia, Austria, Suedia și Belgia au depus, de asemenea, mai mult de un brevet în domeniu sectorului în energia hidro în 2015.

În raport cu dimensiunea sa economică, China și Coreea dezvăluie cele mai mari cifre de depunere de brevete pe PIB, urmate de Slovacia, România, Polonia și Japonia. Cu toate acestea, trebuie subliniat din nou că aceste brevete includ și cereri de brevete naționale unice, o interpretare în ceea ce privește competitivitatea internațională este, prin urmare, dificilă. Indicatorul RPA (*Revelead Patent Advantage*) arată o specializare ridicată pentru România, Slovacia și Polonia. Cu toate acestea, numărul de depuneri este foarte scăzut.

## CAPITOLUL II

# EFECTUL DIRECȚIEI VÂNTULUI ȘI AL CLĂDIRILOR ADIACENTE ASUPRA UNUI PORT DE AGREMENT DIN MAREA NEAGRĂ

### 2.1. INTRODUCERE

Acțiunea vântului este un factor major în realizarea unui port de agrement comercial integrat într-o zonă urbană. Aceste locații reprezintă o interacțiune între activitățile turistice și comerciale, necesitând studii detaliate și de definiție a dinamicii curenților de aer din zona portuară. Simulările numerice au fost folosite în mod integrat în cercetarea mediului urban maritim. Cu toate acestea, studiile în literatură arată că porturile sunt evaluate prin dinamica curenților de aer doar pentru un număr restrâns de direcții ale vântului și/sau fără a lua în considerare efectele asupra clădirilor înconjurătoare. Acest capitol discută rezultatele simulărilor numerice obținute pentru diferitele direcții și viteze de vânt. Rezultatele obținute arată efectul urban asupra profilului vântului într-o zonă maritimă semi-închisă [56]. Astfel, importanța efectelor vântului asupra golfului portuar este evidențiată în vederea siguranței de acostare a ambarcațiunilor și, totodată, determină potențialul de energie regenerabilă pentru un port verde.

România beneficiază, prin Marea Neagră, de o poziție strategică importantă având o legătură istorică cu o rută comercială a Europei către Orientul Mijlociu. Securitatea energetică este prioritară pentru orice națiune, dar independența energetică este o obținere obligatorie pentru România, atât din punct de vedere economic cât și politic. În aceste condiții se impune o dezvoltare a tehnologiilor de conversie a surselor de energii regenerabile chiar și în zona porturilor românești.

Potențialul eolian teoretic al României este cel mai mare din Europa de Sud-Est, evaluat la 23 TW potențial energetic anual, iar regiunea Dobrogea are cel mai mare potențial eolian tehnic operațional al României [143, 200]. La sfârșitul anului 2015, România se afla pe

locul 11 pe piața europeană de energie eoliană cu o capacitate instalată totală de 3,2 GW. De asemenea, din analiza potențialului de energie eoliană din sud-estul României pe o perioadă de 40 de ani (1965÷2004) pe baza datelor meteorologice reiese că potențialul energetic eolian al Dobrogei este de 2,0 GW [110].

Portul Constanța este principalul port românesc de la Marea Neagră. Unul dintre proiectele de dezvoltare a infrastructurii promovate în cadrul programului operațional de infrastructură mare 2014÷2020 este și cel de modernizare a sistemului energetic în Portul Constanța. Modernizarea constă în îmbunătățirea calității energiei electrice și termice, iar valoarea investiției este estimată la 29,5 mil. Euro [142].

## 2.2. EVIDENȚIEREA PROBLEMEI ȘI ZONA COSTIERĂ URBANĂ

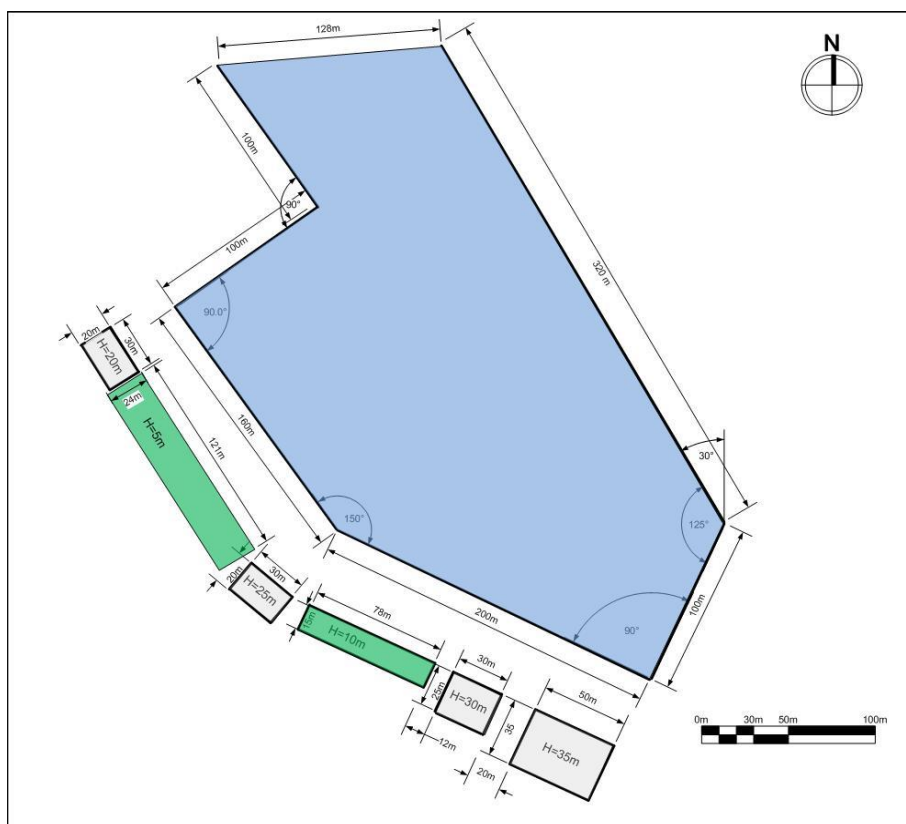
Portul Tomis este un port turistic din Constanța. Portul a fost construit în 1958 și s-a realizat prin închiderea golfului cu două baraje: cel de nord, în formă de Y, cu o lungime de 400 m, și faleza de est, cu o lungime de 500 m. Trei din cele patru laturi ale sale (est, sud și vest) sunt prevăzute cu piloni. Adâncimea este între 0,5 m în partea de sud a golfului și 3÷5 m în partea de nord-est a bazinului. Figura 2.1.a) prezintă o vedere aeriană a golfului Tomis din partea de nord și Figura 2.1.b) prezintă o vedere aeriană din partea de sud a golfului.



**Fig. 2.1.** Portul Tomis – Constanța

Figura 2.1c) prezintă vedere de est a golfului iar Figura 2.1d) o vedere de sus a golfului și designul în formă de Y al portului. Pornind din partea de est a golfului, lungimea debarcaderului este de 320 m. Partea de sud a golfului este împărțită în două secțiuni, prima ca parte de sud-est cu o lungime de 100 m și a doua ca parte de sud-vest cu o lungime de

200m. Ultima este partea vestică a golfului, de asemenea, împărțită în două secțiuni, prima la vest cu o lungime de 160 m și a doua superioară și la nord cu o lungime de 100 m așa cum se arată în Figura 2.2.



**Fig. 2.2.** Schema portuară în urma măsurătorilor în teren

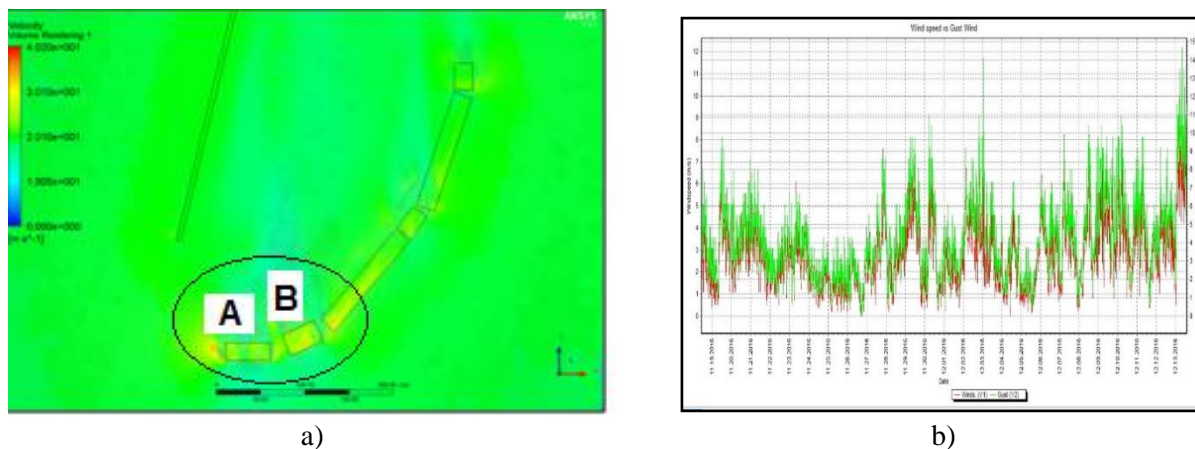
Pentru studiul de față s-a stabilit o porțiune de nord a golfului, împărțită în două secțiuni, una chiar pe marginea părții verzi a portului (Figura 2.2) și a doua ca o porțiune de închidere a golfului cu o lungime de 128m. Suprafața golfului pe care am stabilit-o pentru analiză este de 77260 m<sup>2</sup>. Tot în Figura 2.2 sunt prezentate cele mai importante clădiri din golful portului, colorate cu gri și o cotă de înălțime, colorată cu verde.

Golful portului de agrement și clădirile din împrejurimi sunt situate pe teren plat, cu o diferență de înălțime de maxim 5 m, iar clădirile construite la marginea golfului constau din hoteluri medii și înalte. Înălțimea variază de la 5 m până la 45 m. Simulările numerice au nevoie de înălțimea rugozității aerodinamice  $\gamma_0$  a împrejurimilor, care a fost determinată pe baza clasificării actualizate de rugozitate Davenport pentru o distanță în amonte de aproximativ 10 km [140].

### 2.3. STUDIUL UNUI ANSAMBLU DE CLĂDIRI

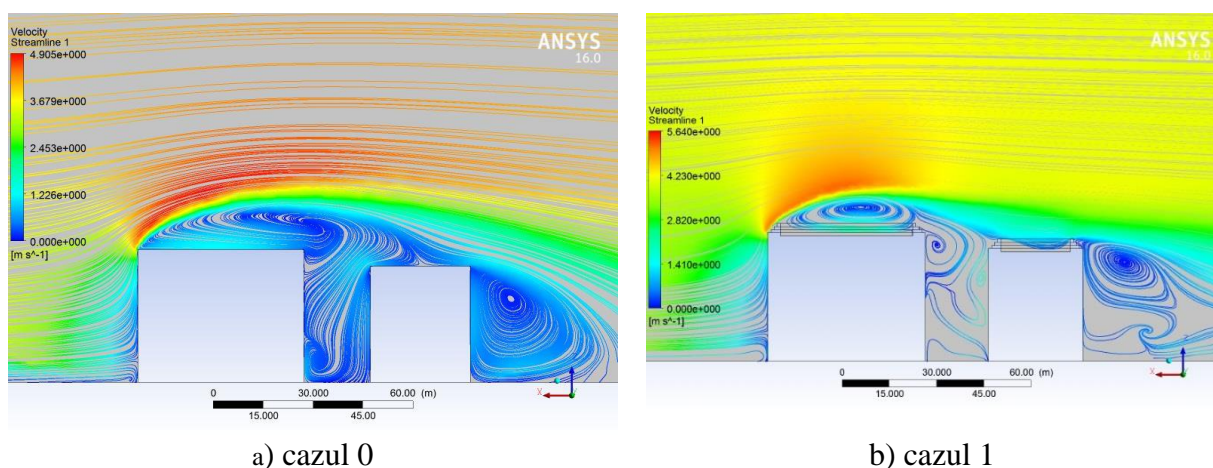
Domeniul portuar, din studiul de mai sus [56] prezintă un micro-potențial energetic local cu un profil de viteză relativ mare de-a lungul celor mai înalte clădiri din domeniu,  $H = 40\text{m}$  clădirea A și respectiv  $H = 35\text{m}$  clădirea B, (Figura 2.8.a). Din acest punct de vedere,

s-a izolat această regiune și în continuare s-a efectuat o analiză locală de-a lungul structurii celor două clădiri.



**Fig. 2.8.** Poziția de amplasare a stății hidro-meteo pentru realizarea măsurătorilor de vânt local

A fost folosită baza de date a stației meteorologice automate Constanța fiind componentă a Direcției Hidrografice Maritime Constanța din Rețeaua de Supraveghere Meteorologică Maritimă a Forțelor Navale privind viteza și direcțiile generale ale vântului din zona Constanței (Anexa A 2). Măsurătorile ne oferă valori din presiunea relativă a aerului, temperatură, viteza vântului și vântul în rafală. Măsurătorile la fața localui (Figura 2.8.b) au relevat că viteza minimă a vântului este de 2 m/s, iar viteza maximă a vântului este de 8 m/s. Viteza medie în apropierea mării și a portului a fost de 4 m/s, iar direcția stabilă fiind est ( $90^\circ$ ).



a) cazul 0

b) cazul 1

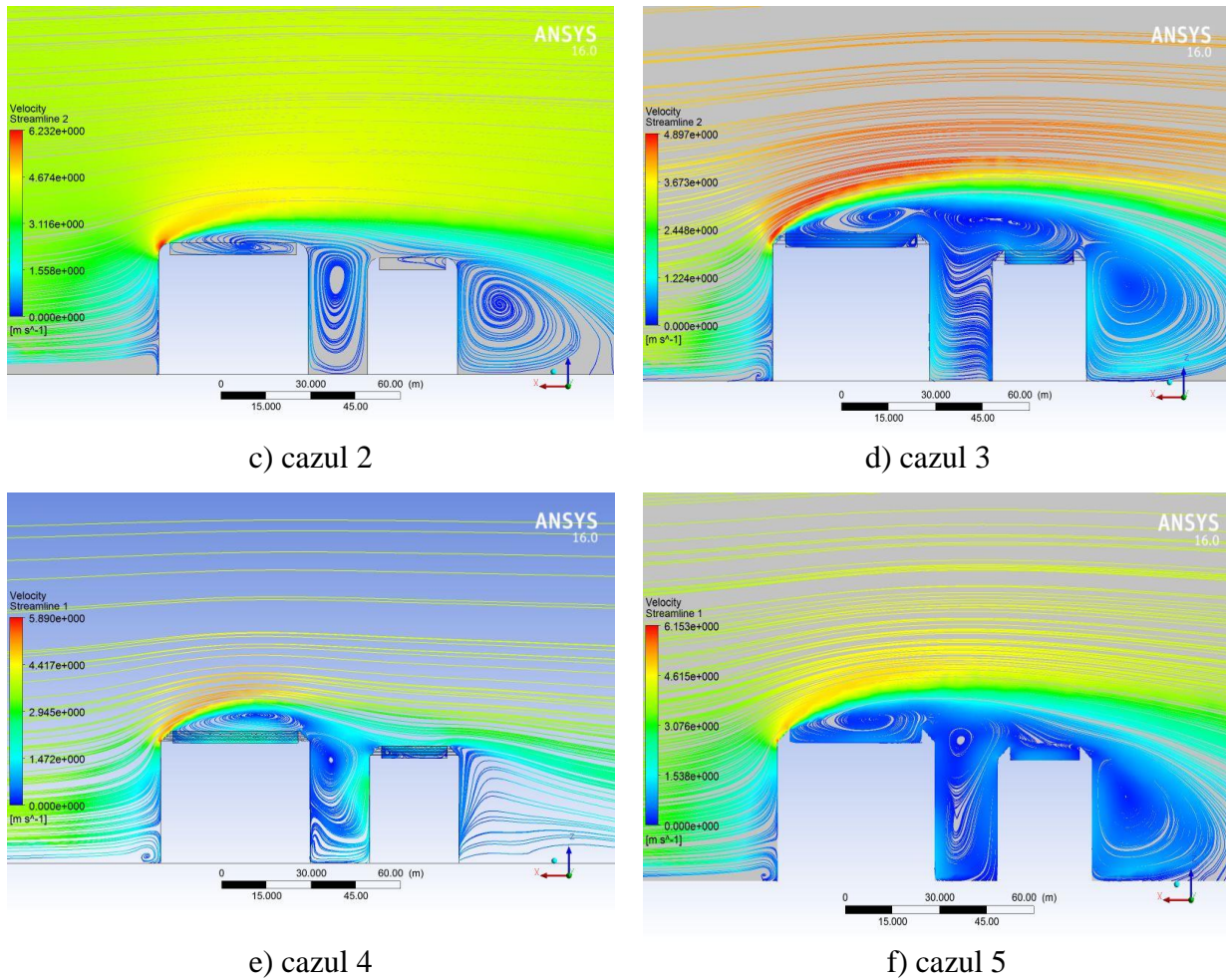


Fig. 2.11. Linii de curgere a vitezei vântului – secțiune orizontală.

### CAPITOLUL III

## MODELAREA NUMERICĂ PRIVIND AMPLASAREA UNEI TURBINE EOLIENE ÎNTR-UN MEDIU URBAN COSTIER

### 3.1. INTRODUCERE

Cercetările și investițiile în sectorul energetic sunt din ce în ce mai concentrate în energia regenerabilă, într-un cadru de lucru în care descentralizarea joacă un rol important [1, 35, 79, 80, 86, 144]. În acest scenariu, turbinele eoliene de puteri mici sunt una din cele mai promițătoare soluții [48]; în prezent, turbinele eoliene cu ax vertical de puteri mici

(SVAWT – Small Vertical Axis Wind Turbine) prin simplitatea lor și performanța bună în câmpuri de flux perturbate, comparativ cu turbinele eoliene cu ax orizontal de puteri mici (SHAWT – Small Horizontal Axis Wind Turbine), sunt o alternativă bună pentru clădirile de tip ”verde” (eco friendly) în mediul urban.

*Computational Fluid Dynamics*, abreviat frecvent CFD, a devenit un mijloc de investigare științifică foarte util pentru a furniza informații detaliate despre curgerea maselor de aer în geometrii complexe, așa cum este și domeniul de curgere descris de arhitectura urbană [117, 128]. În această privință, modele RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) oferă un compromis echilibrat între precizia soluției și timpul de calcul [111, 124, 125]. Profilele convenționale de vânt (ca date de intrare) propuse de *Richard și Hoxey* [107] suferă asupra neomogenității orizontale o dată cu aplicare stratului limită în condiții standard. Unul din motivele de descompunere a modelelor de turbulență (folosite în metodele de simulare numerică) constă în lipsa de consecvență între profilele de intrare dezvoltate în totalitate și metoda de formulare a stratului limită [74, 97, 103]. De astfel, arhitectura geometrică a clădirilor din mediul urban introduc zone turbionare și de recirculare care nu sunt reproduse de către modele standard cu două ecuații [34, 39, 69, 76, 97].

### 3.2. GHID DE MODELARE URBANĂ

O serie de recomandări generale pentru dimensionarea domeniului de discretizare pot fi enumerate prin [44, 45, 130]. Acest studiu a luat în considerare următoarele:

- a. Mediul urban înconjurător: clădiri înalte,  $H_n$ , de tip zgârie-nori dacă înălțimea acestora depășește distanța de  $6H_n$  față de zona locală de interes;
- b. Extensia verticală: o extensie maximă de  $5H_{max}$  deasupra celei mai înalte clădiri din grupul de interes pentru a evita accelerarea artificială a curgerii fluidului;
- c. Extensia în direcția curgerii: condiția de ieșire amplasată la o distanță de  $15H_{max}$  față de ultima clădire din grupul de interes.

Scopul acestei lucrări ia în considerare o direcție generală dominată de vânt deoarece influențele diferitelor direcții de vânt au fost evaluate și valorificate în capitolul anterior. Astfel această direcție dominantă pune în evidență potențialul energetic maxim atins în locația determinată cât și eficiența maximă a turbinei eoliene în condiții de maximă putere.

În Figura 3.1 zona de coastă aferent portului Tomis este marcată prin vizualizarea aeriană, zona de interes local este marcată cu un chenar roșu și clădirile ținte sunt marcate cu un chenar verde. Aceste zone generale de coastă și locale al clădirilor de interes au fost imprimate într-o schiță de teren ce a urmat procesul standard de simulare numerică conform software-ului utilizat.

Pasul următor a constat în evaluarea resurselor eoliene prin utilizarea unei stații meteorologice de înregistrare a vitezei vantului, Figura 3.2, și Anexa 3. Rezultatele înregistrărilor locale au putut fi validate cu date din stația meteorologică automată a Direcției Hidrografice Maritime Constanța din secția locală a Administrației Naționale de Meteorologie, Anexa 2. Direcția generală de analiză detaliată în scopul determinării potențialului energetic a constatat după cum urmează: direcția dominantă a vântului este de



135° (Sud Est) cu o viteză de intrare medie de 5m/s la o înălțime de 44 m față de nivelul mării reprezentând cea mai frecventă direcție în perioada măsurată cu o variație de rafală medie de 6m/s.

Rezultatele analizei sunt astfel:

$$GCI_{12, TKE} = 1,64\%$$

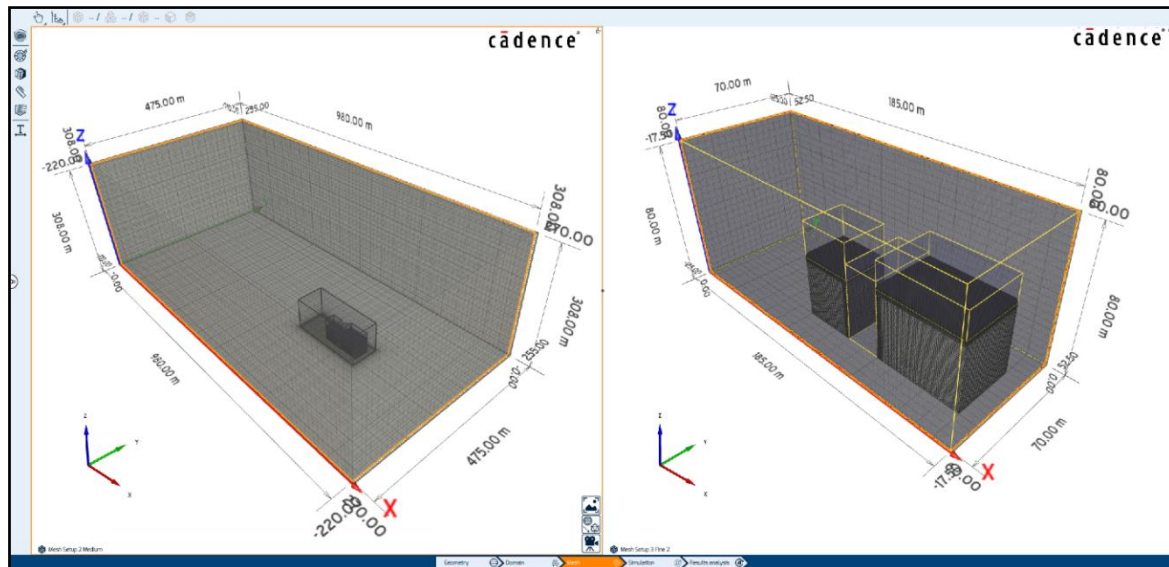
$$GCI_{23, TKE} = 0,46\%$$

$$GCI_{12, U} = 3,14\%$$

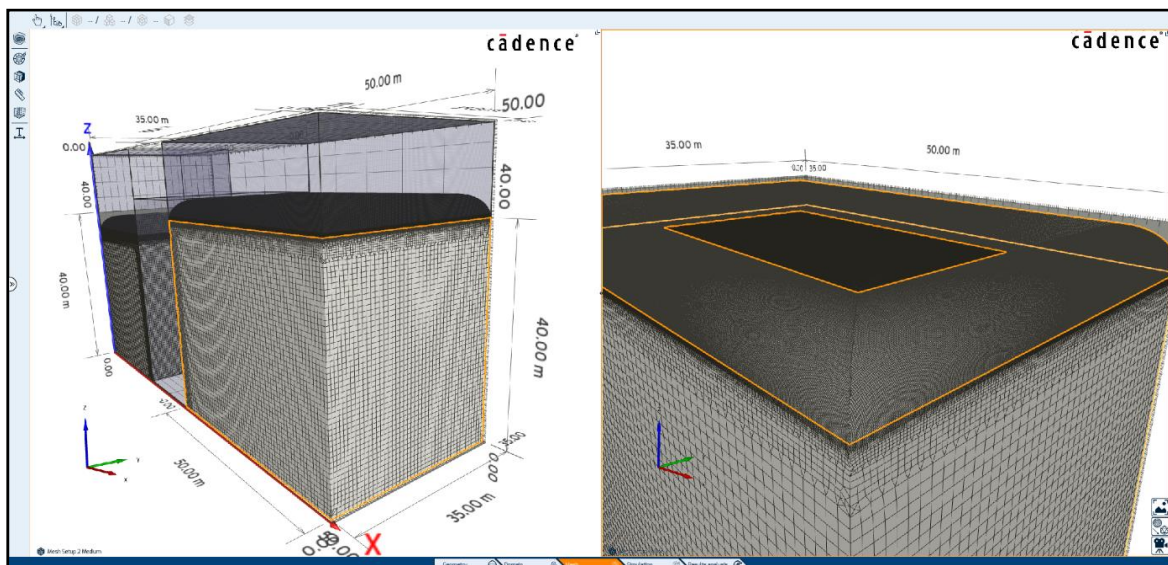
$$GCI_{23, U} = 1,19\%$$

Datorită efortului de calcul ridicat pentru rețeaua cu desime superioară, discretizarea cu desime medie a fost aleasă pentru studiul amplasării turbinei eoliene considerând diferențele apărute față de rețeaua superioară.

De asemenea, distanța adimensională la perete  $y^+$  este cuprinsă între  $35 \div 400$  în jurul clădirilor pentru rețeaua medie și între  $30 \div 250$  pentru rețeaua superioară, asigurând o desime fină pentru modelul de turbulență ales.

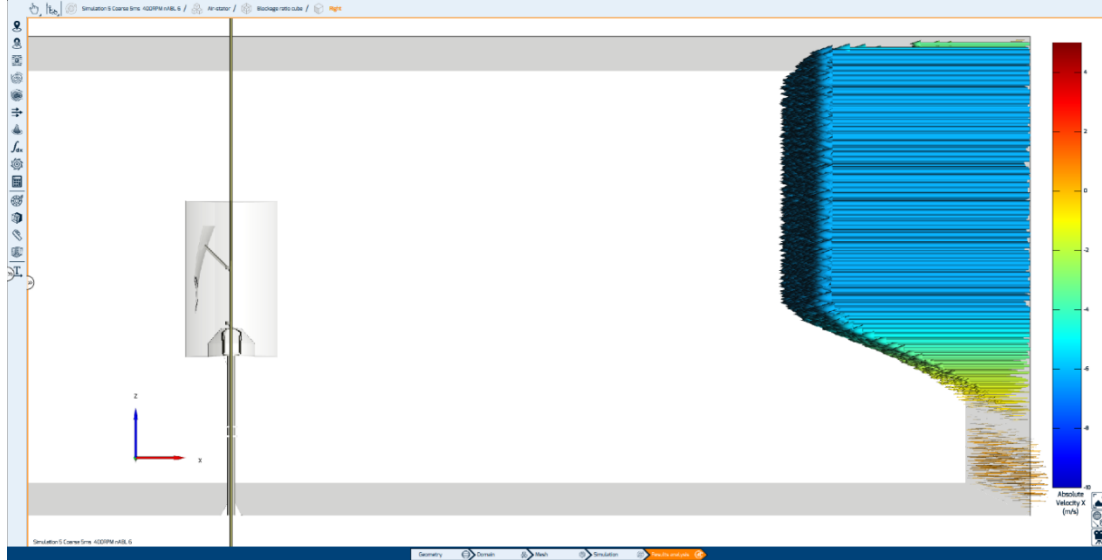


**Fig. 3.5** Domeniul de discretizare al clădirilor de interes local – domeniul general de simulare



**Fig. 3.6** Domeniul de discretizare în zona de amplasare a turbineie eoliene – domeniu particular de simulare

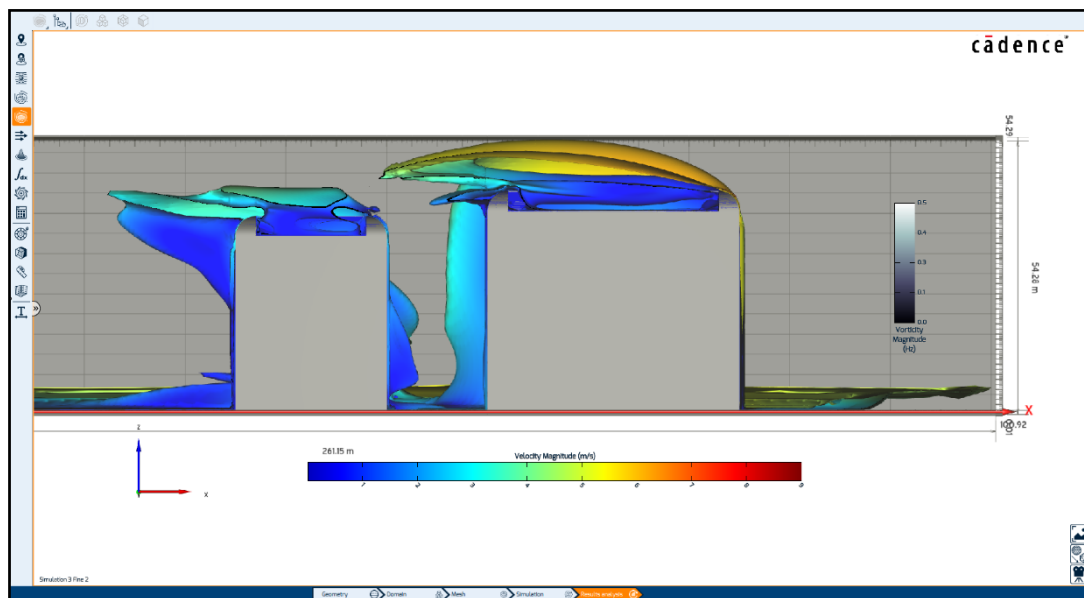
În Figura 3.11 se arată configurația câmpului de viteze la intrarea în simularea numerică a comportării turbinei eoliene.



**Fig. 3.11.** Condițiile de intrare pentru simulare numerică a turbinei eoliene cu rezultatele obținute din simularea numerică a ABLn

Din analiza făcută rezultă că potențialul energetic dispus în zona de studiu poate fi dublat prin instalarea a două turbine eoliene a căror funcționare va fi influențată de pereții profilați ai terasei clădirii pe care sunt instalate turbinele, vezi Capitolul II.

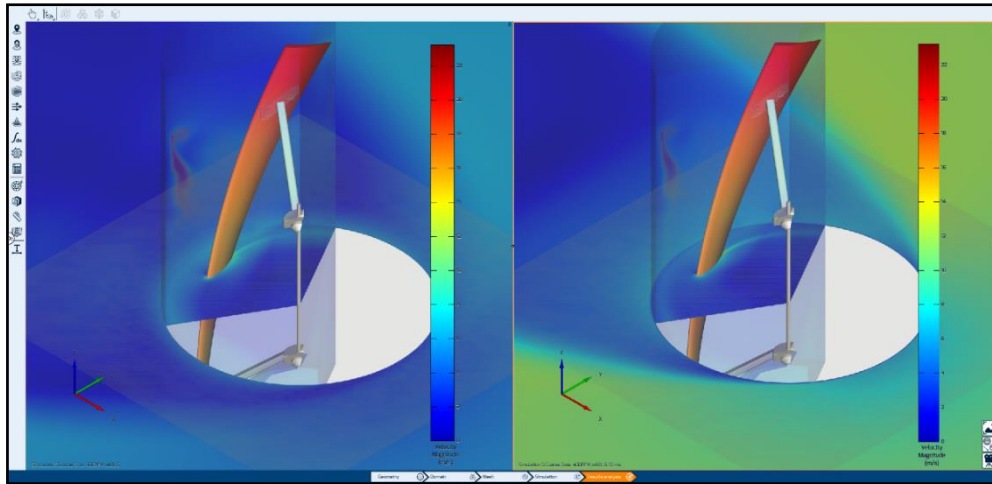
O expunere tridimensională a masei de aer în domeniul de curgere este prezentată în Figura 3.12.



**Fig. 3.12** Conturul vitezei relative asupra izo-suprafeței vorticității cu o frecvență maximă de 0,5 Hz

Rezultatele simulărilor numerice sunt reprezentate ca profile de viteză atât în domeniul staționar cât și în domeniul rotativ. Acestea sunt evidențiate ca linii de curent, suprafețe de volum izolate și contururi ale întregului domeniului.

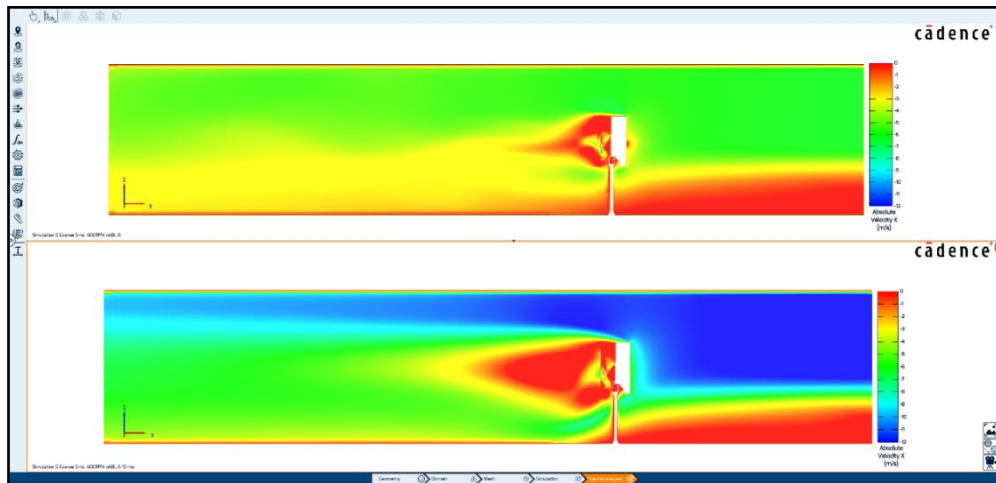
În final, se analizează puterea turbinei eoliene pentru a determina dacă puterea descrisă de furnizor coincide cu rezultatele simulărilor numerice. Puterea turbinei eoliene se compară cu sursele avute la dispoziție: documentația turbinei eoliene comerciale (*Anexa 7*); formulele empirice generalizate cu privire la puterea generată de vânt și rezultatele simularilor numerice.



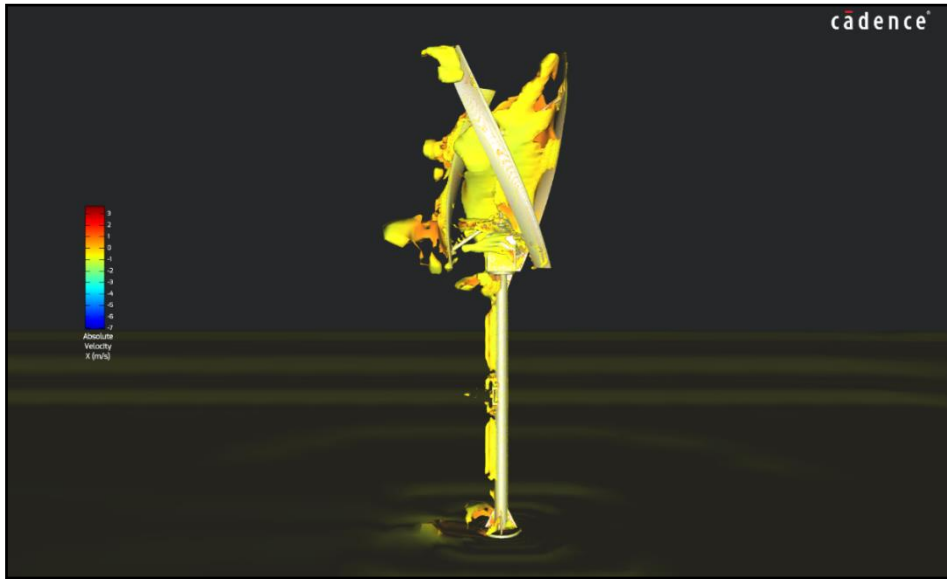
a) viteza vântului 5 m/s

b) viteza vântului 10 m/s

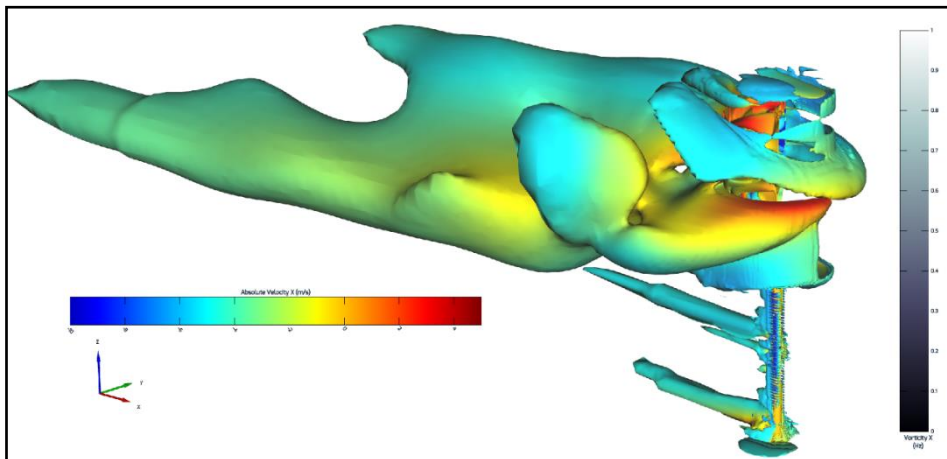
**Fig. 3.15** Conturul vitezei unghiulare, vitezei vântului în plan trasnversal și dîra vârtejului generat în urma palei



**Fig. 3.16** Conturul vitezei  $V_x$  în axa longitudinală – partea superioară viteza vântului 5 m/s și partea inferioară viteza vântului 10 m/s



**Fig. 3.18** Dîra vârtejurilor generată de viteza vântului, 5 m/s, în raport cu viteza unghiulară nulă a turbinei eoliene



**Fig. 3.19** Dîra vârtejurilor generată de profilului vitezei locale generate de viteza vântului 5 m/s, în raport cu viteza unghiulară a turbinei eoliene

Figurile 3.18 și 3.19 evidențiază două cazuri distincte diferite cu privire la suprafața portantă a turbinei eoliene. Prima figură, arată ruperea de vârtejuri când turbina eoliană este neoperațională, nerotativă, iar cea de a 2 a figură, arată dîra vârtejurilor când turbina eoliană este operațională la capacitate maximă. Această comparație sugerează spațiul necesar disponibil între turbine, în cazurile implementării de parcuri eoliene urbane.

## CAPITOLUL IV

# VALORIFICAREA MICROPOTENȚIALULUI ENERGETIC PRIN MODELAREA IMPACTULUI VALULUI PE O SUPRAFAȚĂ PLANĂ

### 4.1. INTRODUCERE

Marea și-a exercitat întotdeauna fascinația inevitabilă asupra omului. Valurile care se rup pe stânci sau pe o plajă permit să se înțeleagă puterea disponibilă în această mișcare continuă a lor. Această putere continuă, distribuită la nivel mondial și relativ ușor de accesat, face din energia valurilor un fenomen interesant, astfel încât să se numere printre cele mai promițătoare energii regenerabile [165]. Tocmai din comparația cu alte forme de energie, exploatarea potențialului acestei forme de energie poate genera o provocare motivațională [6, 18, 141]. Diferitele densități de putere ale unora dintre cele mai cunoscute energii regenerabile pot fi explicate prin procesul de formare a valurilor: undele sunt generate în principal de interacțiunea dintre vânt și suprafața mării. Acțiunea mecanică constantă a vântului, care acționează ca un efort tangențial, duce la formarea undelor [201]. Vântul în sine este un derivat al energiei solare.

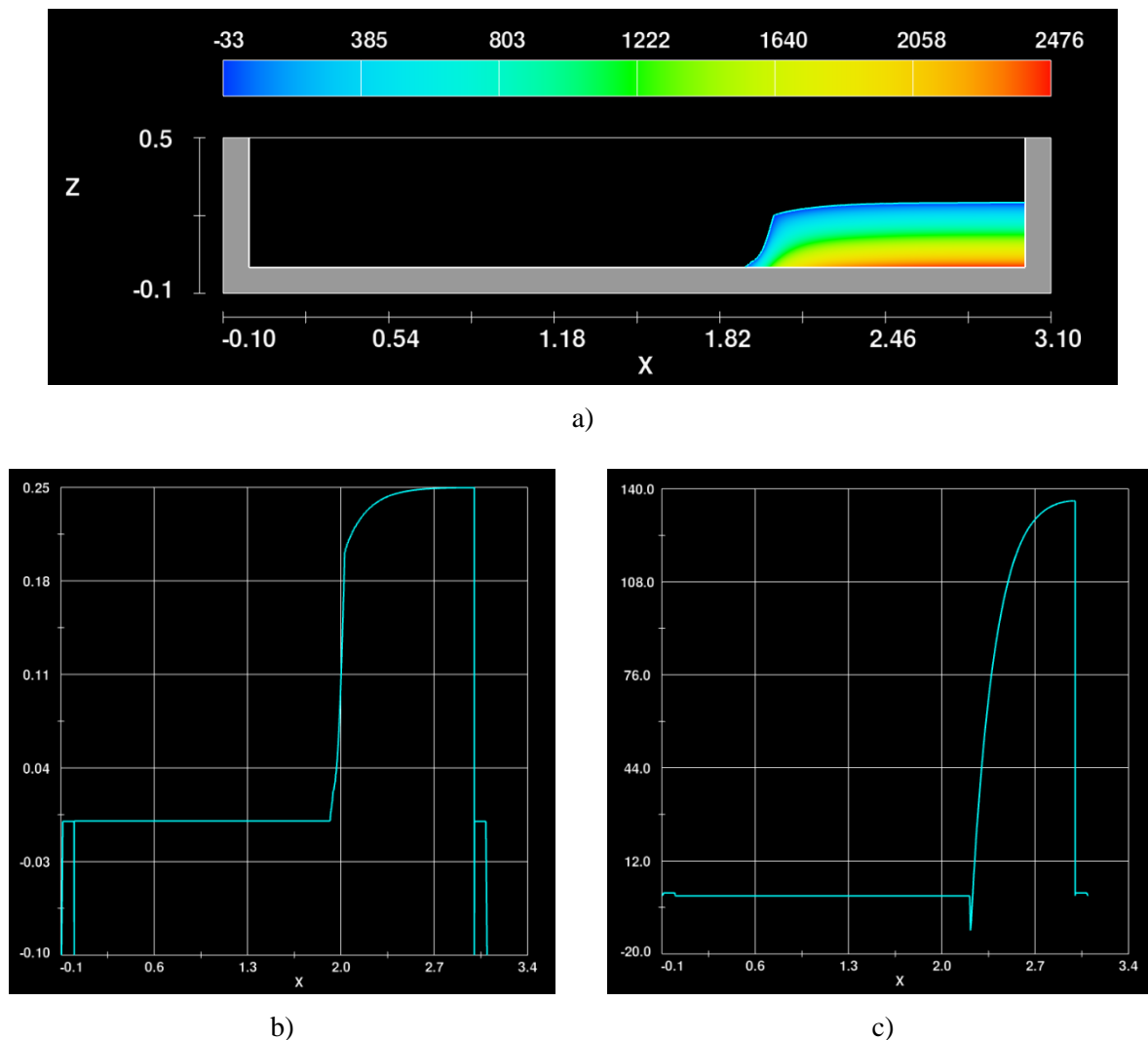
Evoluția acestor fenomene fizice dezvoltă o creștere a potențialului energetic astfel încât densitatea energiei poate fi exprimată ca o putere de resursă disponibilă liniară [25, 31]. În funcție de distribuția geografică, putem distinge următoarele două tipuri de resurse regenerabile de energie:

- a) Pe de o parte, dispozitive *on-shore*, cum ar fi potențialul energetic eolian, solar și alte sisteme de tip hibrid care oferă posibilitatea de a avea sursa de generare energetică aproape de locul utilizării.
- b) Pe de altă parte, energia valurilor care reduce utilizarea terenului (on-shore) și elimină impactul vizual uman.

Un alt factor de comparație se referă la predictibilitate: resursa de energie a valurilor se caracterizează printr-un grad ridicat de fiabilitate predictivă în comparație cu resursele solare și eoliene [26, 28]. În acest scop, au fost dezvoltate mai multe aspecte teoretice referitoare la estimarea statistică a energiei valurilor pentru a reprezenta sursa în ceea ce privește puterea medie a valurilor și valoarea de returnare a evenimentelor tipice și extreme în diferite zone de coastă [7, 33, 65]. Acest lucru facilitează integrarea energiei regenerabile în rețeaua de energie continentală sau insulară și constă într-un nod de generare fiabil în rețelele inteligente [37].

Un aspect important îl are și disponibilitatea resursei: energia valurilor poate fi integrată armonios cu sistemele solare și eoliene. Într-adevăr, o mare foarte agitată, de obicei,

nu coincide, cu o zi de soare intens și vine frecvent ca urmare a unei faze de vânt intensiv. Acest lucru permite crearea unui amestec de energie integrat, distribuit în timp [190, 197].



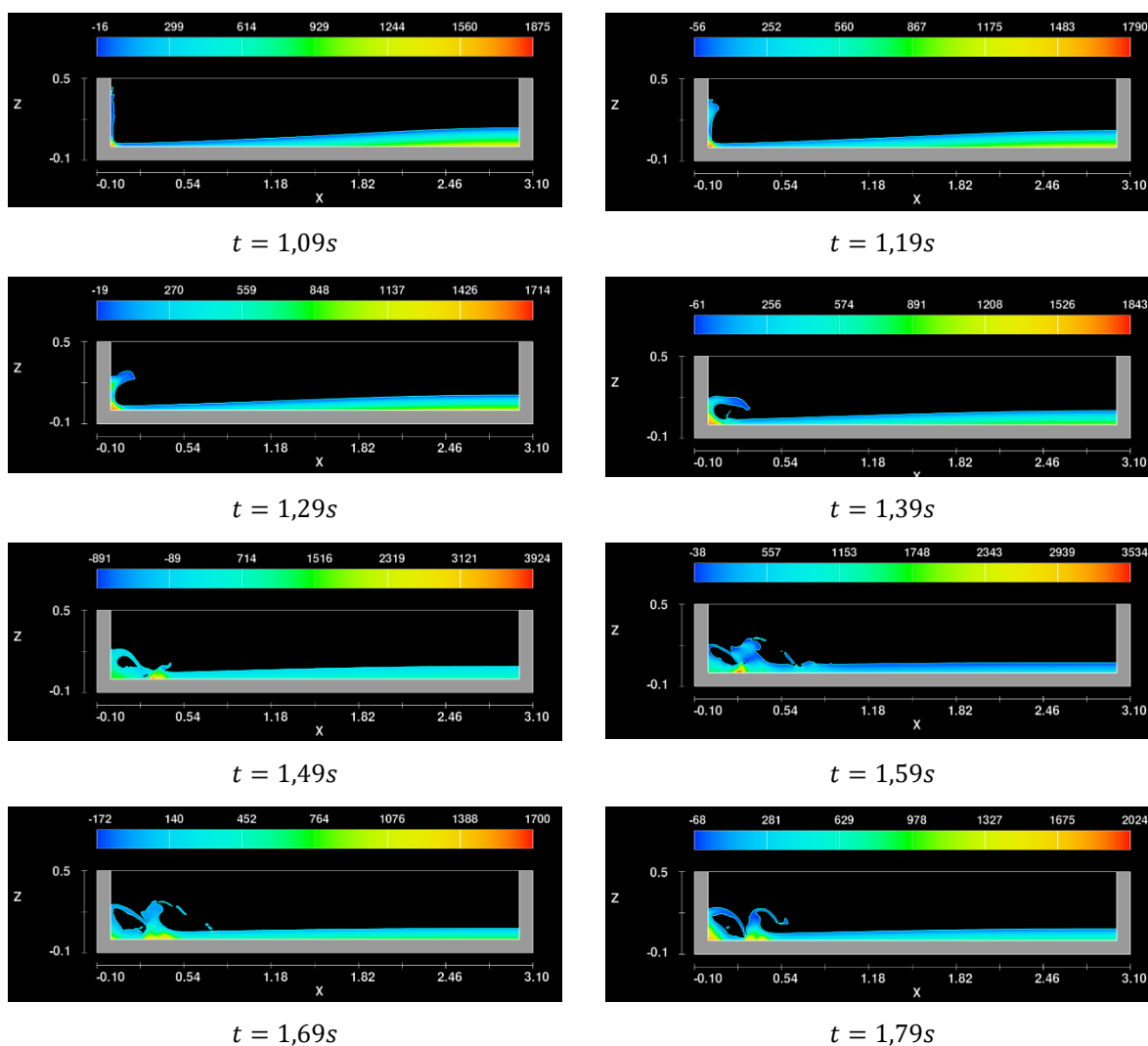
**Fig. 4.10.** Reprezentarea dinamică a ruperii unei unde negative prin  $t = 0,1$  s: a) conturul presiunii, b) graficul suprafeței libere c) grafic presiune

Cazul de tip ”rupere de baraj” se poate evidenția în Figura 4.10. Acest fenomen fizic, întâlnit în hidroenergetică, descrie un șoc a unei unde negative inverse ca expunere a unei parabole cu axa verticală a profilului suprafeței libere date. Acest șoc poate fi vizualizat în reprezentarea grafică a presiunii și a suprafeței libere. Graficul suprafeței libere prezintă o golire de tip rapidă ce evoluează în timp.

Următoarele reprezentări vor descrie evoluția în timp a acestui fenomen de golire cu înlăturarea rapidă a fluidului prin alegerea celor mai semnificative puncte din curgerea nepermanentă.

Tranziția curgerii până la capătul opus al domeniului durează 0.8s. Contactul cu peretele descrie o formă de apăsare (ca o de amortizare) realizându-se și un transfer de energie între cele două domenii. Impactul poate fi caracterizat ca un impact devastator deoarece comparând presiunea hidrostatică din punctul condiției inițiale față de punctul de deflerare a valului se observă o creștere a presiunii cu o magnitudine de ordinul doi. Panta de curgere a fluidului și deflerarea acestuia în peretele opus se observă în graficul suprafeței libere. Punctul maxim de înălțime la impact ajunge la 0,49 m iar presiunea distribuită în punct reprezintă 389 Pa.

O configurație tehnică de realizare a acestei captări o reprezintă materialele piezoelectrice [71, 134, 138, 146]. Conform [159, 163], puterea maximă realizată de cel mai performant material piezoelectric este de 120 mW. Suprafața de contact disponibilă în configurația simulării numerice este de până la 3 materiale piezoelectrice. Însă spațiul optim de captare a micropotențialului se va rezuma doar la contactul a 2 materiale piezoelectrice [168]. Astfel, puterea maximă totală generată va fi de 840 mW.



**Fig. 4.14.** Evoluția deflerării de val în intervalul de timp dintre punctul maxim de presiune și rostogolirea valului înapoi în domeniu,  $t = 1,09 \div 1,79$  s

## CAPITOLUL V

# VALIDAREA SIMULĂRILOR NUMERICE

### 5.1. GENERALITĂȚI

Analiza simulărilor numerice implică evaluarea și validarea rezultatelor prin metode bine consacrate de tip experimental. Parametrii condițiilor inițiale au un rol foarte important în descrierea și evaluarea fenomenului fizic supus experimentului. Astfel, rugozitatea suprafețelor implicate în experiment trebuie bine definită pentru a avea condiții inițiale de limită similare între standul de testări și parametrii algoritmului numeric utilizat.

Procesul de definire a dimensiunilor standului a necesitat un studiu de reducere a erorilor numerice făcut prin simulări numerice simple pentru a detecta apariția erorilor numerice datorate dimensiunilor standului de testare. Acest procedeu numeric reduce erorile dimensionării standului prin metoda de rotunjire prin folosirea calculelor iterative de precizie până la 16 zecimi semnificative.

În cazul de față, se propune dimensionarea unui bazin de generare a valurilor în două configurații, una implicând simplitatea ruperii de unde negative într-un domeniu finit ca apoi domeniul să aibă posibilitatea instalării unei clapete de generare a valurilor printr-o structură camelară gestionată de un motor electric. Dacă dimensiunile bazinului sunt prea mici efectul de rostogolire a valului dintr-o poziție statică generează șocuri permanente în domeniu ce vor duce la compunerea unor noi valuri. Dacă dimensionarea bazinului este prea mare apare efectul invers în relația numeric — experiment impunând un domeniu de discretizare foarte mare ce va duce la un efort de calcul mult prea mare și ineficient.

### 5.2. VALIDAREA EXPERIMENTELOR PRIN METODA VIZUALIZĂRII DIRECTE

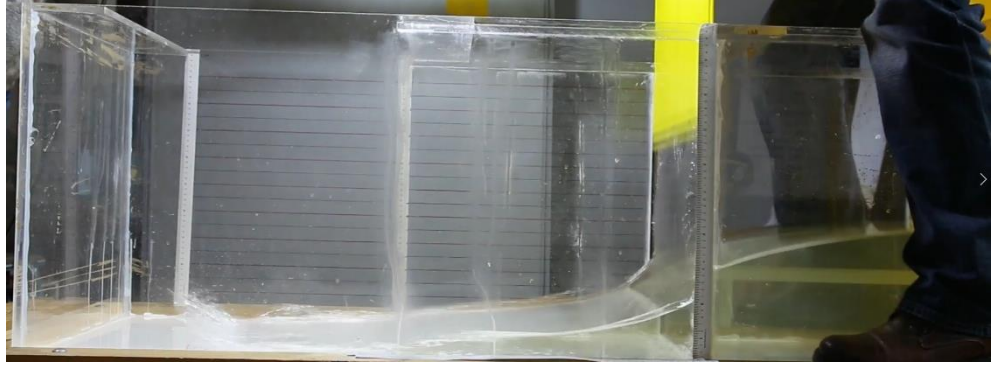
Metoda vizualizărilor directe impune comparația la diferite momente de timp a traiectoriilor curgerii fluidului. S-au folosit elemente digitale pentru eliminarea erorilor de sincronizare între rezultatul numeric și experiment iar efectul modern de încetinire a înregistrărilor a fost luat în considerare.

Secvențele de vizualizare detaliată, conforme cu modul de manipulare a panoului vertical dintre cele două bazine, sunt selectate astfel:

1. Secvența de rupere a undei de golire rapidă.
2. Secvența dată de impactul maxim al valului cu peretele opus peretelui plan despărțitor în direcția de deplasare inițială pozitivă a undei.
3. Secvența dată de impactul valului cu peretele opus peretelui plan despărțitor în direcția de retragere a valului (undă negativă).



$$h_{12} = 0,25 \text{ m}$$



$$h_{21} = 0,30 \text{ m}$$



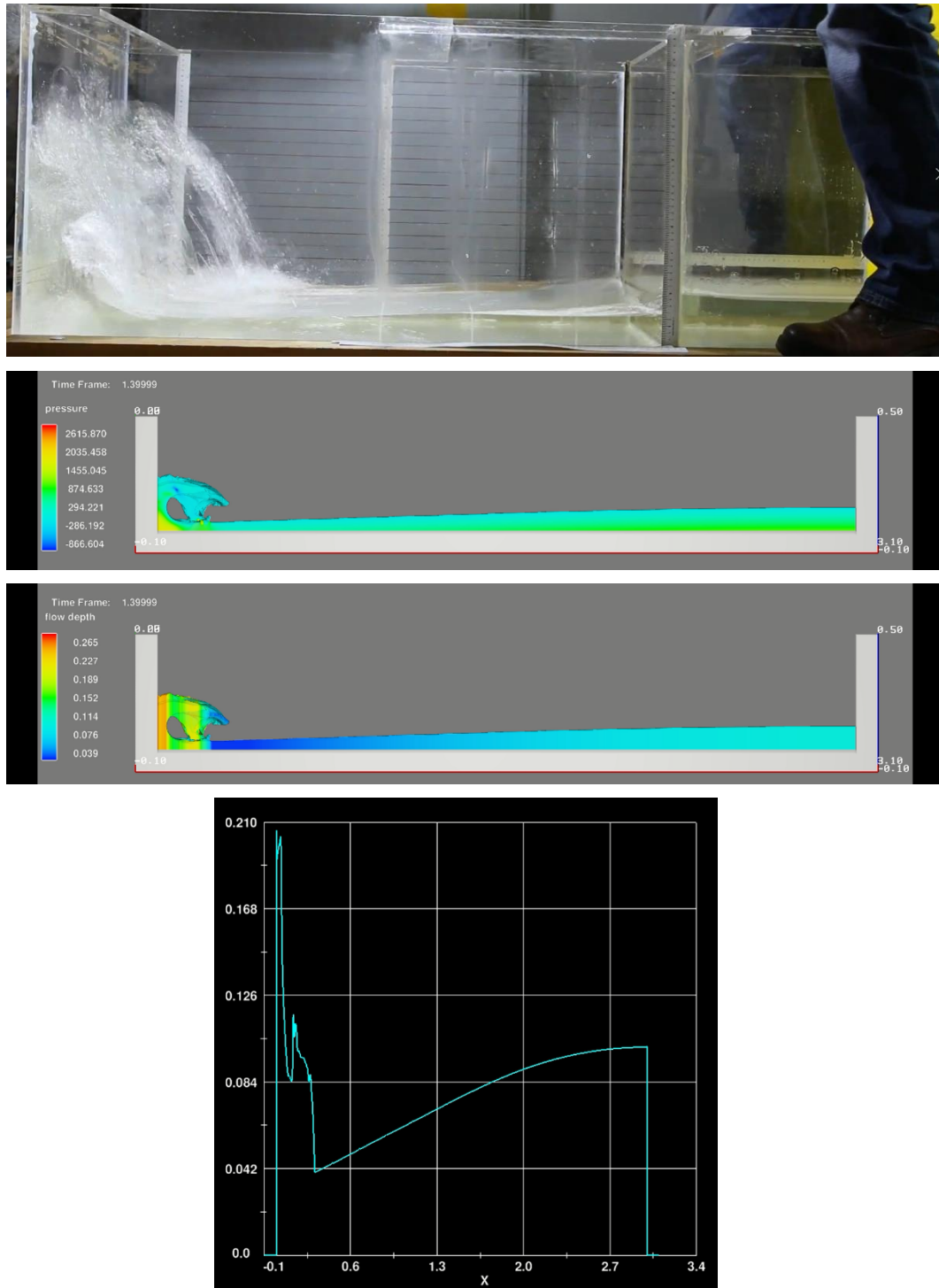
$$h_{21} = 0,35 \text{ m}$$



$$h_{21} = 0,40 \text{ m}$$



**Figura 5.3** Cazurile experimentale de rupere a undei de golire dinspre secțiunea mică înspre secțiunea mare și viceversa pe înălțimile statice precizate

$t_{12} = 1,4 \text{ s}$ 

**Figura 5.7** Cazul experimental de rupere a undei de golire dinspre secțiunea mică înspre secțiunea mare și pentru înălțimea statică  $h_{12} = 0,25 \text{ m}$  și  $t_{12} = 1.4 \text{ s}$

## CAPITOLUL VI

### CONCLUZII FINALE

#### 6.1. CONCLUZII GENERALE

Scopul fundamental al cercetărilor din prezenta teză de doctorat a fost investigarea, analiza și modelarea micropotențialului energetic din surse regenerabile în dezvoltarea durabilă urbană, în condițiile unor modificări ale direcției de curgere și formare de vârtejuri.

Proiectul de cercetare doctorală a realizat următoarele studii aplicative și numerice:

- Potențialul de putere real al golfului portului Tomis, Constanța, pentru energii de durabilitate în vederea realizării conceptuale a unui E-port independent energetic.
- Conceptia, proiectarea și construcția unor profile arhitecturale pentru studiul performanțelor curgerilor cu profil structurat pentru îmbunătățirea fluxului de curgere.
- Identificarea liniilor de recirculare și reatașare din câmpul de curgere în vederea creșterii eficienței în raport cu producția de energie.
- Realizarea unor simulări numerice folosind geometrii de lucru tridimensional pentru cazurile de curgere cu dâră de vârtej.
- Extinderea rezultatelor numerice obținute pentru profile arhitecturale prin aranjamentul pereților cu muchii drepte, curbate și combinate.
- Realizarea profilului vântului în stratul limită atmosferic prin simulări numerice în baza măsurătorilor hidrometeorologice locale urbane.
- Delimitarea zonelor de interes cu potențial ridicat de captare a energiilor în vederea amplasării structurilor eoliene specifice.
- Analiza numerică a performanței turbinei eoliene în raport cu curgerile cu dâră de vârtej rezultate din segmentarea zonei delimitate de stratul limită atmosferic local.
- Extragerea datelor cantitative relevante în vederea determinării parametrilor de optimizare a controlului turbinelor eoliene în regim de reducere a rezistenței induse.
- Realizarea unei proceduri pentru evaluarea influenței structurii urbane asupra determinării micropotențialului energetic local în conceptul E-port.
- Angrenarea instabilității fizice a curgerii nepermanentă cu suprafață liberă de tip "rupere de baraj" într-o simulare numerică fiabilă bidimensională.
- Evaluarea șocului de rupere, propagarea undei de golire și impactul cu o suprafață de contact în regim de curgere nepermanentă.
- Măsurători experimentale și simulări numerice în regim de curgere nepermanentă vizând modificarea parametrilor de rupere a undei negative de golire pe diferite paliere de înălțimi.
- Măsurători experimentale, prin vizualizări directe, ale evoluției unei unde negative de golire într-un timp limitat.

- Evaluarea micropotențialului energetic în punctele de contact repetitive cu proiectarea constructivă locală a unor materiale piezoelectrice finite.
- crearea unei proceduri pentru evaluarea influenței acvatoriului portuar urban asupra transferului de micropotențial de energie captabil generat de forma valurilor printr-un grad ridicat de fiabilitate predictivă.

## 6.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE

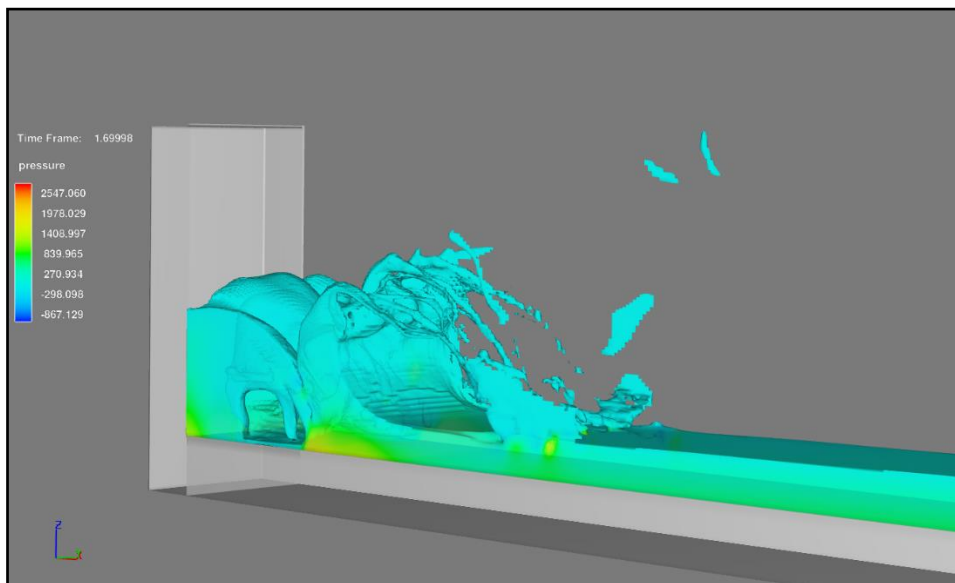
Lucrarea de față aduce un aport de contribuții originale la studiul experimental și numeric al curgerilor cu dâră de vârtej urbane locale:

- Proiectare unor construcții arhitecturale cu impact estetic atrăgător și pierderea spectrului de integrare vizuală a structurilor de susținere a turbinelor față de aleile pietonale.
- Disponibilitatea unui ansamblu de turbine eoliene în mediul urban cu posibilitatea creșterii producției de energie în punctele de performanță scăzută a turbinelor eoliene clasice.
- Propunerea unui sistem de captare a energiei eoliene sub control pasiv printr-un mecanism ce poate să-și schimbe pasul de rotație pentru acoperirea unui spectru larg de viteze ale vântului în scopul realizării unui potențial energetic ridicat.
- Propunerea unui profil de pală aerodinamică cu deformare de tip "winglet" pentru reducerea dărelor de vârtej în ansamblul macroscopic al configurației acoperișului clădirilor în scopul optimizării interferențelor create de ansamblarea turbinelor cu ax vertical și ax orizontal.
- Analiza incertitudinilor simulărilor numerice prin evidențierea discrepanțelor numerice în diferiți algoritmi de calcul efectuat.
- Validarea calitativă a simulărilor numerice.
- Propunerea de amplasare a materialelor piezoelectrice pe carenajul navei în vederea realizării de micropotențial energetic în scopul independenței cuplării la grila locală de distribuție a curentului.
- Prin integrarea materialelor piezoelectrice se oferă oportunitatea îmbunătățirii procedurilor de supraviețuire pe mare în condiții extreme de cedare a instalațiilor de susținere operativă a ambarcațiunilor și protejarea vieții umane pe mare.
- Integrarea materialelor piezoelectrice în acvatoriul portuar prin amplasarea pe construcția danei de acostare a ambarcațiunilor un sector dedicat captării de energie prin transportul energiei valurilor.

## 6.3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ

Cercetările fundamentale în domeniul curgerilor cu dâră de vârtej reprezintă pilonul de bază pentru dezvoltarea de aplicații și proceduri ingineresti iar rezultatele principale evidențiate în această teză arată extinderi realizabile cu perspective de dezvoltare ulterioară.

- Considerarea cazului urban în determinarea profilului vântului în stratul limită atmosferic poate duce la rezultate de o calitate superioară pentru aspectul simulărilor numerice pe domenii 3D prin aplicarea proximității portuare pe un domeniu în teren mai larg.
- Extinderea domeniului numeric de discretizare și pasul de timp scurt impus (server avînd procesor cu 320 nuclee și 1024 GB memorie RAM) a condus la un efort de calcul superior. Astfel, au fost utilizate în paralel proceduri de calcul superior. O discretizare de domeniu mai fin în scopul realizării curgerii nestaționare, va suprasolicita puterea de calcul și spațiul de stocare astfel încît eficientizarea calculelor de tip paralel și metodele de stocare va deveni o necesitate primordială în implemetarea practicilor ingineresti în domeniul industrial.
- Domeniul și metodele de discretizare solicită utilizator la o atenție deosebită în zonele de interes cu precizie ridicată iar astfel timpul alocat acestei etape în simulare numerică supune inginerul la un efort de timp ridicat. Automatizarea anumitor etape din metodele de discretizare devin o direcție principală de dezvoltare în amortizarea timpului alocat platformei industriale.
- Implemetarea conceptului *stratului limită neutral* în procedurile de determinare a micropotențialului energetic cât și în arhitectura algoritmilor de calcul al platformerlor de simulări numerice comerciale.
- Extinderea cercetării aferente clădirii în studiul de față se poate dezvolta și asupra micropotențialului energetic extins, în cazul unui ansamblu de obstacole.
- De asemenea, se impune realizarea curbei de performanță a turbinei eoliene de tip Gorlov și în cazul poziționării axului turbinei în plan orizontal și compararea cu datele de catalog pentru poziția verticală (recomandată ca poziție de funcționare, în mod uzual).
- Lucrarea de față folosește modele clasice de turbulență în simulările de tip RANS, care adesea prezintă provocări în obținerea de rezultate precise, pentru cazuri specifice. Implementarea simulărilor numerice de tip DES sau LES pot corecta anumite deficiențe ale acestor modele clasice. Se recomandă dezvoltarea studiului pentru domenii complexe de curgere, caz în care performanțele simulărilor de tip RANS se pot modifica.
- Natura simulărilor bidimensionale a curgerilor de tip ”rupere de baraj” provoacă extinderea în domeniul tridimensional pentru studiul unor cazuri de curgeri a undelor negative de curgere. Dezvoltarea tridimensional a șocului, frontului curgerii și impactului la perete vor descrie spectre diferite față de curgerea plană astfel inspirînd la informații suplimentare cu privire la frontul de contact pe suprafața materialelor piezoelectrice (Fig. 6.1). Se recomandă continuarea acestui studiu pentru domenii de curgere 3D.



➤ **Fig. 6.1.** Spectrul deferlării de val în domeniul de lucru tridimensional

- În cazul simulărilor numerice a undei negative de golire s-au identificat anumite anomalii ale numericului ce nu au putut fi categorisite ca statut fizic sau numeric. Dezvoltarea acestui studiu rămâne ca o direcție principală de cercetare pentru viitor.

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] Al Zohbi G., Hendrick P., and Bouillard Ph., 2015, *Evaluation of the impact of wind farms on birds: The case study of Lebanon*. *Renewable Energy*, **80**:682–689.
- [2] Alvarez-Silva O. A., Osorio A. F., and Winter C., 2016, *Practical global salinity gradient energy potential*. *Renew. Sustain. Energy Rev.***60**, 1387–1395. doi: 10.1016/j.rser.2016.03.021.
- [3] Andersen Thomas L., Frigaard P., 2007, *Lecture notes for the course in water wave mechanics*, Aalborg University.
- [4] Antar E. and Elkhoury M., 2019, *Parametric sizing optimization process of a casing for a Savonius vertical axis wind turbine*. *Renewable Energy*, **136**:127–138.
- [5] Anup K. C., Whale J., and Urmee T., 2019, *Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review*. *Renewable Energy*, **113**:268–283.
- [6] Arena F., Laface V., Malara G., Romolo A., Viviano A., Fiamma V., et al., 2015, *Wave climate analysis for the design of wave energy harvesters in the Mediterranean Sea*. *Renew. Energy* **77**, 125–141. doi: 10.1016/j.renene.2014.12.002.
- [7] Arena F., Romolo A., Malara G., Fiamma V., and Laface V., 2017, *The first worldwide application at full-scale of the U-OWC device in the port of Civitavecchia: initial energetic performances*, Proc. of the ASME 36th Int. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2017-62036 (Trondheim). doi: 10.1115/OMAE2017-62036.

- [8] Ayotte K.W., Xu D., and Taylor P. A., 1994, *The impact of turbulence closure schemes on predictions of the mixed spectral finite difference model for flow over topography*, *Boundary-Layer Meteorology J.*, **68**:1–33.
- [9] Bai H. L., Chan C. M., Zhu X. M., and Li K. M., 2019, *A numerical study on the performance of a Savonius-type vertical-axis wind turbine in a confined long channel*, *Renewable Energy*, **139**:102–109, 2019.
- [10] Balogh M., Parente A., and Benocci C., 2012, *RANS simulation of ABL flow over complex terrains applying an enhanced k-epsilon model and wall function formulation: Implementation and comparison for fluent and Open Foam*, *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics*, **104-106**: 360–368.
- [11] Battjes J. A. and Groenendijk H. W., 2000, *Wave height distributions on shallow foreshores*, *Coastal Engineering J.*, **40**, pp. 161-182.
- [12] Bauer W., Haag W., and Hennecke D.K., 2000, *Accuracy and robustness of nonlinear eddy viscosity models*, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **21**:312–319.
- [13] Bechmann A., 2006, *Large-Eddy Simulation of Atmospheric Flow over Complex Terrain*. PhD thesis, Technical University of Denmark, 487.
- [14] Beller C., 2007, *Layout design for a Venturi to encase a wind turbine, integrated in a high rise*. Master thesis, University of Stuttgart, Germany.
- [15] Blackwell B.F., Sheldahl R.E., and Feltz L.V., 1977, *Wind Tunnel Performance Data for Two- and Three-Bucket Savonius Rotor*.
- [16] Blocken B., et al., 2007, *CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems*, ed. Atmos Environ, pp. 238-52.
- [17] Blocken B., Stathopoulos T., and Carmeliet J., 2007, *CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems*. *Atmospheric Environment J.*, **41**:238–252.
- [18] Bracco G., Giorcelli E., and Mattiazzo G., 2011, *ISWEC: A gyroscopic mechanism for wave power exploitation*. *Mech. Mach. Theory* **46**, 1411–1424. doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2011.05.012.
- [19] Brorsen M., 2007, *Lecture Notes on Fluid Mechanics*. Department of Civil Engineering, Aalborg University.
- [20] Brost R. A. and Wyngaard J. C., 1978, *A model study of the stably stratified planetary boundary layer*. *J. of the Atmospheric Sciences*, **35**(8):1427–1440.
- [21] Burcharth H.F., 1991, *Bølgehydraulik*, Department of Civil Engineering, Aalborg University.
- [22] Burcharth H.F. and Brorsen M., 1978, *On the design of gravity structures using wave spectra*. *Lecture on Offshore Engineering*, Edited by W.J.Graff and P. Thoft-Christensen, Institute of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University, Denmark.
- [23] Burcharth, H. F., and Larsen, T., 1991, *Noter i bølgehydraulik*. (9 udg.) Aalborg Universitetscenter, Inst. for Vand, Jord og Miljøteknik, Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning.
- [24] Busini V. and Rota R., 2014, *Influence of the shape of mitigation barriers on heavy gas dispersion*, *J. of Loss Prevention in the Process Industries*, **29**:13–21.
- [25] Cagninei A., Raffero M., Bracco G., Giorcelli E., Poggi D., and Mattiazzo G., 2015, *Productivity analysis of the full-scale inertial sea wave energy converter prototype: a test case in Pantelleria Island*. *J. Renew. Sustain. Energy*, **7**:061703. doi: 10.1063/1.4936343.
- [26] Cappiotti L., Simonetti I., and Crema I., 2019, *Laboratory experiments on the performance of an OWC-WEC: fixed condition versus floating platform-embodied condition*, 13<sup>th</sup> Int. Conf. of European Wave and Tidal Energy EWTEC, 2019 (Naples).

- [27] Cebeci T., Bradshaw P., 1977, *Momentum transfer in boundary layers*, Hemisphere Publishing Corporation.
- [28] Chen Y., Agostini L., Moretti G., Fontana M., and Vertechy R., 2019, *Dielectric elastomer materials for large-strain actuation and energy harvesting: a comparison between styrenic rubber, natural rubber, and acrylic elastomer*. Smart Mater. Struct. **28**. doi: 10.1088/1361-665X/ab3b32
- [29] Colesca S.E. and Ciocoiu C.N., 2013, *An overview of the Romanian renewable energy sector*, Renewable and Sustainable Energy Reviews **24**, pp. 149-158.
- [30] Coiro D., Troise G., and Bizzarrini N., 2018, *Experiences in developing tidal current and wave energy devices for Mediterranean Sea*. Front. Energy Res. **6**:136. doi: 10.3389/fenrg.2018.00136.
- [31] Coiro D., Troise G., Bizzarrini N., and Castellini L., 2019, *Numerical and experimental test on a large-scale model of a pivoting wave energy conversion system*, European Wave and Tidal Energy Conference -EWTEC 2019 Proceedings (Napoli).
- [32] Cook-Chennault K.A., Thambi N., Sastry A.M., 2008, *Powering MEMS portable devices—A review of non-regenerative and regenerative power supply systems with special emphasis on piezoelectric energy harvesting systems*, Smart Mater. Struct. J., **17**, 043001.
- [33] Contestabile P., Ferrante V., Di Lauro E., and Vicinanza D., 2016, *Prototype overtopping breakwater for wave energy conversion at port of Naples*, Proceedings of the Twenty-Sixth International Ocean and Polar Engineering Conference (Rhodes: ISOPE).
- [34] Craft T. J., Launder B. E., and Suga K., 1995, *Development and application of a cubic eddy viscosity model of turbulence*, Int. J. of Heat and Fluid Flow, **17**:108–115.
- [35] De Oliveira e Silva G. and Hendrick P., 2016, *Pumped hydro energy storage in buildings*, Applied Energy, **179**:1242–1250.
- [36] Dean R.G. and Dalrymple R.A., 1991, *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Second printing with correction, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- [37] Di Fresco L., and Traverso A., 2013, *THE SEASPOON, innovative wave energy converter*, Proceedings of 2013 Ocean (San Diego, CA: IEEE).
- [38] Dragomir G. et al., 2016, *Wind energy in Romania: A review from 2009 to 2016*, Renewable and Sustainable Energy Reviews **64**, pp. 129-143.
- [39] Ehrhard J. and Moussiopoulos N., 2000, *On a new non-linear turbulence model for simulating flows around building shaped structures*. J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics, **88**:91–99.
- [40] Erturk A., Bilgen O., Inman D.J., 2008, *Power generation and shunt damping performance of a single crystal lead magnesium niobate-lead zirconate titanate unimorph: Analysis and experiment*, Appl. Phys. Lett., **93**, 224102.
- [41] Erturk A., Inman D.J., 2011, *Overall Comparison of Ceramics (PZT-5H, PZT-8) and Single Crystals (PMN-PZT, PMN-PZT-Mn)*, Piezoelectric Energy Harvesting, 1st ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, pp. 315–317.
- [42] Feenstra J., Granstrom J., Sodano H., 2008, *Energy harvesting through a backpack employing a mechanically amplified piezoelectric stack*, Mech. Syst. Signal Process, **22**, 721–734.
- [43] Ferrari G., Federici D., Schito P., Inzoli F., and Mereu R., 2017, *CFD study of Savonius wind turbine: 3D model validation and parametric analysis*. Renewable Energy, **105**:722–734.
- [44] Franke J., Hellsten A., Schlunzen H., and Carissimo B., 2007, *Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment*. University of Hamburg Centre of Marine and Atmospheric Sciences.





**Figura A3.1** Anemometru ultrsonic de tip WindMaster 3 - testare și calibrare



**Figura A3.2** Instalația de hidro-meteorologică de tip WS-GP2 - testare și calibrare

