

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris
C. Z. U: 681.5.013/681.511.26

MARUSIC GALINA

**MODELAREA EVOLUȚIEI SPAȚIO-TEMPORALE A
CARACTERISTICILOR ECOSISTEMELOR ACVATICE DE TIP
RÎU ÎN VEDEREA ESTIMĂRII PARAMETRIILOR CALITĂȚII
APELOR**

122.03 – MODELARE, METODE MATEMATICE, PRODUSE PROGRAM

Teză de doctor în informatică

Conducător științific:

**Moraru Vasile,
dr., conf. univ.**

Autorul:

Marusic Galina

CHIȘINĂU, 2015

© Marusic Galina, 2015

CUPRINS

ADNOTĂRI	5
LISTA ABREVIERILOR.....	8
INTRODUCERE	9
1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL MODELĂRII CALITĂȚII APEI ÎN SISTEMELE DE TIP RÎU	15
1.1 Principalele abordări în modelarea matematică și numerică a calității apei.....	15
1.2 Stadiul actual al cercetărilor privind calitatea apei în râuri	25
1.3 Concluzii la capitolul 1	29
2. MODELAREA MATEMATICĂ ȘI NUMERICĂ A TRANSPORTULUI ȘI DISPERSIEI POLUANȚILOR ÎN SISTEMELE DE TIP RÎU.....	31
2.1. Aspectele fizice privind mișcarea unui fluid	31
2.2. Mărimi caracteristice mișcărilor fluidelor	38
2.3. Modelarea matematică a curgerii turbulente	40
2.4. Modelarea matematică a dispersiei poluanților	47
2.5. Utilizarea analizei computaționale a dinamicii fluidelor (CFD) în studiul sistemelor acvatice de tip râu.....	51
2.6. Metode de discretizare a ecuațiilor de curgere	54
2.7. Rezolvarea numerică a ecuațiilor de curgere. Prezentarea programului SMS	57
2.8. Concluzii la capitolul 2.....	61
3. MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A TRANSPORTULUI ȘI DISPERSIEI POLUANȚILOR ÎN RÎUL PRUT	62
3.1. Determinarea calității apei în baza produsului program	62
3.2. Modele numerice pentru estimarea parametrilor calității apei	62
3.3. Rezultatele simulărilor numerice	76
3.3.1. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Criva.....	78
3.3.2. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Șirăuți.....	84
3.3.3. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Braniște	90
3.3.4. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul or. Ungheni	95
3.3.5. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Valea Mare.....	101
3.3.6. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul or. Leova.....	105
3.3.7. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul or. Cahul	110
3.3.8. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Giurgiulești.....	115
3.4. Concluzii la capitolul 3	122

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	125
BIBLIOGRAFIE	128
ANEXE	135
ANEXA 1. Produsul program pentru determinarea calității apei	135
ANEXA 2. Baza de date și produsul program pentru analiza informațiilor.....	140
ANEXA 3. Informații din baza de date și rezultate numerice pentru sectoarele studiate	200
ANEXA 3a. Rîul Prut pe sectorul s. Criva	200
ANEXA 3b. Rîul Prut pe sectorul s. Șirăuți	205
ANEXA 3c. Rîul Prut pe sectorul s. Braniște.....	211
ANEXA 3d. Rîul Prut pe sectorul or. Ungheni	217
ANEXA 3e. Rîul Prut pe sectorul s. Valea Mare	223
ANEXA 3f. Rîul Prut pe sectorul or. Leova.....	229
ANEXA 3g. Rîul Prut pe sectorul or. Cahul	235
ANEXA 3h. Rîul Prut pe sectorul s. Giurgiulești.....	240
ANEXA 4. Brevet de invenție „Sistem pentru monitorizarea calității surselor de apă potabilă” (coautor)	245
ANEXA 5. Acte de implementare a rezultatelor cercetărilor științifice	246
ANEXA 6. Aprecierea rezultatelor cercetărilor științifice	247
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....	250
CURRICULUM VITAE.....	251

ADNOTARE

la teza „Modelarea evoluției spațio-temporale a caracteristicilor ecosistemelor acvatice de tip râu în vederea estimării parametrilor calității apelor” prezentată de către Galina Marusic pentru conferirea gradului științific de doctor în informatică, Chișinău, 2015.

Structura tezei: introducerea, 3 capitole, concluzii, bibliografia cu 106 titluri, 6 anexe, 120 de pagini text de bază, inclusiv 120 de figuri și 9 tabele. Rezultatele sunt publicate în 13 lucrări.

Cuvinte-cheie: Modelare; simulare CFD (Computational Fluid Dynamics); Surface-water Modeling System (SMS); râu; calitatea apei; transportul și dispersia poluanților.

Domeniul de studiu: modelare matematică, produse program, metode de simulare CFD pentru dinamica evoluării răspândirii poluanților în sistemele acvatice de tip râu.

Scopul tezei: Estimarea parametrilor calității apei în sistemele de tip râu prin determinarea evoluției spațio-temporale a proceselor de transport și dispersiei poluanților în baza modelării matematice, metodelor numerice și produselor program.

Obiective: Determinarea aspectelor privind regimul de curgere turbulentă în sistemele de tip râu; identificarea, argumentarea și aplicarea modelelor matematice, metodelor numerice și de simulare CFD a transportului și dispersiei poluanților în sistemele de tip râu; elaborarea produsului program în scopul cercetării și determinării gradului de calitate a apei.

Noutatea și originalitatea științifică: Au fost identificate, argumentate și aplicate modele matematice și metode de simulare CFD a curgerii turbulente și a proceselor de transport a poluanților în sistemele de tip râu. Au fost generate modele de calcul pentru determinarea evoluției spațio-temporale a oricărui poluant. Rezultatele cercetării permit elaborarea unei platforme integrate pentru managementul adecvat al calității apei, cu posibilitatea de a urmări și estima în timp real parametrii de calitate ai apelor.

Problema științifică soluționată constă în elaborarea unei metodologii privind estimarea parametrilor de calitate ai apei în ecosistemele de tip râu în baza modelării matematice, produselor program și metodelor moderne de simulare CFD, fapt care a condus la posibilitatea evaluării acestor parametri în nodurile rețelei de elemente finite ale sectorului de râu studiat, ceea ce a permis determinarea cu o mai mare exactitate a clasei de calitate a apei și predicția situațiilor excepționale de poluare a apei.

Semnificația teoretică: În baza modelelor matematice au fost descrise curgerea turbulentă, procesele de transport și dispersie a poluanților în sistemele de tip râu. Modelarea numerică a condus la elaborarea soluțiilor inovative pentru determinarea cîmpului de concentrații a poluanților în timp și spațiu în vederea estimării parametrilor de calitate ai apelor.

Valoarea aplicativă: În premieră au fost construite modele de calcul numeric pentru evoluția spațio-temporală a transportului și a dispersiei poluanților pentru opt sectoare concrete ale râului Prut. A fost creat un nucleu pentru elaborarea unei platforme integrate și estimarea în timp real a parametrilor de calitate ai apelor. Rezultatele cercetării pot fi aplicate ecosistemelor de tip râu care preiau diverse tipuri de încărcare: chimică, fizică, microbiologică.

Implementarea rezultatelor științifice a avut loc în cadrul *Serviciului Hidrometeorologic de Stat* al Republicii Moldova, firmei *S.C. Software și Sisteme Informatice Bucovina S.A.* din Suceava, România, precum și în cadrul *Sistemului de Gospodărire a Apelor Iași*, România.

ABSTRACT

to thesis „Modelling the spatio-temporal characteristics of river type ecosystems to optimize water quality parameters”, presented by Galina Marusic for conferring a PhD Degree in Computer Science, Chişinău, 2015.

The thesis structure: introduction, three chapters, conclusions, bibliography containing 106 titles/sources, 6 Annexes, 120 pages of basic text, including 120 figures and 9 tables. Results are published in 13 scientific papers.

Key words: modelling, CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation, Surface-water Modeling System (SMS), river, water quality, transport and dispersion of pollutants.

The field of the investigation is related to mathematical modelling, software programs and CFD modelling methods for the dynamic of pollutant spread evolution in river type aquatic systems.

The thesis aim: estimation of water quality parameters in river type systems by determining the spatio-temporal evolution of transport and dispersion of pollutants processes based on mathematical modelling, numerical models and software programs.

The objectives: determination of aspects related to turbulent flow regime in river type systems, identification, reasoning and application of mathematical models, numerical methods, and CFD simulation methods of transport and dispersion of pollutants in river type systems, software product development for the purpose of research and determination of water quality level.

Scientific novelty and originality of the results: mathematical models and CFD simulation methods of turbulent flow and pollutant transport processes in river type systems were identified, argued and applied. Calculation models for determination of spatio-temporal evolution of any pollutant were generated. Research results allow development of an integrated platform for appropriate management of water quality, with the possibility of real-time tracking and estimation of water quality parameters.

The scientific problem solved is to establish a methodology for estimating water quality parameters of river type ecosystems on the basis of mathematical models, software programs and modern methods of CFD simulation, which led to the possibility of assessing these parameters in the finite elements network nodes of the studied river sector, which has allowed to determine more accurately the water quality level and water pollution emergencies .

The theoretical importance: based on mathematical models, turbulent flow and processes of transport and dispersion of pollutants in river type systems were described. Numerical modelling resulted in elaboration of innovative solutions for concentration field determination of pollutants through time and space to estimate water quality parameters.

The applied value of the thesis: models for numerical calculations of transport spatio-temporal evolution and pollutants dispersion for Prut river eight sectors were constructed in premiere. A nucleus for elaborating an integrated platform for real-time estimation of water quality parameters was created. Research results can be applied in river type ecosystems that take chemical, physical and microbiological charging.

The scientific results implementation took part in the *State Hydrometeorological Service* of the Republic of Moldova, *SC Software and Informational Systems Bucovina* from Suceava, Romania and *Water Management System, Iaşi*, România

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора наук в информатики
„Моделирование эволюции пространственно-временных характеристик водно-
речных экосистем в целях оценки параметров качества воды”,
автор: Марусик Галина, Кишинэу, 2015.

Структура диссертации: введение, 3 главы, выводы, библиография из 106 наименований, 6 приложений, 120 страниц основного текста, в том числе 120 рисунков и 9 таблиц. Результаты опубликованы в 13 работах.

Ключевые слова: моделирование; симулирование CFD (Computational Fluid Dynamics); Surface-water Modeling System (SMS); река; качество воды; перенос и рассеивание загрязняющих веществ.

Областью исследования диссертации является математическое моделирование, программное обеспечение и методы моделирования CFD динамики эволюции распространения загрязняющих веществ в водно-речных системах.

Цель диссертации: Оценка параметров качества воды в речных системах путем определения пространственно-временной эволюции процессов переноса и рассеивания (дисперсии) загрязняющих веществ на основе математического моделирования, численных методов и программных продуктов.

Задачи работы: Определение аспектов режима турбулентного течения в речных системах; выявление, обоснование и применение математических моделей, численных методов и методов моделирования CFD процессов переноса и рассеивания загрязняющих веществ в речных системах; разработка программного продукта с целью исследования и определения степени качества воды.

Научная новизна и оригинальность результатов: Были выявлены и применены математические модели и методы моделирования CFD для турбулентного течения и процессов переноса загрязняющих веществ в водно-речных системах. Были сгенерированы расчётные модели для определения пространственно-временной эволюции любого загрязнителя. Результаты позволяют разработать интегрированную платформу для надлежащего управления качеством воды с возможностью отслеживания и оценки параметров качества воды в режиме реального времени.

Решенная научная проблема состоит в разработке методологии для оценки параметров качества воды в водно-речных системах на основе математического моделирования, программных продуктов и современных методов моделирования CFD, это привело к возможности оценки указанных параметров в узлах расчетной сетки исследуемого участка реки, что позволило более точно определить степень загрязнения воды и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Теоретическая значимость работы: На основе математических моделей были описаны турбулентное течение, процессы переноса и дисперсии загрязняющих веществ в водно-речных системах. Численное моделирование привело к разработке инновационных решений для определения поля концентраций загрязнителей во времени и пространстве при оценке параметров качества воды.

Практическая значимость работы: Впервые были построены модели численного расчета для пространственно-временной эволюции переноса и рассеивания загрязняющих веществ по восьми участкам реки Прут. Было создано ядро для разработки интегрированной платформы для оценки в режиме реального времени параметров качества воды. Результаты исследований могут быть применены к речным экосистемам, которые подвержены химическому, физическому и микробиологическому воздействию.

Научные результаты работы были внедрены в Государственной Гидрометеорологической Службе Республики Молдова, фирме S.C. Программное обеспечение и Информационные системы Буковины S.A. г. Сучава и в Системе Водного Хозяйства г. Яссы, Румыния.

LISTA ABREVIERILOR

- CFD – Computational Fluid Dynamics (Dinamica computațională a fluidelor)
- CMA – Concentrația maximă admisibilă
- DES – Detached Eddy Simulation (Simularea vârtejurilor detașate)
- DMCM – Direcția de Monitorizare a Calității Mediului
- DNS – Direct Numerical Simulation (Simularea numerică directă)
- IPA – Indicele de poluare a apei
- LES – Large Eddy Simulation (Simularea vârtejurilor mari)
- RANS – Reynolds Averaged Navier-Stokes (Ecuatiile Navier-Stokes mediate în maniera Reynolds)
- RMA – Resource Management Associates (Asociația de Management al Resurselor)
- MEF – Metoda elementelor finite
- MDF – Metoda diferențelor finite
- MVF – Metoda volumelor finite
- SHS – Serviciul Hidrometeorologic de Stat
- SMS – Surface-water Modeling System (Sistem de modelare a apelor de suprafață)
- CBO – Conținutul biochimic de oxigen
- CBO5 – Conținutul biochimic de oxigen dizolvat după 5 zile

INTRODUCERE

Actualitatea temei și importanța problemei abordate. Calitatea apei constituie o problemă primordială pentru dezvoltarea durabilă a țării. La ora actuală în majoritatea regiunilor de pe Glob se resimte o degradare continuă a calității apei. Pentru a stopa acest proces este necesară inițierea unor studii și acțiuni complexe de către specialiști din diverse domenii.

În diferite surse găsim multiple definiții pentru noțiunea „calitatea apei”. Potrivit Dicționarului de mediu, calitatea apei reprezintă un set de caracteristici chimice, fizice și biologice în ceea ce privește capacitatea sa pentru un caz particular de utilizare [92]. Geochimiștii consideră calitatea apei drept un set de concentrații chimice și fenomene fizice, care se iau la o probă de apă [58]. Ecologiștii se referă la condițiile fizico-chimice ale unui sistem acvatic care ar putea susține o comunitate sănătoasă biotei acvatice în echilibru în condițiile locale naturale [62]. Conform specialiștilor din medicină, calitatea apei se referă la o anumită locație în ceea ce privește sănătatea umană, inclusiv îngrijorarea față de bolile transmise prin apă. Inginerii de management al apei definesc calitatea apei ca apă potabilă și apă folosită pentru irigații, uz industrial, domeniul transportului și generarea energiei electrice [62]. Conform Directivei Cadru Apă 2000/60/EC (modificată prin Directiva 2008/32/CE), calitatea apei se divizează în: foarte bună, bună, moderată, slabă și proastă [9].

În Republica Moldova folosința și protecția apelor sunt gestionate de către stat printr-un șir de acte legislative și normative, printre care pot fi menționate următoarele: Legea Apelor Nr. 272 din 23.12.2011; Regulamentul cu privire la cerințele de calitate a mediului pentru apele de suprafață (HG Nr. 890 din 12.11.2013); Legea cu privire la zonele și fișiile de protecție a apelor, râurilor și bazinelor de apă, nr. 440 – XIII din 27.05.1995; Legea cu privire la apa potabilă, nr. 272 – XIV din 10.02.1999 ș. a. [4].

Cadrul legislativ național este armonizat continuu cu cele mai importante directive ale Consiliului Europei în domeniul resurselor de apă. Conform Directivei Cadru Apă 2000/60/EC, aprobată de către Comisia Europeană, este necesar să fie asigurată starea „foarte bună” pentru toate corpurile de apă.

În rezultatul activităților umane, calitatea apei s-a diminuat dramatic. Evaluarea calității mai multor corpuri de apă din Europa, în conformitate cu cerințele Directivei Cadru Apă, denotă o stare ecologică satisfăcătoare sau nesatisfăcătoare. În scopul reabilitării și menținerii sistemelor acvatice într-o stare „foarte bună” [9], apare necesitatea unei analize minuțioase a acestora.

În multe regiuni ale lumii există o concurență acerbă pentru apă, iar suprasolicitarea și poluarea mediului contribuie la diminuarea surselor disponibile. Presiuni suplimentare creează și

schimbările climatice. În plus, în următorii 30 de ani consumul global de apă ar putea să crească cu 50%, această situație fiind cauzată de mai mulți factori, inclusiv de creșterea, dezvoltarea și urbanizarea populației. Până în anul 2030 aproape 4 miliarde de oameni vor trăi în condițiile unei lipse acute de apă potabilă. În prezent, peste 1 miliard de oameni nu au acces la apă potabilă, iar 2,6 miliarde nu dispun de servicii de salubritate adecvate. Aproximativ 80% din toate bolile înregistrate în țările în curs de dezvoltare sunt legate de apă, ceea ce cauzează 1,7 milioane de decese în fiecare an. O direcție importantă în soluționarea problemelor menționate este raționalizarea și consolidarea cadrului internațional cu privire la managementul adecvat al calității apei [91].

În majoritatea cazurilor, pentru necesitățile umane se folosește apa din râuri, cum ar fi alimentarea cu apă, irigații, generarea energiei etc. Forma râului datorită proceselor de eroziune și sedimentare se află într-o schimbare continuă și influențează parametrii de calitate ai apei [69].

Calitatea apei din râuri tot mai frecvent este influențată și de poluarea cu diferite substanțe chimice, fizice și biologice. Conform literaturii de specialitate, există diferite metode analitice de determinare a calității apei, în funcție de parametrii și normele naționale stabilite în domeniu. De regulă, aceste metode cuprind: selectarea parametrilor, ajustarea unităților de măsură la aceeași scară, stabilirea ponderii fiecărui parametru și calculul indicelui calității apei [73].

În ultimul timp, pentru controlul poluării apei se implementează metode mai eficiente decât cele analitice utilizate anterior. Eficiența acestora rezidă în aplicarea sistemelor informaționale formate din două componente: modelarea matematică a sectorului de râu studiat și evaluarea calității apei prin intermediul modelelor numerice obținute [26, 84, 85].

Dat fiind faptul că problema modelării calității apei este una foarte dificilă și complexă, aceasta implică conlucrarea specialiștilor din diverse domenii: fizică, chimie, matematică, informatică, biologie, hidrologie și medicină. Adeseori însă lipsa unei asemenea colaborări a specialiștilor din domeniile menționate tergiversează soluționarea problemei abordate.

Totodată, există probleme ce țin de aplicarea modelelor elaborate pentru mai multe studii de caz, determinarea coeficienților de difuzie turbulentă, optimizarea coeficienților de dispersie ș. a.

Problema calității apei este foarte actuală și pentru Republica Moldova. Calitatea apelor din țară, în majoritatea cazurilor, nu corespunde standardelor naționale și internaționale [11, 12].

Managementul resurselor de apă în Republica Moldova este dezechilibrat, ceea ce nu permite o protecție adecvată a resurselor de apă. În anul 2009 ponderea probelor de apă ce nu corespund standardelor de calitate a constituit 70,8%, iar în anul 2010 – 67,8% [25].

Datele expuse evidențiază importanța soluționării problemelor menționate.

Cercetările asupra problemelor menționate au fost concepute în cadrul proiectului „Parteneriat științific Republica Moldova - România în vederea dezvoltării unor soluții inovative de monitorizare a evoluției spațio-temporale a sistemelor de tip râu” din cadrul Programului de colaborare bilaterală între Academia de Științe a Moldovei și Autoritatea Națională pentru Cercetare Științifică din România, perioada de desfășurare 2010-2012.

Scopul lucrării constă în estimarea parametrilor calității apei în sistemele de tip râu prin determinarea evoluției spațio-temporale a proceselor de transport și dispersie a poluanților în baza modelării matematice, metodelor numerice și produselor program cu aplicarea rezultatelor obținute pentru râul Prut, scop atins prin următoarele obiective:

- Determinarea aspectelor cu privire la regimul de curgere turbulentă în sistemele de tip râu.
- Modelarea matematică prin ecuațiile Navier-Stokes și a ecuației dispersiei a evoluției spațio-temporale a poluanților în sistemele de tip râu.
- Modelarea și simularea numerică care au la bază tehnologia CFD, tehnica medierii Reynolds și softuri specializate pentru determinarea parametrilor caracteristici transportului poluanților și a calității apei.
- Studiul calității apei în râul Prut din ultimii ani.
- Elaborarea produsului program în scopul determinării clasei de calitate a apei.
- Crearea bazei de date cu informații referitoare la concentrațiile mediei anuale ale parametrilor calității apei și depășirilor CMA în perioada anilor 2008-2013 pentru opt sectoare ale râului Prut: s. Criva, s. Șirăuți, s. Braniște, or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești.
- Elaborarea geometriei și a rețelelor de calcul pentru sectoarele menționate.
- Simularea CFD a transportului și dispersiei poluanților în sectoarele studiate ale râului Prut.
- Analiza rezultatelor simulărilor numerice.
- Calibrarea și validarea modelelor numerice pentru transportul și dispersia poluanților.
- Implementarea rezultatelor obținute.

Noutatea științifică:

Au fost identificate și argumentate modele matematice de descriere a curgerii turbulente, a proceselor de transport și dispersia poluanților în sistemele acvatice de tip râu. În acest sens, au fost identificate și aplicate metode de simulare CFD a caracteristicilor poluanților, mai sus menționate, la sistemele de tip râu. Astfel, în baza modelelor matematice argumentate și a metodelor de simulare CFD stabilite, pentru prima dată au fost construite modele de calcul pentru evoluția spațio-temporală a transportului și a dispersiei poluanților pentru opt sectoare ale

rîului Prut. În premieră au fost simulate situațiile de alertă în sectoarele de rîu studiate, cu valori ale concentrațiilor poluanților depășind CMA. Prin detalierea modelelor numerice elaborate s-a reușit simularea variației concentrației în timp și spațiu, ceea ce a permis determinarea caracteristicilor specifice fenomenului de dispersie a poluanților implicați în simulare. În baza rețelelor de calcul elaborate ale sectoarelor menționate au fost generate modele numerice pentru determinarea evoluției spațio-temporale a diferitelor tipuri de poluanți.

Reieșind din cercetările efectuate, a fost elaborată o nouă metodă de calibrare a modelelor numerice cu privire la simularea concentrației poluanților în timp și spațiu. Rezultatele cercetării pot fi aplicate altor rîuri care preiau încărcarea chimică, fizică și microbiologică ca emisar din diverse puncte sau centre de poluare.

Rezultatele cercetării reprezintă un nucleu pentru elaborarea unei platforme integrate cu privire la managementul adecvat al calității apei, cu posibilitatea de a urmări și de a estima în timp real parametrii de calitate a apelor, precum și managementul riscului de poluare a apei.

Problema științifică soluționată constă în *elaborarea unei metodologii* privind estimarea parametrilor de calitate ai apei în ecosistemele de tip rîu în baza modelării matematice, produselor program și metodelor moderne de simulare CFD, *fapt care a condus* la posibilitatea evaluării acestor parametri în nodurile rețelei de elemente finite ale sectorului de rîu studiat, *ceea ce a permis* determinarea cu o mai mare exactitate a clasei de calitate a apei și predicția situațiilor excepționale de poluare a apei.

Semnificația teoretică. În baza modelelor matematice au fost descrise procesele de curgere turbulentă, transport și dispersie a diferitelor tipuri de poluanți în sistemele de tip rîu. S-au cercetat, dezvoltat și obținut modele numerice bazate pe metodologia CFD pentru simularea numerică atât a transportului, cât și a evoluției poluanților.

Cercetările teoretice efectuate au condus la elaborarea unor soluții inovative privind determinarea cîmpului de concentrații a poluanților în timp și spațiu în vederea estimării parametrilor de calitate ai apelor.

Valoarea aplicativă a lucrării. Au fost elaborate modele numerice pentru estimarea parametrilor caracteristici transportului poluanților în rîul Prut. S-au calibrat și validat modelele de calcul cu privire la determinarea hidrodinamicii și a proceselor ce țin de evoluția spațio-temporală a transportului și dispersiei poluanților pentru opt sectoare ale rîului Prut (o varietate largă de studii de caz): s. Criva, s. Șirăuți, s. Braniște, or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești. În baza rezultatelor cercetării pot fi elaborate rețele de calcul și pentru alte sectoare ale rîului Prut, precum și ale altor rîuri din Republica Moldova.

Rezultatele cercetării reprezintă un instrument util pentru elaborarea unei platforme integrate privind managementul adecvat al calității apei, cu posibilitatea de a urmări și estima în timp real parametrii de calitate ai apelor.

Implementarea rezultatelor științifice. Modelele numerice obținute au fost implementate în cadrul *Serviciului Hidrometeorologic de Stat* al Republicii Moldova, firmei *S.C. Software, Sisteme Informatice Bucovina S.A.* din Suceava, România, precum și în cadrul *Sistemului de Gospodărire a Apelor* din Iași, România.

Rezultatele științifice înaintate spre susținere:

1. Metodologia determinării evoluției spațio-temporale a transportului și dispersiei poluanților în sistemele de tip râu.
2. Modele matematice moderne de descriere a curgerii turbulente, precum și ale proceselor de transport și dispersie a poluanților în sistemele de tip râu.
3. Produsul program pentru determinarea clasei de calitate a apei râului Prut.
4. Metode moderne de simulare CFD a hidrodinamicii și proceselor de transport și dispersie a poluanților în sistemele de tip râu.
5. Practici de generare a rețelelor de calcul.
6. Calibrarea modelelor de calcul pentru validarea rezultatelor CFD.

Aprobarea rezultatelor cercetărilor. Rezultatele tezei au fost validate în cadrul lucrărilor publicate în reviste internaționale și naționale:

- „Revista de Chimie”, București, 66, Nr. 4, 2015, **cotată ISI**;
- „Wseas Transactions on Fluid Mechanics”, Nr. 2, V. 8, 2013, indexată în **SCOPUS**;
- „Meridian Ingineresc”, UTM – AIM, nr. 4, 2012; nr. 2, 2013;
- „Academos”, Nr. 3 (30), 2013.

De asemenea, rezultatele tezei au fost prezentate la Conferințele Internaționale și publicate în lucrările Conferințelor:

- International Conference on Microelectronics and Computer Science: ICMCS-7, 2011; Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova.

- Modelare Matematică, Optimizare și Tehnologii Informaționale, ediția a III-a, Chișinău, Academia de Transporturi, Informatică și Comunicații, 2012.

- The 11th International Conference on Development and Application Systems DAS 2012, *Universitatea Ștefan cel Mare*, Suceava, România.

- International Conference on Analytical and Nanoanalytical Methods for Biomedical and Environmental Sciences: IC-ANMBES-2, 2012, Universitatea din Brașov, România.

- World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE '12), Sliema, Malta, 2012.

- WSEAS International Conference on Applied Mathematics (AMATH'12), Montreux, Switzerland, 2012.

- International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED '13), Romania, Brasov, 2013 (**articolul *Current State of Research on Water Quality of Prut River a fost apreciat drept cea mai bună lucrare***).

Sistemul propus de monitorizare a calității surselor de apă potabilă în cadrul cererii de brevet de invenție A/00922/2012 (împreună cu un colectiv de autori de la Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, România) a fost demonstrat în cadrul a patru Saloane Internaționale și a obținut următoarele distincții:

1. Diploma de excelență și Medalia de Bronz la Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PROINVENT, ediția a XI-a, Cluj Napoca, 18-23.03.2013.

2. Diploma de excelență și Medalia de bronz la Expoziția Europeană de Creativitate și Inovare EUROINVENT, Iași, 2013.

3. Premiul I și Medalia de aur la Zilele Tehnice Studentești – 2013, Universitatea Politehnica Timișoara, 19-24.05.2013.

4. Premiul III și Medalia de bronz la Salonul Național de Invenție și Creație Științifică pentru Tineret GAUDEAMUS, ediția a XI-a, București, 21-24 noiembrie 2013.

Publicații la tema tezei. La tema tezei au fost publicate 13 lucrări științifice: un articol într-o revistă internațională cotate ISI; un articol ca singur autor într-o revistă internațională cotate SCOPUS; trei articole în reviste recenzate de circulație națională, dintre care două ca singur autor; opt articole în culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale. Împreună cu un colectiv de autori de la Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, România, a fost depusă o cerere de brevet de invenție la OSIM din România.

Structura și volumul lucrării. Teza este compusă din introducere, trei capitole, concluzii finale, bibliografie (106 titluri) și 6 anexe. Conținutul de bază al tezei este expus pe 120 de pagini și inserează 120 de figuri și 9 tabele.

Cuvinte-cheie: Modelare; simulare CFD (Computational Fluid Dynamics); Surface-water Modeling System (SMS); râu; calitatea apei; transportul și dispersia poluanților.

Conținutul tezei: Primul capitol prezintă o trecere în revistă a problemelor calității apei la nivel național și internațional și principalele abordări privind modelarea calității apei în baza metodelor matematice și a diferitor soft-uri. Se identifică cel mai frecvent utilizat pachet de

programe în scopul simulării numerice a sistemelor de tip râu - SMS (Surface Water Modeling System). Se discută starea actuală a cercetărilor în domeniul modelării calității apei în râuri.

În capitolul doi se discută aspectele ce țin de mișcarea și poluarea apei în sistemele de tip râu, se identifică modelele matematice, metodele numerice și tehnologiile CFD cu privire la determinarea evoluției spațio-temporale a transportului și dispersiei poluanților.

În cel de-al treilea capitol se realizează un studiu asupra calității apei râului Prut. În baza modelelor matematice și a metodelor numerice, precum și a tehnologiilor CFD identificate în capitolul al doilea, se realizează simularea numerică a dispersiei poluanților în opt sectoare ale râului Prut și se prezintă rezultatele simulărilor numerice. Se propune o nouă metodă de calibrare a modelelor numerice în baza valorilor optime ale numărului Peclet.

1. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL MODELĂRII CALITĂȚII APEI ÎN SISTEMELE DE TIP RÎU

1.1. Principalele abordări în modelarea matematică și numerică a calității apei

Hidrodinamica este o parte componentă a disciplinei științifice *Dinamica fluidelor*, care studiază curgerea lichidelor. Primele modele matematice ale hidrodinamicii au fost elaborate de către Navier în anul 1823, au fost continuate de Cauchy în 1828, Poisson în 1829, Saint-Venant în 1843 și Stokes în 1845 [14].

La baza modelării tuturor lichidelor se află ecuațiile Navier-Stokes, care descriu *conservarea masei, a momentului și a energiei*. Soluțiile ecuațiilor sunt câmpurile variabilelor în zona modelată [13, 66]. Pentru rezolvarea ecuațiilor Navier-Stokes se folosesc modelele de simulare numerică [68, 53, 55]. Cunoașterea mărimilor caracteristice ale sistemelor acvatice permite studierea și determinarea proceselor de transport și dispersie a poluanților.

Prin transport se înțeleg procesele care deplasează substanțele prin hidrosferă cu ajutorul mijloacelor fizice. Procesele de transport care schimbă componența unei substanțe se numesc dispersie. În rezultatul acestor procese se desfășoară mișcarea și împrăștierea poluantului, iar în momentul contactării a două fluide miscibile are loc acțiunea simultană a unor fenomene fizico-chimice. În rezultatul acestor acțiuni diferențele dintre proprietățile fizice ale celor două fluide tind să se niveleze, în timp [97].

Istoria teoriei dispersiei a început cu experiențele în laborator și a continuat cu elaborarea și aplicarea modelelor matematice la probleme reale de poluare a mediului. Fenomenul de dispersie se caracterizează prin parametri ale căror valori numerice măsoară dispersia, coeficienții de dispersie și parametrii care influențează procesul de dispersie [97].

Apa pământului constituie un factor esențial pentru existența vieții. Aceasta se află permanent într-un proces hidrologic, datorită căruia pot fi modificate proprietățile ei fizice, chimice și biologice [63].

Din volumul total de ape ce acoperă suprafața Pământului un aport considerabil în dezvoltarea durabilă a societății îl aduc apele de suprafață. Acestea se clasifică în ape stătătoare și curgătoare, se deosebesc prin particularitățile lor fizice, chimice și biologice și se aseamănă prin influențarea factorilor naturali și antropici, fiind ușor poluabile, instabile în caracteristici.

Pentru a putea fi folosită, apa trebuie să fie calitativă. O problemă importantă în domeniul apelor de suprafață o constituie poluarea acestora cu diferiți poluanți. Specialiștii din domeniul apelor au nevoie de instrumente eficiente în scopul reabilitării și menținerii acestora într-o stare *foarte bună*, conform cerințelor Directivei Cadru Apă [9].

În sistemele acvatic, poluanții sunt distribuiți prin intermediul proceselor fundamentale de difuzie și advecție, iar la predicția transportului lor se folosesc modele matematice [70, 20].

Sursele de poluare a apelor de suprafață sunt diferite și se clasifică în punctiforme și difuze. Cele difuze sunt poluanții proveniți din activitățile agriculturii și industriei, iar cele punctiforme provin din industria metalurgică, chimică, activitatea minieră, gospodării comunale ș. a.

Un instrument esențial în calcularea clasei de calitate a apei, precum și determinarea evoluției spațio-temporale a poluanților în scopul prevenirii situațiilor excepționale, îl constituie modelarea matematică și numerică a sistemelor de tip râu. Alegerea modelului matematic și al programului de simulare adecvate va permite evaluarea corectă a calității apei [85, 86].

Pentru a descrie într-un mod adecvat evoluția sistemului studiat, modelul matematic prin intermediul metodelor numerice se transformă într-un model numeric. Modelarea numerică se realizează prin tehnici CFD, cu ajutorul cărora ecuațiile cu derivate parțiale se transformă în sisteme de ecuații algebrice, soluțiile cărora reprezintă o aproximație a mărimilor de stare în nodurile definite ale domeniului de calcul [53, 55, 59, 65].

Cercetarea unui sistem real se realizează cu ajutorul *simulărilor numerice*, care presupune studiul comportării în timp a sistemului cercetat prin intermediul modelelor numerice. Cuvântul „*simulare*” provine de la latinescul „*simulatio*”, care semnifică reproducerea sau imitarea [5, 97].

Pentru a obține un model adecvat sistemului real este necesar de a cunoaște profund sistemul ecologic și procesele supuse modelării, în baza cărora vom putea soluționa următoarele probleme:

- elaborarea modelului conceptual și numeric al hidrodinamicii și calității apei a sistemului de râu studiat;
- implementarea practică a modelelor obținute în managementul calității apei.

Modelele de calitate a apei pot fi clasificate după complexitate, tipul obiectului cercetat și după parametrii de calitate ai apei, care pot fi presupuse de către model. Necesitatea alegerii unui model mai complex este determinată de specificul fiecărui caz în parte [85, 86].

Conform surselor bibliografice examinate, în prezent există încercări și propuneri de modelare a calității apei în râuri. În aceste lucrări sunt propuse diferite abordări cu privire la combinația modelelor matematice, sistemelor GIS și a tehnicilor software [67, 81, 84].

Râurile reprezintă un sistem acvatic complex. Curgerea apei în râuri este o curgere turbulentă, care se descrie cu ajutorul ecuațiilor cu derivate parțiale Navier-Stokes [68].

Teoria turbulenței a fost propusă de către Kolmogorov în 1941, fiind numită teoria K41 [33]. Actualmente modelul lui Kolmogorov, dezvoltat și de către alți cercetători, este cel mai frecvent utilizat în descrierea proceselor turbulente.

În scopul prevenirii poluării sistemelor acvatice cel mai important rol îi revine managementului adecvat al calității apei. Un suport considerabil în managementul calității apei îl reprezintă modelarea calității apei. În lucrarea [64] se prezintă modul de determinare a scăderii oxigenului dizolvat în râu cu ajutorul ecuației modificate a lui Streeter-Phelps:

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 \cdot e^{-k_2 t},$$

unde D este deficitul de oxigen dizolvat; k_1 – constanta de degradare a consumului biochimic de oxigen; k_2 – constanta de reaerare atmosferică; L_0 – concentrația finală a consumului biochimic de oxigen; t – timpul de retenție hidraulică; D_0 – deficitul inițial al oxigenului dizolvat.

O combinație a ecuației menționate și a unui sistem *Hydrological Engineering Centers River Analysis System* (HEC-RAS) a fost folosită pentru evaluarea calității apei din râul Tan-Sui, Taiwan și afluenții săi, care constituie principala sursă de alimentare cu apă pentru nordul Taiwanului. A fost evaluat impactul valorilor asupra calității apei și calculați coeficienții de reoxigenare. Calitatea apei a fost simulată în condițiile în care datele disponibile au fost destul de limitate [64].

Parametrii de calitate ai apei pot fi modelați și cu ajutorul rețelelor neuronale. Pentru modelarea fosforului total în râul Odra din localitatea Police din Polonia, au fost elaborate 2 modele: un model simplu cu o variabilă de intrare și altul mai complex, cu 14 variabile de intrare. Au fost stabilite relațiile dintre fosfor și alți parametri de calitate ai apei pentru râul studiat. Au fost folosite 5 tipuri diferite de rețele neuronale: liniară, de regresie generalizată Neural – GRNN, multistratificat Radial Basis Function – RBF, perceptron cu un singur strat ascuns – MIP(1) și perceptron multistrat cu două straturi ascunse – MIP(2). Pentru studierea rețelelor neuronale au fost utilizate datele din perioada anilor 1991-2004. Validarea modelelor a fost efectuată pe un set de date prelevate în anul 2005. În concluzii se menționează că modelele dezvoltate calculează concentrația fosforului cu o anumită eroare. Pentru predicția corectă a calității apei este necesar de a continua modelările în acest domeniu [90].

Un sistem de adoptare a deciziilor (DSS – Decision Support System) a fost elaborat pentru managementul calității apei în bazinul râului Songhua, China. Acest sistem a fost prezentat prin încorporarea unui sistem de modelare numerică a calității apei într-un sistem de management al calității apei cu următoarele componente: sistem informațional geografic (GIS), tehnologii WebGIS, baze de date și tehnologii de rețea. DSS este compus din patru straturi: interfața utilizatorului, sistemul de aplicare, platforma GIS și baza de date. Sistemul de aplicare include managementul informației și managementul modelării calității apei. Sistemul elaborat permite

calcularea diverselor scenarii de management al calității apei, și, de asemenea, interpretarea rezultatelor de modelare în scopul adoptării deciziilor respective [105].

Pentru studierea bazinului hidrografic din Krasnoiarsk și a unor sectoare ale râului Enisei din Rusia au fost elaborate 2 modele ale ecosistemelor acvatic: punctiform și unidimensional. Modelul punctiform descrie procesele ce au loc în sistemul acvatic. În calitate de variabile dinamice în acest sistem servesc concentrațiile de alge verzi, alge albastre-verzi, zooplancton, bacterii, fosfor neorganic, azot neorganic și oxigen. Particularitatea distinctivă a acestui model rezidă în diferențierea algelor albastre-verzi în 2 specii: albastre și verzi. Această divizare lipsește în alte modele, dar are o mare importanță pentru cercetarea ecosistemelor acvatic de tip lac și râu, deoarece procesul de creștere (dezvoltare) a acestor alge diferă. Modelul permite prezicerea dinamicii dezvoltării sistemului acvatic, inclusiv transformarea azotului și fosforului – nutrienții cei mai importanți care determină calitatea apei. Modelul matematic elaborat reprezintă problema Cauchy pentru un sistem din 10 ecuații diferențiale. Pentru rezolvarea numerică se folosește metoda lui Runge-Kutta de ordinul IV de aproximare și mediul Visual C++ cu utilizarea MFC (Microsoft Foundation Classes).

Modelul unidimensional ia în considerație transportul poluanților pe lungimea râului. Este compus dintr-un sistem de ecuații diferențiale de gradul întâi. Rezolvarea numerică se efectuează cu ajutorul schemei de diferențe implicite. În calitate de date inițiale servesc datele inițiale din modelul punctiform, iar drept condiții la limită – datele obținute din rezolvarea modelului. Distribuția inițială a tuturor componentelor modelului se consideră uniformă.

Folosirea modelelor elaborate permite determinarea dinamicii proceselor, care se desfășoară în sistemul acvatic, prognozarea stării în timp și spațiu pînă la 100 km. În același timp, modelele sunt sensibile la schimbarea parametrilor și necesită o alegere atentă a coeficienților pentru sistemul acvatic concret [38].

Tehnologiile GIS au fost utilizate și pentru elaborarea unui sistem de monitorizare a calității apei pentru bazinul râului Neva din Rusia. Sistemul permite informarea din timp a personalului stațiilor despre modificarea calității apei în locurile de prelevare a probelor. La prima etapă a fost elaborată o bază cartografică a sectorului de râu studiat cu ajutorul programului ArcInfo ver.9.1 a firmei ESRI, care este lider în elaborarea GIS. Ulterior, la sistemul creat GIS a fost conectată baza de date cu informații despre râul Neva și informații de la întreprinderi despre folosirea apei din râu și descărcarea apelor uzate. În sistemul creat a fost integrat modelul de simulare a proceselor. Au fost realizați algoritmi de calcule a proceselor pentru un model binar nestaționar cu parametri constanți și variabili. Modelul elaborat a permis de a estima în timp real starea

sistemului acvatic prin schimbarea diferitor parametri de modelare. Au fost efectuate experimente numerice pentru diferite segmente ale râului și utilizarea diferitor parametri [48].

Un sistem geoinformațional pentru modelare și prognozare a stării apelor de suprafață a fost elaborat în Rusia în baza tehnologiilor GIS. A fost efectuată o sinteză a modelelor matematice, în urma căreia a fost creată o bază de date, compusă din modelele de calitate a apei. Sistemul permite colectarea și clasificarea informației, cercetarea dinamicii ecosistemului în timp și spațiu, elaborarea hărților tematice în baza analizei efectuate, modelarea proceselor naturale în diferite medii, estimarea situației și prognoza situației ecologice la descărcări avariere a poluanților. Se prezintă modelul transportului poluanților pentru râul Zea. Se calculează indexul de poluare a apei, reieșind din care se determină indicele de calitate a apei [33].

Îmbunătățirea calității apei constituie o prioritate primordială pentru toate țările. O metodă pentru determinarea diferitor factori ce influențează negativ calitatea apei este propusă în lucrarea [29]. Ideea de bază a metodei respective rezidă în reducerea complexității sistemului prin diferențierea pe etape a încărcărilor corespunzătoare. Se propune divizarea sistemului în 5 etape: analiza domeniului, compilarea încărcărilor, compararea cu indicatorii biologici, analiza detaliată a proceselor de interacțiune, determinarea unui set de măsuri pentru îmbunătățirea calității apei. Metoda a fost implementată pentru studierea bazinului hidrografic Keseli-Lo din Belgia. În consecință, a devenit posibilă examinarea mai multor opțiuni de management și determinarea celor mai eficiente. Evident că evaluarea calității apei și a caracteristicilor apelor, afluate râului, trebuie să fie efectuate în comun, deoarece îmbunătățirea calității afluenților nu întotdeauna duce la îmbunătățirea calității apei din râu [29].

Un sistem de modelare a evoluției spațio-temporale a hidrodinamicii și a caracteristicilor calității apei a fost elaborat pentru râul Severnaia Sosiva din Rusia. Hărțile topografice a sectorului de râu studiat au fost discretizate cu ajutorul sistemului ArcGIS. Pe baza modelului numeric al hidrodinamicii și a calității apei CE-QUAL-W2, a fost construit modelul 3-D a sectorului de râu studiat și efectuată simularea numerică a hidrodinamicii (determinarea câmpului de viteze a particulelor apei și a coeficientului de difuzie turbulentă pe verticală). Totodată, a fost efectuată o serie de scenarii de simulare a calculării vitezei particulelor apei în stratul de suprafață a râului în timpul inundațiilor. S-a constatat că mărimile caracteristice hidrodinamicii în mare parte depind de detalizarea geometriei modelului. Modelul de determinare a caracteristicilor calității apei calculează un număr mare de parametri de calitate a apei. S-a stabilit că procesul de transport și dispersie a poluanților depinde în mod critic de câmpul de viteze al particulelor apei și al gradului de turbulență a fluxului de apă [40].

Un sistem informațional automatizat de monitorizare și verificare a stării apelor de suprafață a fost creat la Universitatea Tehnică din orașul Oriol, Rusia. Sistemul este compus din baze de date și un set de software, elaborat în baza modelelor matematice de transport și dispersie a poluanților. Modelele matematice au fost transpuse în software prin intermediul tehnicilor Delphi și MS Acces. Toate datele de intrare a modelelor au fost apreciate în baza informației standard a Serviciului Hidrometeo din orașul Oriol. În calitate de variabile au servit compușii din azot de amoniu, nitriți, nitrați, oxigen dizolvat, biomasa fitoplanctonului, biomasa dizolvată și unele sedimente. Parametrii necunoscuți ai modelului au fost determinați în limita intervalelor valorilor caracteristice prin minimizarea criteriului statistic al lui Teil pentru fiecare componentă a sistemului acvifer [39].

Simularea dinamică a predicției poluării accidentale pe un sector al râului Someș în aval de or. Cluj-Napoca din România este prezentată în lucrarea [61]. Se aplică un program CFD cu denumirea COMSOL Multiphysics, care la discretizarea domeniului utilizează metoda elementelor finite. Se folosesc două abordări: poluarea difuză (care presupune că poluantul este distribuit de-a lungul malului râului) și poluarea punctiformă. A fost folosit modelul de turbulență $k - \varepsilon$ și ecuația de advecție-dispersie. Au fost cercetate efectele adăugării unui agent de neutralizare în scopul reducerii concentrației de poluanți [61].

O metodologie privind modelarea matematică a scurgerii râurilor Ural și Sakmar din regiunea Orenburg, Rusia a fost elaborată cu utilizarea tehnologiilor GIS. În acest scop a fost elaborată suprafața hipsometrică a regiunii Orenburg și modelul reliefului, luându-se în considerare amplasarea rețelei de râuri. Datele referitoare la nivele au fost luate din baza de date GTOPO30 a Serviciului Geologic din SUA. Ecuațiile de bază folosite fac parte dintr-un sistem de ecuații dedus din sistemul de ecuații Navier-Stokes:

$$\omega \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = q,$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{g}{\omega} \frac{\partial (\bar{H}\omega)}{\partial x} + \frac{V \cdot q}{\omega} = g(I - I_T),$$

unde ω este aria secțiunii transversale a râului; V – viteza medie de curgere; q – afluentul pe unitatea de lungime; x – coordonata spațială; t – timpul; g – accelerația căderii libere; I – panta râului; I_T – gradientul hidraulic; H – distanța dintre suprafața apei și centrul de greutate a secțiunii de apă.

Sistemul menționat poartă denumirea de sistemul de ecuații Saint-Venant. Rezolvarea s-a efectuat cu ajutorul unui algoritm de programare paralelă, implementat prin mediul de programare Borland Delphi 7.0. Acest mediu conține un tip special de obiect – flux, la activarea

căruia sistemul creează de sine stătător un flux nou în cadrul unei aplicații. După calcularea datelor de ieșire privind consumul sau viteza apei, fiecare flux poate primi noi date de intrare de la fluxul precedent cu privire la consumul sau viteza apei [31].

Simularea hidrodinamicii într-un sector dreptunghiular al unui râu se prezintă în lucrarea [43]. A fost dezvoltat un model matematic în baza sistemului de ecuații Saint-Venant și s-a considerat că mișcarea apei în râuri reprezintă un exemplu de proces paralel. Pentru simulare au fost elaborați doi algoritmi: consecutiv și paralel. A fost comparată eficacitatea calculatorului personal de oficiu și a unui cluster, care a rezolvat aceeași problemă cu ajutorul programului paralel. S-a demonstrat că utilizarea algoritmului paralel are o eficacitate mult mai mare în comparație cu algoritmul consecutiv [43].

Un model matematic ternar discret al hidrodinamicii se prezintă în lucrarea [47]. Modelul a fost dezvoltat în baza ecuațiilor Navier-Stokes și a ecuației de continuitate:

$$u'_t + uu'_y + vv'_y + ww'_z = -\frac{1}{\rho}P'_x + (\mu u'_x)'_x + (\mu v'_y)'_y + (v u'_z)'_z + 2\Omega(v \sin\theta - w \cos\theta),$$

$$v'_t + uv'_x + vv'_y + ww'_z = -\frac{1}{\rho}P'_y + (\mu v'_x)'_x + (\mu v'_y)'_y + (v v'_z)'_z - 2\Omega u \sin\theta,$$

$$w'_t + uw'_x + vw'_y + ww'_z = -\frac{1}{\rho}P'_z + (\mu w'_x)'_x + (\mu w'_y)'_y + (v w'_z)'_z + 2\Omega u \cos\theta + g,$$

$$u'_x + v'_y + w'_z = 0,$$

unde $V = \{u, v, w\}$ sunt componentele vectorului de viteză; p – presiunea hidrodinamică; ρ – densitatea; Ω – viteza unghiulară de rotație a pământului; θ – unghiul dintre viteza unghiulară și verticală; μ, ν – componentele orizontală și verticală ale coeficientului de turbulență.

Se discută aproximarea condițiilor la limită și se constată că sursele de eroare în modelul matematic deseori sunt datele de intrare. Aceste erori nu pot fi micșorate în procesul de calcul. De aceea este important ca toate datele de intrare să fie aproximativ de aceeași precizie. A fost obținut un model discret, în care nodurile de frontieră au același ordin de aproximare a erorii cu nodurile interioare [47].

Calitatea apelor de suprafață depinde în mod direct de starea apelor subterane. A fost realizată simularea numerică cuplată între dispersia și transportul de poluanți prin medii permeabile și dispersia și transportul de poluanți în râuri. Această legătură s-a realizat prin considerarea rezultatelor numerice obținute în urma studierii mișcării apei și a transportului de poluanți prin medii permeabile ca și condiții la limită pentru transportul de poluanți în râul Târnava Mică din România. Modelarea matematică a calității apei în râu a fost realizată cu ajutorul ecuației de convecție-difuzie:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) +$$

$+S(x, y, z, t) \pm S_{internă}$,

unde C este concentrația poluantului; D_x, D_y, D_z – coeficienții de difuzie în direcțiile x, y și z ; v_x, v_y, v_z – viteza în direcțiile x, y , și z ; t – timpul; $S(x, y, z, t)$ – sursele externe funcții de spațiu și timp; $\square S_{internă}$ – sursele interne, a căror evoluție este influențată de C .

Problema determinării hidrodinamicii și a transportului de poluanți în albiile naturale a fost rezolvată cu ajutorul sistemului SMS, folosind modulele bidimensionale RMA2 și RMA4. Modelarea matematică a fost realizată cu ajutorul sistemului de ecuații Navier-Stokes și a ecuației de advecție-dispersie [15].

Importanța modelării matematice a calității apei se prezintă în lucrarea [93]. Se dezvoltă un model matematic în baza sistemului de ecuații Navier-Stokes și a ecuației fundamentale de advecție-dispersie. Corectitudinea modelului matematic se dovedește prin coincidența rezultatelor simulării cu datele măsurate în situ. Rezultatele măsurătorilor unor indicatori de calitate a apei pe râul Oltul superior din România se compară cu simularea numerică realizată prin aplicarea SMS. Pentru a calibra și valida modelul matematic, indicatorii de calitate a apei (conductivitatea, CCO-Mn și CBO5) au fost analizați în două campanii de măsurare (iunie și septembrie 2007). Probele de apă au fost luate în amonte și în aval de confluența Oltului Superior-pârâiaș Sambrezii. Pentru simularea numerică a fost folosit SMS, deoarece acesta conține diferite module pentru anumite tipuri de mișcare a apei [93].

Un model bidimensional în baza ecuațiilor Navier-Stokes privind modelarea parametrilor în sisteme de tip râu se prezintă în [104]. Se examinează rezultatele aplicării metodologiei propuse la studiul râurilor Sandy și Columbia din SUA, precum și interacțiunea dintre acestea. De asemenea, metodologia dată a fost aplicată la studiul mai multor râuri: Columbia River Basin (Washington), San Joaquin River (California), Ventura River (California), Nason Creek Geomorphic Assessment (Washington), Middle Rio Grande River (New Mexico), Yakima River Basin (Washington) ș. a. Compararea datelor obținute cu privire la nivelul apei și câmpul de viteze denotă o bună corelare dintre datele calculate și cele măsurate pe teren.

Problema modelării lichidelor cu ajutorul ecuațiilor Navier-Stokes este examinată în lucrarea [31]. Se prezintă rolul utilizării ecuațiilor pentru studiul și prognozarea unei game largi de fenomene din mecanica fluidelor. Se argumentează importanța cercetării proprietăților soluțiilor ecuațiilor Navier-Stokes. Se menționează că prezența neliniarității în ecuațiile Navier-Stokes creează întotdeauna dificultăți matematice fundamentale la determinarea soluțiilor problemelor la limită. De asemenea, prezența neliniarității în ecuațiile Navier-Stokes se

consideră sursa principală a diferitor proprietăți dinamice ale unui model matematic. Se discută aspectele rezolvării analitice și numerice ale ecuațiilor menționate.

Studiul proceselor hidrodinamice și morfologice ce au loc în albia râului Karnaphuli din Bangladesh este prezentat în lucrarea [50]. A fost dezvoltat modelul matematic în baza ecuațiilor Navier-Stokes și a ecuației de advecție-dispersie. Cu ajutorul programului Delft3D-FLOW au fost simulate hidrodinamica, procesele morfologice și transportul poluanților în albia râului menționat. Modelul a fost calibrat și validat în baza datelor disponibile.

Modelarea interacțiunilor sistemelor „râu-lac” prin intermediul modelelor numerice se prezintă în lucrarea [45]. Se descrie modelul matematic în baza sistemului de ecuații Navier-Stokes și a ecuației de echilibru pentru salinitate în lac. Discretizarea domeniului studiat se realizează în baza metodei volumelor finite. A fost elaborat un algoritm numeric iterativ în scopul determinării hidrodinamicii și a câmpului de temperaturi și obținute rezultate bune în comparație cu datele din situ.

O metodă de rezolvare a ecuațiilor Navier-Stokes în baza diferențelor finite pentru un fluid vâscos compresibil se discută în lucrarea [101]. Schema diferențelor finite propusă în lucrare nu impune restricții severe ce țin de intervalele de timp și este valabilă pentru rețelele structurate, iar ecuațiile Navier-Stokes se divizează în 3 sisteme de ecuații cu diferențe finite, care pot fi rezolvate în mod independent. Metoda propusă a fost testată pe studii de caz cu privire la modelarea hidrodinamicii în râurile mici din regiunea Rostov din Rusia.

Modelarea hidrodinamicii a fluxului estuar al râului se propune în lucrarea [51]. Se analizează modelul 3D și se propun modelele 2D-orizontal, 2D-vertical și 1D cu luarea în considerație a geometriei râului. Modelarea matematică este realizată în baza ecuațiilor Navier-Stokes. A fost efectuat un studiu privind utilizarea diferitor modele pentru diferite zone ale râului, precum și cuplarea modelelor respective. Discretizarea spațială a fost realizată prin metoda elementelor finite. Se prezintă unele teste numerice obținute pentru un anumit sector.

O metodologie de estimare a incertitudinii modelului cu ajutorul metodelor probabilistice a fost aplicată pentru a evalua incertitudinea modelului de calitate a apei pentru evaluarea proceselor care au loc în râurile mici. Evaluarea parametrilor de incertitudine este necesară pentru calibrarea și estimarea impactului acestor incertitudini asupra performanțelor modelului. Metodologia respectivă se aplică la evaluarea stării ecologice a râurilor mici și se focusează pe aspectele cantitative ale modelelor de predicție, incertitudine, precum și sensibilitatea inerentă în predicția caracteristicilor poluării. Metodologia menționată a fost aplicată pentru râul Oreto din Italia. A fost folosit un model matematic care se bazează pe ecuația de advecție-dispersie pentru un flux unidimensional:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} - f(C),$$

unde C este concentrația poluantului; t – timpul; x – deplasarea longitudinală; u – viteza; D_L – coeficientul de difuzie; $f(C)$ – un termen generic pentru reacțiile care implică poluantul C .

Pentru a genera un număr mare de parametri pentru modelul dat a fost aplicată metoda lui Monte Carlo. Simulările au fost efectuate pentru fiecare parametru stabilit pentru comparație cu datele măsurate (BOD, DO, NH₄, and NO₃). Eficiența acestei abordări a fost evaluată cu referire la interpretarea datelor prelevate din teren. Pentru cazul particular al bazinelor hidrografice luate în considerare abordarea utilizată a fost capabilă să identifice principalii parametri care verifică starea de calitate. Pentru a analiza speciile de poluanți, limitele de incertitudine s-au dovedit a fi relativ largi pentru unele rezultate ale modelului și înguste pentru altele. Aceste rezultate arată că modelul are o capacitate limitată de reproducere exactă a evacuărilor de poluanți în mod constant și că estimările respective urmează să fie asociate cu incertitudinile semnificative [86].

În baza sistemului WASP6 (Water Quality Analysis Simulation Program, Version 6.0), care este destinat modelării dinamice a ecosistemelor acvatice, a fost elaborat un model de simulare a calității apei pentru bazinul acvatic Argazi-Miass-Șerșni din Rusia. Ecuația de bază a modelului este cea de advecție-dispersie:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_L + S_B + S_K, \end{aligned}$$

unde C este concentrația indicatorului de calitate a apei; t – timpul, U_x, U_y, U_z – viteza advecției în direcția longitudinală, laterală și în înălțime; E_x, E_y, E_z – coeficienții de difuzie longitudinală, laterală și verticală; S_L – viteza încărcării distribuite; S_B – viteza completării stratului frontier; S_K – viteza transformării totale cinetice.

Obiectul cercetat a fost divizat în segmente, hidrodinamica sectorului studiat fiind calculată cu ajutorul unui modul din WASP6 – DYNHYD5. Calitatea apei a fost determinată reieșind din concentrația în apă a substanțelor – indicatori, care se calculează pentru fiecare segment. Condițiile la limită includ concentrațiile indicilor de calitate a apei la începutul procesului de modelare [49].

Modelarea transportului poluanților în râuri este propusă în lucrarea [2]. Modele matematice dezvoltate se bazează pe forma unidimensională a ecuației de advecție-dispersie în direcția longitudinală:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial(cV_x)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + S_s \pm S_t,$$

unde c este concentrația poluantului; V_x – viteza convectivă a apei; D_x – coeficientul de dispersie longitudinală; S_s – sursa de poluant; S_t – transformările pe care le suferă poluantul.

Au fost propuse modele numerice (implementate în Comsol Multiphysics) și modele analitice (implementate în MATLAB) în scopul determinării transportului poluanților pentru trei râuri de diferite lungimi și magnitudini: Murray Burn din Edinburgh, Scoția; Someș din România și Swale din nord-estul Angliei. Aceste râuri au fost alese datorită disponibilității de date experimentale și a naturii diferite a sistemelor [2].

Problema modelării matematice a dispersiei poluanților în fluviul Dunărea se discută în lucrarea [1]. Modelarea numerică a dispersiei poluanților a fost realizată prin intermediul programului FlexPDE. Acest program se utilizează pentru rezolvarea ecuațiilor cu derivate parțiale prin metoda elementelor finite. Simulările au fost efectuate pe un sector al râului cu lungimea de 143 km și lățimea de 0,5 km. Rezultatele obținute permit evaluarea gradului de poluare a râului [1].

Pentru determinarea calității apei este necesar să cunoaștem viteza particulelor de apă și a coeficienților de dispersie a polanților. Două modele de predicție a concentrației poluanților au fost dezvoltate pentru râul Murray Burn din Edinburgh, Scoția. Modelele se bazează pe ecuația fundamentală de advecție-dispersie și pe capacitatea de a estima viteza și coeficienții de dispersie de-a lungul râului. Pentru Murray Burn asemenea modele de estimare a parametrilor s-au dezvoltat în formă de relații neliniare cu debitul. În rezultatul calibrării și validării modelelor s-a dovedit că modelele au fost relativ corecte pentru unele sectoare de monitorizare și mai puțin adecvate pentru altele [52].

Modelarea matematică și numerică a transportului și dispersiei poluanților chimici se prezintă în lucrarea [74]. Au fost dezvoltate modele unidimensionale, bidimensionale și tridimensionale de advecție-difuzie pentru râurile Choga și Khobistskali din Georgia cu diferite condiții inițiale și la limită. Pentru rezolvarea numerică a modelelor matematice se aplică metoda diferențelor finite. A fost estimat efectul activităților agricole pe malul râului Khobistskali din Georgia privind gradul de poluare al acestui râu [74].

1.2 Stadiul actual al cercetărilor privind calitatea apei în râuri

În Republica Moldova principală sursă de asigurare a populației cu apă potabilă sunt apele de suprafață [25], între care și râul Prut – unul dintre cele mai mari din republică. Acest râu reprezintă un hotar natural între Republica Moldova și România și ocupă 24% din teritoriul rețelei hidrografice a Republicii Moldova [3, 25].

Bazinul hidrografic Prut are o importanță geografică și geopolitică deosebită. O sinteză hidrologică a bazinului hidrografic, care a cuprins caracteristicile hidrografice și cele legate de variația spațio-temporală a resurselor de apă, a fost realizată în lucrarea [27]. Au fost prezentate unitățile structurale din bazinul Prutului și influența geologiei asupra resurselor de apă, aspectele geomorfologice și caracteristica elementelor climatice. A fost caracterizat învelișul de sol și determinate grupele hidrologice de soluri din bazinul râului Prut. A fost arătată evoluția în timp a rețelei hidrometrice de suprafață pentru niveluri și debite în bazinul Prutului pentru sectorul românesc. Au fost descrise proprietățile fizice și chimice ale apelor din bazinul râului Prut [27].

Multiplele efecte negative ce țin de calitatea apei provoacă schimbarea geomorfologiei râului, de aceea albiile râurilor trebuie să se afle permanent în atenția geomorfologilor și specialiștilor din alte domenii științifice. Adâncirea albiei și modificarea geometriei secțiunii transversale pun în pericol structurile ingineresti, provoacă pierderi de terenuri agricole, sărăcire în ihtiofaună, determinată și de neputința peștilor de a-si depune icrele; influențează relația dintre râu și apele freatice, aducând pagube vegetației riverane etc. Au fost evaluate modificările contemporane ale albiei râului Prut pe frontiera românească. Pentru a întreprinde acțiuni adecvate de prevenire și atenuare a efectelor negative în bazinul hidrografic Prut, au fost prezentate informații geomorfologice privind tendințele de evoluție a albiilor pentru râul Prut [22].

Pentru determinarea calității apei un rol important îl constituie factorii biologici. Calitatea apei râului Prut în sectorul Oroftiana din România a fost apreciată în baza indicatorilor biologici. Studiul s-a axat pe analiza planctonului, cu referiri speciale la fitoplancton. S-a constatat că apa râului Prut este slab poluată, în sensul conținutului de materie organică biodegradabilă; procesele de oxidare și mineralizare au o intensitate din ce în ce mai scăzută; CBO nu depășește valorile normale; concentrația oxigenului dizolvat înregistrează valori apropiate de saturație și este tipică diversitatea mare a bacterioficeelor, cloroficeelor și euglenoficeelor [28].

Pentru elaborarea unui model dinamic de caracterizare a calității apei râului Prut pe sectorul românesc au fost folosite metode statistice, cum ar fi variația anuală și sezonieră, analiza tendințelor cu diagrame tip Boxplot, analiza de corelație bivariată Pearson, analiza ANOVA bifactorială, analiza de regresie multiliniară și funcții de interpolare polinomiale, Fourier și Sum of Sine la. Au fost examinate valorile a 22 de parametri fizico-chimici de la trei stații de prelevare situate pe malul românesc al râului Prut: Oancea, Șivița, Giurgiulești. În baza datelor pe o perioadă de opt ani a fost stabilită existența unui factor perturbator pentru calitatea apei pe sectorul dintre Oancea și Șivița [19].

Modelarea calității apei râului Bahlui din bazinul hidrografic Prut a fost realizată cu ajutorul pachetului de programe Sobek. Acest pachet se folosește în modelările hidrologice și de calitate

a apei. Pentru modelarea transportului și dispersiei poluanților a fost cuplat modulul numeric unidimensional de modelare (1DFlow) din cadrul programului Sobek cu modulul unidimensional de calitate a apei (1DWAQ). Pentru modelul hidrodinamic la bază stau ecuațiile lui Saint-Venant, iar pentru modelul de calitate a apei – ecuația de advecție-difuzie. A fost evaluată concentrația indicatorului CBO5 în albia râului. Pentru calibrarea modelului s-au folosit date de debit și concentrații CBO5 pentru perioada anilor 2005-2007 [8].

În perioada anilor 2007-2010 râul Prut a fost poluat cu elemente biogene din grupul azotului, cu fenol, compuși ai cuprului și produse petroliere. În conformitate cu indicii hidrochimici, calitatea apei râului Prut în perioada menționată a corespuns claselor II-III (*curată – moderat poluată*); după elementele hidrobiologice – clasei a III-a (*moderat poluată*), iar conform indicilor perifitonului și zoobentosului (în com. Valea Mare), a fost determinată ca „*moderat poluată-degradată*” [25].

În scopul evaluării calității apei râului Prut periodic se organizează diverse expediții. În urma expediției comune româno-sovietice din anii 1964-1965 s-a constatat că Prutul este cel mai curat râu din Europa Mijlocie, însă între anii 1980-1990 situația s-a agravat.

Conform Raportului din 2004 „Starea mediului în Republica Moldova”, în anii 2000-2004 calitatea apei râului Prut conform indicilor organoleptici și hidrochimici s-a îmbunătățit în comparație cu anii 1980-1990 și nu depășește clasa a III-a [24].

În urma a 9 expediții organizate în anul 2008, s-a depistat poluarea cu substanțe organice greu degradabile, compuși ai azotului și cuprului pentru toți afluenții de stînga ai râului Prut. S-a constatat micșorarea esențială (de la 3 până la 10 ori) a conținutului de elemente biogene, comparativ cu anii 80-90 ai secolului trecut. S-a înregistrat un conținut înalt al substanțelor tensioactive anionice, ceea ce demonstrează poluarea menajeră [23].

În urma expediției din anul 2011 s-a constatat că calitatea apei râului Prut corespunde claselor III și IV (*moderat poluată și poluată*), iar afluenții fluviului sunt puternic poluați cu ioni de amoniu, azotiți, compuși ai cuprului, produse petroliere, fenoli, nitriți și un regim nesatisfăcător de oxigen [7].

În cadrul expediției din 2013, în 15 sectoare ale râului Prut, precum și în gura de vărsare a principalilor afluenți ai săi, au fost realizate investigații privind calitatea apei. Probele de apă prelevate au fost investigate în baza a 53 de indicatori de calitate. Rezultatele obținute au demonstrat o concentrație mai mare a poluanților în aval de orașele mari și la confluența cu afluenții râului. În toate probele prelevate s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru produse petroliere [4].

Modelarea matematică și numerică a transportului și dispersiei poluanților pe unele sectoare ale râului Prut au fost realizate de către autorul lucrării de față. Hidrodinamica râului a fost modelată cu ajutorul sistemului de ecuații Navier-Stokes sub forma Reynolds. La baza procesului de modelare a dispersiei poluanților se află forma bidimensională a ecuației fundamentale de advecție-dispersie, aplicată la curgerea în regim turbulent. Determinarea câmpului de concentrații ale produselor petroliere și nutriților pe un sector al râului Prut din localitatea Costești este descris în lucrarea [6]. Au fost determinate mărimile caracteristice ale curgerii în sectorul studiat și valorile concentrațiilor poluanților simulați în timp și spațiu. Simulările au fost realizate în baza datelor reale cu valori ale concentrațiilor depășind CMA [6].

Rezultatele studiului privind tehnicile software de simulare dinamică a calității apei în sistemele de tip râu sunt prezentate în lucrarea [17]. Se discută pachetele software: WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), QUAL2E, ANSYS CFX (Computational Fluid Dynamics Software), GWLF (Generalised Watershed Loading Function), MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems), WQRRS (Water Quality for River Reservoir Systems), WMS (Watershed Modeling System), SMS (Surface-water Modeling System). A fost realizat un studiu de caz de modelare a evoluției spațio-temporale a produselor petroliere cu utilizarea SMS pe un sector al râului Prut din localitatea orașului Ungheni, unde pe data de 16.05.2013 s-a înregistrat depășirea CMA a poluantului respectiv [17].

În scopul simulării numerice a sistemelor de tip râu a fost analizat programul CARMEL [57], precum și posibilitatea modelării 3D cu ajutorul acestuia. De asemenea, a fost realizată geometria și mesh-ul obiectului studiat [57].

Problema poluării apei cu producția cuprului este examinată în lucrarea [18]. Pentru studiul de caz s-a ales un sector al râului Prut din localitatea orașului Ungheni, dat fiind faptul că în acel timp s-a înregistrat depășirea CMA a produșilor cuprului în sectorul respectiv. Simulările au fost realizate cu ajutorul programului SMS, în regim dinamic. S-a constatat că transportul de poluant devine staționar peste 5 ore și 30 minute din momentul confluenței cu apa [18].

Problema modelării matematice și simulării numerice a procesului de dispersie a fluorului în sistemele de tip râu este expusă în lucrările [78, 82, 83]. Fluorul are un rol deosebit pentru sănătatea umană, fiind un element chimic necesar pentru dezvoltarea corectă a dinților și oaselor scheletului, dar sănătatea umană depinde de o cantitate optimă de fluor. Se prezintă efectele negative ale fluorului asupra organismului uman și rezultatele simulărilor numerice obținute cu ajutorul soft-ului SMS [78, 82, 83].

Problema poluării apei cu fier a fost studiată în lucrarea [79], fiind elucidate consecințele folosirii apei poluate cu fier pentru sănătatea umană, dezvoltat modelul matematic al

hidrodinamicii și cel al dispersiei fierului pentru sistemele acvatice de tip râu, în baza cărora au fost generate modele numerice pentru un sector al râului Prut din orașul Ungheni [79].

Stadiul actual al cercetărilor privind calitatea apei râului Prut a fost realizat de către autorul prezentei lucrări [80]. A fost efectuată o analiză minuțioasă a bibliografiei asupra calității apei râului Prut și argumentată necesitatea dezvoltării și elaborării modelelor matematice de determinare și predicție a calității apei pentru sistemele de tip râu. Este prezentat și un studiu de caz pentru determinarea dispersiei poluantului pentru un sector al râului Prut din localitatea Ungheni, care a fost încărcat cu apă poluată cu produsele petroliere de la afluentul său râul Delia. S-a constatat că în prezent râul Prut este puțin studiat și necesită o investigație mai detaliată [80].

O amplă investigație cu privire la modelarea matematică a calității apei în sistemele acvatice de tip râu este prezentată în lucrarea [84]. Sunt abordate problemele și sursele de poluare a sistemelor menționate; problema modelării matematice a proceselor de transport și dispersie a poluanților și se prezintă o clasificare a modelelor matematice folosite pentru modelarea mediului; se prezintă o analiză a lucrărilor științifice în domeniul abordat cu evidențierea modelelor matematice utilizate [84].

Primul pas în proiectarea unui model matematic bazat pe un sistem de ecuații diferențiale ce descrie procesele fizico-chimice și biologice într-un sistem acvatic de tip râu este analiza parametrilor fizico-chimici. Această analiză poate fi realizată, utilizând funcțiile spline cubice [67]. Se efectuează o analiză cu funcțiile spline a parametrilor menționați pentru râul Suceava și se prezintă evoluția indicatorilor fizico-chimici pentru perioada anului 2011 [67].

Modelarea numerică a calității apei în sistemele de tip râu este descrisă în lucrarea [85]. Se prezintă analiza pachetelor de programe care pot fi utilizate în scopul modelării proceselor în sistemele acvatice și care pot fi clasificate în trei tipuri: bazate pe foi de calcul, pe rezolvarea ecuațiilor diferențiale și pe simulare dinamică. S-a constatat că cel mai optim pentru simularea proceselor în sistemele de tip râu este programul SMS, argumentându-se prin faptul că programul dat gestionează integral procesul de modelare și poate fi aplicat în regim dinamic sau static [85].

1.4. Concluzii la capitolul 1

În baza analizei literaturii în domeniul modelării calității apei în sistemele acvatice de tip râu, deducem următoarele concluzii:

1. Actualitatea problemelor privind calitatea apei sunt confirmate prin actele legislative adoptate la nivel național și internațional.

2. Modelarea matematică și numerică a evoluției spațio-temporale a sistemelor de tip râu în vederea estimării parametrilor calității apei reprezintă un factor decisiv în determinarea calității apei cu o acuratețe mai mare.

3. Rîurile reprezintă un sistem acvatic complex, de aceea modelarea lor necesită un studiu detaliat pentru fiecare caz în parte.

4. Baza teoretică pentru modelarea matematică a calității apei în sistemele de tip râu o constituie sistemul de ecuații diferențiale Navier-Stokes și ecuația de advecție-dispersie.

5. În unele cazuri modelarea matematică a calității apei în sistemele de tip râu poate fi realizată cu ajutorul ecuațiilor Streeter-Phelps și Saint-Venant, rețelelor neuronale și a metodelor statistice.

6. Cele mai bune rezultate pentru determinarea calității apei se obțin prin îmbinarea tehnologiilor GIS, a modelelor matematice, a bazelor de date și a diferitor pachete de programe specializate.

7. Pentru generarea modelelor numerice se folosesc diferite softuri, cum ar fi, de exemplu, HEC-RAS (Hydrological Engineering Centers River Analysis System), CE-QUAL-W2, WMS (Watershed Modeling System), WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), Visual C++ cu utilizarea MFC (Microsoft Foundation Classes), FlexPDE, COMSOL Multiphysics, Delft3D-FLOW, SMS (Surface Water Modeling System) – modulele RMA2 și RMA4 ș.a.

8. Cel mai frecvent utilizat pachet de programe în scopul simulării numerice a sistemelor de tip râu este SMS (Surface Water Modeling System), dat fiind faptul că permite gestionarea întregului proces de modelare: de la importul de date pînă la vizualizarea și analiza soluțiilor.

9. Generarea modelelor numerice în baza modelelor matematice constituie un instrument important în predicția și managementul calității apei.

10. Starea actuală a cercetărilor în domeniul modelării calității apei râului Prut este nesatisfăcătoare și, prin urmare, acest sistem acvatic necesită un studiu mai aprofundat.

În baza acestor concluzii, s-au formulat scopul și obiectivele lucrării:

Scopul: estimarea parametrilor calității apei în sistemele de tip râu prin determinarea evoluției spațio-temporale a proceselor de transport și dispersie a poluanților în baza modelării matematice, metodelor numerice și produselor program cu aplicarea rezultatelor obținute pentru râul Prut.

Obiectivele de bază:

1. Determinarea aspectelor cu privire la regimul de curgere turbulentă în sistemele de tip râu.
2. Modelarea matematică prin ecuațiile Navier-Stokes și a ecuației dispersiei a evoluției spațio-temporale a poluanților în sistemele de tip râu.

3. Modelarea și simularea numerică care au la bază tehnologia CFD, tehnica medierii Reynolds și softuri specializate pentru determinarea parametrilor caracteristici transportului poluanților și a calității apei.
4. Studiul calității apei în râul Prut din ultimii ani.
5. Elaborarea produsului program în scopul determinării clasei de calitate a apei.
6. Crearea bazei de date cu informații referitoare la concentrațiile mediei anuale ale parametrilor calitatății apei și depășirilor CMA în perioada anilor 2008-2013 pentru opt sectoare ale râului Prut: s. Criva, s. Șirăuți, s. Braniște, or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești.
7. Elaborarea geometriei și a rețelelor de calcul pentru sectoarele menționate.
8. Simularea CFD a transportului și dispersiei poluanților în sectoarele studiate ale râului Prut.
9. Analiza rezultatelor simulărilor numerice.
10. Calibrarea și validarea modelelor numerice pentru transportul și dispersia poluanților.
11. Implementarea rezultatelor obținute.

2. MODELAREA MATEMATICĂ ȘI NUMERICĂ A TRANSPORTULUI ȘI DISPERSIEI POLUANȚILOR ÎN SISTEMELE DE TIP RÎU

2.1. Aspectele fizice privind mișcarea unui fluid

Proprietățile generale ale fluidelor

Fluidele reprezintă corpuri materiale care se caracterizează prin fluiditate, mobilitate mare și deformare ușoară. Se clasifică în două forme: lichide și gaze. Lichidele sunt foarte puțin compresibile, nu au formă proprie, dar au volum propriu [14].

Fluidul care are aceleași proprietăți în toate punctele se numește omogen, iar dacă are aceleași proprietăți în toate direcțiile se numește izotrop.

Proprietățile fizice ale fluidelor se descriu prin intermediul diferitor obiecte matematice: scalari, vectori, tensori. Proprietățile fizice ale fluidelor sunt: *densitatea, volumul specific, greutatea specifică, compresibilitatea izotermă, dilatarea termică, adeziunea la suprafețe solide, vâscozitatea, conductibilitatea termică, difuzia masică.*

Una din cele mai importante caracteristici ale fluidelor este *densitatea* ρ . Într-un spațiu ocupat de fluid se formează un câmp scalar al densității. Dacă densitatea are valori diferite în orice punct al fluidului, atunci fluidul se numește neomogen. Pentru un fluid neomogen densitatea se definește ca limita raportului dintre masa și volumul de fluid din jurul unui punct considerat atunci când volumul tinde spre 0:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV},$$

unde Δm este masa unui element de volum dV .

Fenomenul de neomogenitate poate fi explicat prin conținutul în apă al diferitor impurități, diferența de temperatură în anumite zone ale lichidului ș.a.

Dacă densitatea are aceeași valoare în orice punct al fluidului, atunci fluidul se numește omogen. Pentru un fluid omogen

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Odată cu creșterea temperaturii densitatea fluidului scade. Variația densității în funcție de temperatură este redată în formula:

$$\rho_{\theta} = \frac{\rho_0}{1 + \beta_t \cdot \theta},$$

unde ρ_0 este densitatea la 0° C; ρ_{θ} – densitatea la temperatura θ ; β_t – coeficientul de dilatare în volum al fluidului.

Lichidele se consideră incompresibile din cauza că variația densității cu modificarea presiunii este practic constantă. Pentru apă a fost înregistrată densitatea maximă de 1 kg/m^3 în jurul valorii de 4°C .

Volumul specific (volum masic) este inversul densității:

$$v = \frac{1}{\rho}.$$

Greutatea specifică pentru un fluid neomogen este limita raportului dintre greutatea de fluid și volumul de fluid din jurul unui punct considerat atunci când volumul tinde spre 0:

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} = \frac{dG}{dV}.$$

Pentru un fluid omogen:

$$\gamma = \frac{G}{V},$$

unde γ este greutatea unității de volum.

Densitatea și greutatea specifică sunt legate prin relația:

$$\gamma = \rho \cdot g.$$

Proprietatea de variație a densității (volumului) fluidelor sub influența variației presiunii se numește *compresibilitatea izotermă* și se caracterizează prin formula:

$$\frac{\Delta V}{V} = -\alpha \Delta p,$$

unde ΔV este variația volumului; Δp – variația presiunii; α – coeficientul de compresibilitate izotermă, iar semnul minus semnifică faptul că odată cu creșterea presiunii volumul scade.

În momentul creșterii presiunii din jurul fluidului are loc o comprimare rapidă a acestuia. Aceasta se realizează la o temperatură constantă și de aceea compresibilitatea este izotermă.

Dilatarea termică arată dependența variației volumului de fluid de temperatură:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta_t \cdot \Delta T,$$

unde V_0 este volumul inițial de fluid.

S-a constatat că odată cu creșterea temperaturii are loc creșterea volumului de fluid.

Adeziunea la suprafețe solide arată comportamentul fluidului în imediata apropiere a unei suprafețe solide. Suma forțelor elementare de presiune reprezintă acțiunea fluidului asupra unui perete solid:

$$d\vec{F}_p = -p \cdot \vec{n} dS,$$

unde dS este suprafața elementară a peretelui orientat spre fluid; \vec{n} – normală la suprafață [13].

O altă caracteristică importantă a lichidelor este *vîscozitatea*. În procesul de mișcare a fluidelor apar forțe sau tensiuni tangențiale care frînează mișcarea și modifică distribuția vitezelor. *Vîscozitatea* reprezintă procesul de transmitere a mișcării în fluid și semnifică intensitatea frecării care apare la curgerea fluidului. Este determinată de eforturile tangențiale care apar în procesul mișcării. Efortul tangențial τ a fost determinat de către Newton, care a considerat că fluidul curge în straturi paralele în aceeași direcție, cu viteze care se schimbă de la un strat la altul (figura 2.1) [10].

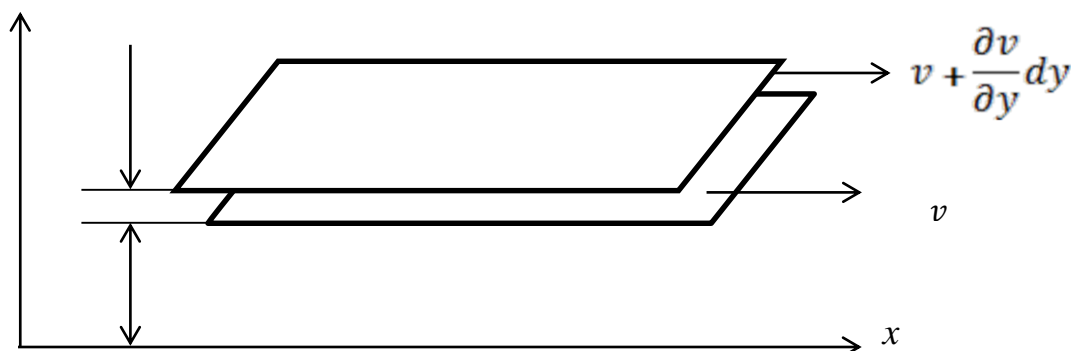


Fig. 2.1. Schema curgerii fluidului în straturi paralele.

S-a constatat că efortul tangențial este proporțional cu gradientul de viteze:

$$\tau = \eta \frac{\partial v}{\partial y},$$

unde η este coeficientul de vîscozitate dinamică, care depinde de natura fluidului și de temperatură. Lichidele care se comportă conform legii lui Newton se numesc lichide newtoniene.

Raportul dintre vîscozitatea dinamică și densitate se numește vîscozitate cinematică:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}.$$

Odată cu creșterea temperaturii vîscozitatea cinematică scade pentru lichide și crește pentru gaze. Dacă la mișcarea fluidului nu se ține cont de vîscozitate și de forțele de frecare care apar, atunci fluidul se numește *ideal*. Dacă la cercetarea dinamicii fluidului se ține cont de vîscozitate și forțele de frecare care apar, atunci fluidul se numește *real* [106].

Conductibilitatea termică reprezintă procesul de transmitere a căldurii de către fluid, care se află în mișcare. Valoarea fluxului termic transmis de la un strat mai cald la un strat mai rece se calculează cu ajutorul formulei lui Fourier:

$$\varphi_k = -k_q \frac{\Delta\theta}{h},$$

unde k_q este coeficientul de conductibilitate termică; θ – temperatura; h – distanța dintre straturi.

Difuzia masică arată procesul de răspândire a unui fluid în interiorul unui alt fluid. Fluxul masic se calculează conform legii lui Fick:

$$\varphi_m = k_m \cdot \frac{\Delta C}{h},$$

unde k_m este coeficientul de difuzie masică; C – concentrația fluidului ce se răspândește; h – distanța de răspândire a fluidului [13].

Numărul Reynolds

Natura curgerii fluidelor a fost studiată experimental în anul 1883 de către fizicianul american Osborne Reynolds (1842-1912). În experimentele sale, fluxul de apă era colorat la intrarea într-un tub de sticlă și era urmărit procesul de curgere. S-a constatat că la evoluția colorantului este influențată viteza medie de curgere prin tubul de sticlă, diametrul interior al tubului, precum și vîscozitatea cinematică a lichidului. A fost înregistrată valoarea critică a parametrului adimensional cu privire la stabilirea regimurilor de curgere (Figura 2.2):

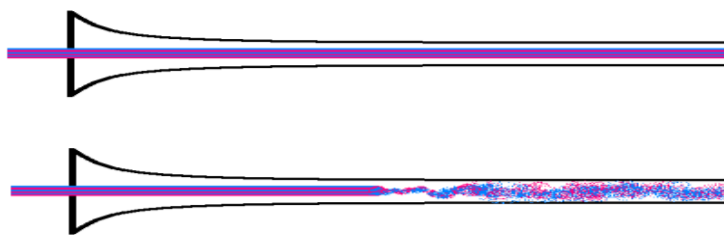


Fig. 2.2. Experimentul lui Reynolds.

În continuare acest parametru a primit denumirea de *numărul Reynolds*:

$$Re = \frac{\rho v L}{\nu},$$

unde ρ este densitatea fluidului; v – viteza medie de curgere a fluidului prin tub; ν – vîscozitatea cinematică; L – dimensiunea caracteristică aferentă curgerii, de exemplu, diametrul tubului prin care curge fluidul.

Acest număr este o mărime adimensională și reprezintă raportul dintre forțele de inerție, care acționează în fluid, și forțele de frecare. În funcție de valoarea numărului Reynolds, curgerea fluidelor se clasifică în trei regimuri: laminar, tranzitoriu și turbulent.

Valoarea numărului Reynolds depinde de condițiile în care are loc curgerea – de exemplu, curgerea în tub rotund, curgerea în jurul unei sfere, rugozitatea pereților ș. a. S-a constatat experimental că pentru lichide, dacă $Re < 2000$, atunci regimul de curgere este laminar, iar pentru $Re > 3000$ curgerea este turbulentă.

Deseori trecerea de la regimul laminar la cel turbulent se realizează printr-un regim de tranziție. Acest regim este instabil, în care curgerea fluidelor cu straturi paralele poate trece la o curgere dezordonată a fluidelor în diferite momente ale curgerii. Pentru acest regim $2000 < Re < 3000$ [106].

Regimul laminar

Cuvântul „laminar” provine de la latinescul *lamina*, care înseamnă *foiță, lamelă*. Acest regim se caracterizează printr-o structură ordonată: fluidul curge în straturi paralele, lipsește procesul de amestec dintre particulele straturilor vecine. Trajectoriile particulelor de fluid au o formă regulată (figura 2.3).

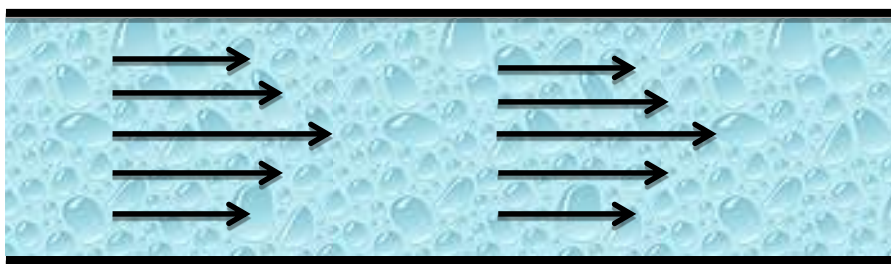


Fig. 2.3. Curgerea laminară.

Regimul laminar se înregistrează la curgerea lichidelor cu o vâscozitate foarte mare sau cu viteze suficient de mici. De asemenea, acest regim se observă și la învăluirea lentă cu lichid a corpurilor de dimensiuni mici.

Transportul impulsului în masa de fluid are loc printr-un mecanism molecular atunci când straturile au viteze diferite. Tensiunile tangențiale apărute la elementele de suprafață care separă două straturi de fluid sunt determinate de vâscozitatea fluidului. Această curgere se numește staționară [14].

Vom examina mișcarea laminară a unui fluid real printr-o conductă orizontală. Vom considera un tub de curent cilindric cu raza r și lungimea l . Forța care întreține curgerea cu viteza constantă se determină ca:

$$F = \eta \frac{dv}{dr} S,$$

unde $\frac{dv}{dr}$ este gradientul de viteze, iar S – suprafața straturilor de fluid.

Forța de rezistență (frecare) se definește ca:

$$F_f = -\eta \frac{dv}{dr} S.$$

Viteza este distribuită parabolic și are valoarea maximă pe axul conductei (figura 2.4).

$$v_{max} = \frac{\Delta p r_0^2}{4\eta l},$$

unde Δp este diferența de presiune între punctul situat în amonte și punctul situat în aval; η – vîscozitatea dinamică care produce frecările; l – lungimea tubului de curent.

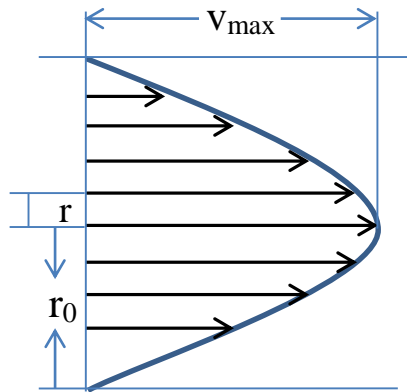


Fig. 2.4. Distribuirea vitezei.

Pentru o rază arbitrară viteza stratului de fluid este [14, 106]:

$$v = \frac{\Delta p r^2}{4\eta l}.$$

Regimul turbulent

Cuvîntul „turbulent” provine de la latinescul *turbulentus*, care înseamnă *furtunos*, *haotic*. Acest regim se caracterizează printr-o structură dezordonată a straturilor: nu se păstrează paralelismul straturilor, apar mișcări dezordonate ale straturilor, care se amestecă și formează vârtejuri (figura 2.5) [44, 94, 103].

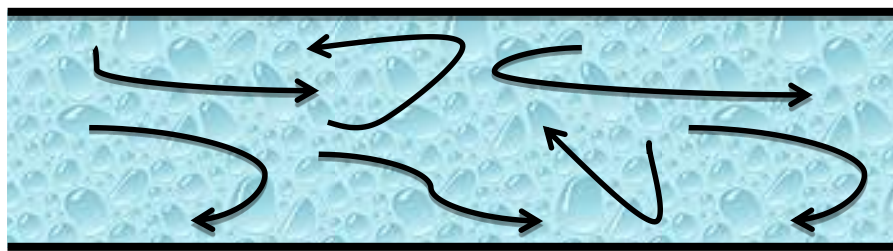


Fig. 2.5. Curgerea turbulentă.

Particulele de fluid se deplasează cu viteze diferite ca mărime și sens. Transportul impulsului în masa de fluid are loc atât printr-un mecanism molecular, cât și turbulent. Liniile de curent au o formă neregulată, iar componentele vitezei și presiunii pulsează neregulat în jurul valorii medii.

Observațiile fenomenului de turbulență revin la Leonardo da Vinci, fapt ce rezultă din una dintre schițele lui. În domeniul turbulenței au fost realizate multiple cercetări, care pot fi găsite în lucrările Hagen (1839), O. Reynolds (1883), Lumley și Panofsky (1964), Pope (2000), Mathieu și Scott (2000), Betcelor (2000). O contribuție considerabilă în dezvoltarea teoriei turbulenței a fost adusă de către A. Kolmogorov în 1941 prin publicarea a trei lucrări științifice. Teoria propusă a fost denumită „teoria K41”. Mai târziu, în anii 1961-1962, Kolmogorov publică alte două lucrări, denumite „teoria K62”. În prezent, modelul turbulenței propus de către Kolmogorov este cel mai frecvent utilizat [87].

Conform teoriei lui Kolmogorov, mișcarea turbulentă are loc în rezultatul suprapunerii structurilor turbulente de diverse scări (de timp, de lungimi, de viteze). O structură turbulentă reprezintă o mișcare de o anumită dimensiune, care are o formă tridimensională și este deformată spațial, posedă valori caracteristice pentru viteză și timp. Mecanismul principal de generare a energiei turbulente este deformarea structurilor. Interacțiunea între structuri se efectuează prin fenomenul de cascadă energetică. În interiorul structurilor mari se formează structuri mici, care, la rândul lor, generează structuri și mai mici și așa mai departe, realizându-se mecanismul de transfer a energiei în cascadă.

Odată cu micșorarea scării de lungimi descrește și numărul Reynolds, iar vâscozitatea transformă energia cinetică în căldură. Procesul de disipație a energiei cinetice se intensifică, iar forțele de inerție devin neglijabile (figura 2.6).

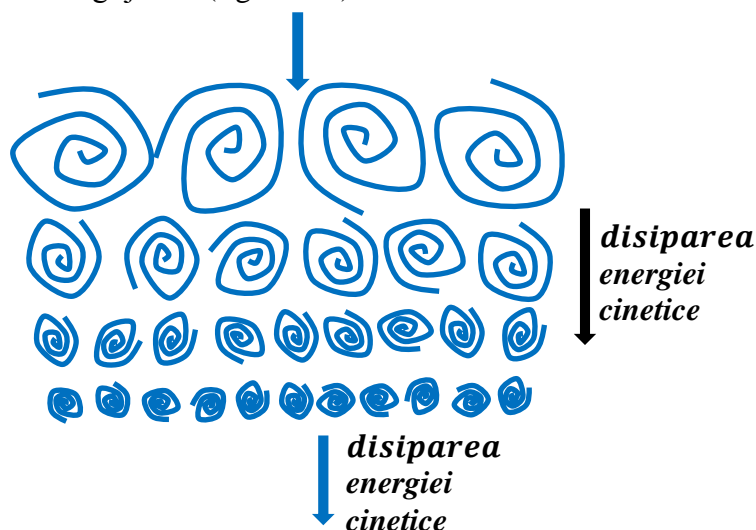


Fig. 2.6. Mecanismul de transfer a energiei în cascadă.

Kolmogorov a formulat ipoteza că pentru regimul turbulent cu numărul Reynolds extrem de mare regimul este universal și se determină numai prin viteza medie de disipare a energiei ε și

coeficientul de vîscozitate ν . Această ipoteză permite de a estima scările care corespund structurilor mici, așa numite scarile Kolmogorov, cu scara de timp

$$\tau = (\nu/\varepsilon)^{1/2}$$

scara de lungimi

$$\eta = (\nu^3/\varepsilon)^{1/4}$$

și scara de viteze

$$v = (\nu\varepsilon)^{1/4},$$

unde ε este rata de disipație turbulentă.

Pentru scările Kolmogorov s-a constatat:

1. Numărul Reynolds este egal cu unitatea:

$$\frac{v\eta}{\nu} = 1.$$

Această înseamnă că mișcarea structurilor mici este destul de vîscoasă.

2. Procesul de disipație turbulentă depinde numai de caracteristicile structurilor mari.

Experimental a fost demonstrată teoria lui Kolmogorov cu privire la turbulența izotropă locală. Pe curba spectrului unidimensional longitudinal s-a stabilit prezența sectorului liniar, care se descrie conform legii:

$$\Phi = C \left(k/k_k \right)^{-5/3},$$

unde C este constanta Kolmogorov; k – numărul de undă; $k_k = 1/\eta_k = (\varepsilon/\nu^3)^{1/4}$ – numărul de undă a lui Kolmogorov.

Prezența sectorului liniar demonstrează existența unui subdomeniu inerțial, în care vîscozitatea este neglijabilă. Pe acest sector densitatea spectrală se determină conform legii:

$$E(k) = C\varepsilon^{2/3}k^{-5/3},$$

unde E este energia cinetică totală ca funcție de k ; ε – rata de disipație a energiei cinetice.

Această lege se mai numește legea „cinci treimi”, demonstrarea experimentală a căreia constituie unul dintre cele mai importante rezultate privind dezvoltarea teoriei turbulenței în secolul XX [34, 41].

2.2. Mărimi caracteristice mișcărilor fluidelor

Mișcarea fluidelor newtoniene se descrie cu ajutorul ecuației de continuitate și ecuațiilor Navier-Stokes, care pot fi aplicate la orice tip de mișcare, indiferent de natura fluidului. Aceste

ecuații se bazează pe legea conservării masei și legea a II-a a lui Newton. Pentru a obține ecuațiile menționate este necesar să cunoaștem noțiunile caracteristice mișcării fluidelor.

Mișcarea unui fluid se caracterizează prin distribuția vetezelor, temperaturii și a presiunii în masa de fluid. Acești parametri sunt dependenți de forțele care acționează asupra fluidului, forma spațiului de curgere ș. a. Pentru a descrie mișcarea fluidelor prin parametrii menționați, se folosesc noțiuni și mărimi specifice mișcării fluidelor: *câmpul*, *traiectoria unei particule de fluid*, *linia de curent*, *tubul de curent*, *secțiunea unui tub de curent*, *viteza*, *debitul*, *viteza medie* [14].

În cele ce urmează vor fi prezentate succint noțiunile menționate.

Distribuția temporală a valorilor unei mărimi în toate elementele finite ale sistemului considerat reprezintă *câmpul*. *Traiectoria* este curba formată de particula de fluid aflată în mișcare în evoluția sa temporală (figura 2.7 (a)). *Linia de curent* reprezintă o curbă imaginară într-un fluid cu proprietatea că în fiecare punct al ei, la momentul t , vectorul vitează v este tangent la aceasta (figura 2.7 (b)). Această linie, spre deosebire de traiectorie, reunește diferite particule, în timp ce traiectoria se referă la aceeași particulă [10]. *Tubul de curent* este suprafața formată din ansamblul liniilor de curent sprijinite pe o curbă închisă, care nu este linie de curent (figura 2.7 (c)).

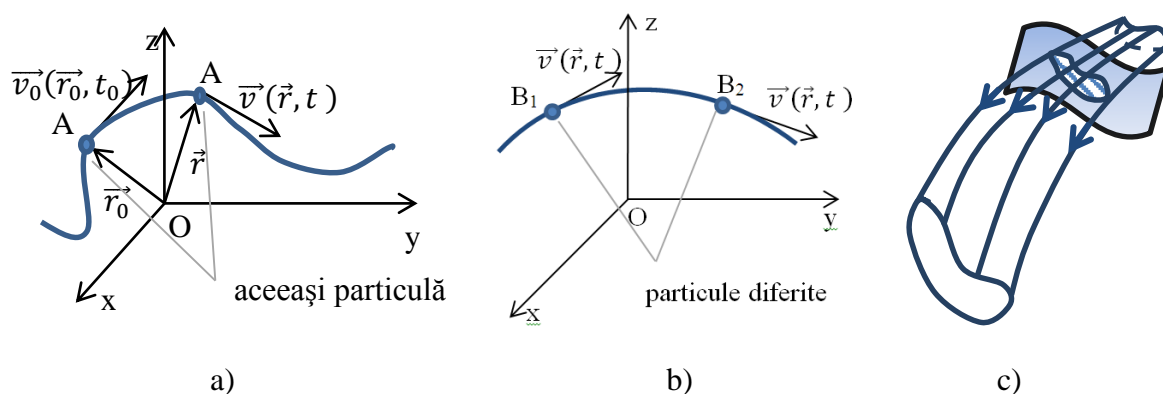


Fig. 2.7. Traiectoria particulei de fluid (a), linia de curent (b) și tubul de curent (c).

Dacă mișcarea fluidului este nestaționară, atunci forma fluidului se modifică, în caz contrar rămâne constantă.

Secțiune transversală a unui tub de curent este suprafața limitată de tubul de curent, normală pe toate liniile de curent care o intersectează. Dacă liniile de curent sunt paralele între ele, atunci secțiunea de curgere este *dreaptă*, în caz contrar secțiunea de curgere se numește *curbă* [10, 46].

Limita deplasării în timp a particulei de fluid pe direcția considerată reprezintă *viteza* particulei. De exemplu, componenta vitezei în direcția x se determină în felul următor:

$$v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}.$$

Debitul de fluid se numește cantitatea de fluid care trece într-o unitate de timp printr-o suprafață S . Se folosește debitul volumic – Q , debitul masic – Q_m și debitul de greutate – Q_G , care sunt unite prin relația:

$$Q = \frac{Q_m}{\rho} = \frac{Q_G}{\gamma}.$$

În practică cel mai frecvent se utilizează debitul volumic Q . Pentru a determina expresia debitului volumic vom considera curgerea fluidului printr-o secțiune transversală A . Vom nota cu dA un element al secțiunii transversale prin care fluidul se scurge cu viteza \vec{v} , care formează unghiul α cu normala \vec{n} la element (figura 2.8).

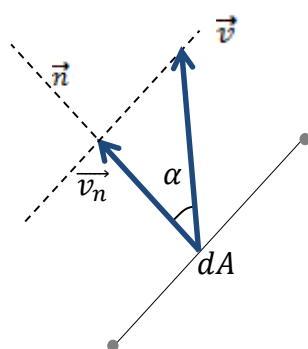


Fig. 2.8. Un element al secțiunii transversale.

Debitul volumic este:

$$Q = \int_A v dA \cdot \cos\alpha = \int_A v_n dA.$$

Debitului volumic îi corespunde o *viteză medie*, care este o viteză constantă pentru orice punct al secțiunii transversale de curgere. Această viteză este orientată în sensul mișcării și se determină conform relației:

$$v_m = \frac{Q}{A}.$$

2.3. Modelarea matematică a curgerii turbulente

Majoritatea curgerilor care se petrec în natură au un caracter mixt, o componentă importantă a căroră este turbulența. O curgere turbulentă poate fi privită ca o curgere nestaționară cu o structură dezordonată. Există mai multe definiții ale turbulenței, dar toate acestea reflectă doar o parte din proprietățile acestui fenomen complex [87]. De exemplu, potrivit lui P. Brădșou, turbulența este o curgere nestaționară tridimensională a lichidului, în care din cauza creării și deformării vârtejurilor se creează o distribuție continuă a pulsațiilor haotice ale parametrilor de

curgere, așa ca viteza, presiunea ș. a. într-un interval de lungimi de unde de la cele minime, determinate de forțele vâscoase, până la maxime, determinate de condițiile la limită [30].

Caracteristicile cele mai esențiale ale fenomenului de turbulență sunt următoarele: neregularitatea, caracterul difuziv, numărul Reynolds mare, tridimensionalitatea, caracterul disipativ, independența de natura fluidului [94, 35].

Curgerile turbulente ale fluidelor reale se descriu cu ajutorul sistemului de ecuații Navier-Stokes, care este compus din ecuațiile de mișcare Navier-Stokes și ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v}\nabla\mathbf{v} = \mathbf{f} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\Delta\mathbf{v}, \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho\mathbf{v}) = 0, \quad (2.2)$$

unde ∇ este operatorul Hamilton; Δ – operatorul Laplace; t – timpul; ν – coeficientul de vâscozitate; ρ – densitatea; p – presiunea; \mathbf{v} – viteza fluidului; \mathbf{f} – forțele exterioare (pe unitatea de volum) care acționează asupra fluidului.

Partea stângă a ecuațiilor Navier-Stokes reprezintă forțele de inerție unitare, iar partea dreaptă – forțele masice, forțele de presiune și, respectiv, forțele de frecare vâscoase.

Pentru majoritatea curgerilor turbulente s-a stabilit că raportul dintre dimensiunile caracteristice ale vârtejurilor mari și mici pentru spectrul vârtejurilor turbulente este:

$$\frac{l}{\eta} \sim Re^{3/4},$$

unde l reprezintă cea mai mare scară a curgerii turbulente, care se numește scara integrală; η – scara cea mai mică (scara Kolmogorov); Re – numărul Reynolds [103].

Reieșind din acest fapt, identificarea tuturor soluțiilor pentru ecuațiile Navier-Stokes constituie o mare problemă care nu poate fi rezolvată, chiar dacă în acest sens ar fi utilizate supercalculatoare [103].

Pentru a reduce numărul gradelor de libertate spațio-temporale, în scopul modelării curgerilor turbulente se folosesc două metode: soluționarea ecuațiilor Navier-Stokes conform abordării lui Reynolds și descompunerea filtrată a ecuațiilor Navier-Stokes [103, 37, 41].

Metoda lui Reynolds

Pentru aplicarea ecuațiilor Navier-Stokes la curgerea turbulentă Reynolds a propus în 1894 de a descompune valorile instantanee ale tuturor mărimilor hidrodinamice care caracterizează această curgere ca suma componentelor mediate și fluctuante. În acest caz ne vom putea limita la studiul valorilor mediate, care relativ ușor variază în timp și spațiu și care deseori prezintă cel mai mare interes pentru practică. De exemplu, descompunerea Reynolds a vitezei este:

$$u(x, t) = \overline{u(x, t)} + u'(x, t),$$

unde $\overline{u(x, t)}$ este viteza medie temporală; $u'(x, t)$ – fluctuația vitezei.

În mod similar se obțin descompuneri pentru orice mărime care caracterizează curgerea turbulentă. Reynolds a demonstrat că în procesul de curgere turbulentă apar tensiuni suplimentare turbulente determinate de pulsațiile vitezei, care au valori mai mari decât tensiunile tangențiale moleculare în masa fluidului în procesul de curgere. Ținând cont de acest fapt, O. Reynolds a propus ca la sistemul de ecuații Navier-Stokes să fie adăugați termenii suplimentari care reprezintă tensiuni unitare suplimentare datorate turbulenței. În rezultat se obțin ecuațiile Navier-Stokes mediate în maniera Reynolds (RANS – Reynolds Averaged Navier-Stokes):

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_i} = 0,$$

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \overline{u_i u_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial^2 \overline{u}_i}{\partial x_i \partial x_j} = 0,$$

unde termenul nelinier $\overline{u_i u_j}$ se descompune după cum urmează:

$$\overline{u_i u_j} = \overline{u}_i \overline{u}_j + \overline{u'_i u'_j}.$$

Termenii $\overline{u'_i u'_j}$ semnifică tensiunile suplimentare (tensiuni turbulente, tensiuni Reynolds):

$$\tau_{ij} = -\overline{u'_i u'_j}.$$

La transportul impulsului contribuie partea anizotropică a tensorului tensiunilor Reynolds:

$$\tau_{ij}^R = -\overline{u'_i u'_j} + \frac{1}{3} \overline{u_i u_i} \delta_{ij},$$

unde δ_{ij} semnifică simbolul lui Kronecker: $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{dacă } i = j \\ 0, & \text{dacă } i \neq j \end{cases}$.

Pentru a închide sistemul, este necesar de a determina șase componente necunoscute ale tensorului deviatoric a tensiunilor Reynolds τ_{ij}^R . Această problemă poate fi rezolvată prin utilizarea diferitor modele standard [94, 56, 37].

Medierea ecuațiilor Navier-Stokes prin descompunerea filtrată

Această metodă constă în filtrarea soluțiilor a ecuațiilor Navier-Stokes prin utilizarea unui operator de filtrare. În rezultat se evidențiază structurile turbulente cu o anumită scară. Soluțiile care nu au fost evidențiate prin operația de filtrare se modelează cu un alt model suplimentar.

Viteza în această metodă se descompune similar descompunerii Reynolds:

$$u(x, t) = \overline{u(x, t)} + u'(x, t).$$

Însă în această metodă $\overline{u(x,t)}$ conține toate frecvențele spectrului pînă la o anumită scară de lungimi. În rezultatul aplicării acestei metode la ecuațiile Navier-Stokes se obțin ecuațiile Navier-Stokes filtrate:

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_i} = 0,$$

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \overline{u_i u_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial^2 \overline{u}_i}{\partial x_i \partial x_j} = 0.$$

Termenul nelinier $\overline{u_i u_j}$ duce la apariția tensorului SGS (sub-grid-scale):

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \overline{u}_i \overline{u}_j,$$

forma concretă a căruia depinde de tipul filtrului ales.

Se observă o similitudine între ecuațiile mediate în maniera Reynolds și ecuațiile filtrate [41].

Abordarea Boussinesq

Prezența tensorului Reynolds în sistemul de ecuații Navier–Stokes mediate în maniera Reynolds sau tensorul SGS în sistemul de ecuații Navier-Stokes filtrate semnifică că sistemele de ecuații menționate nu sunt închise. Pentru a închide aceste sisteme de ecuații, este necesar de a stabili legătura dintre tensorul tensiunilor turbulente (tensorul Reynolds sau tensorul SGS) și tensorul vitezelor mediate de deformații:

$$\tau_{ij}^R = \rho \begin{pmatrix} \overline{u'^2} & \overline{u'v'} & \overline{u'w'} \\ \overline{v'u'} & \overline{v'^2} & \overline{v'w'} \\ \overline{w'u'} & \overline{w'v'} & \overline{w'^2} \end{pmatrix}.$$

Conform modelului Boussinesqu, curgerea turbulentă se consideră o curgere a fluidului newtonian. Analogic cu curgerea fluidului newtonian, formula lui Boussinesqu pentru curgerea turbulentă presupune o relație liniară a tensorului tensiunilor turbulente cu tensorul vitezelor mediate de deformații:

$$\frac{\tau_{ij}^R}{\rho} = -\frac{1}{3} \overline{v'_i v'_j} \cdot \delta_{ij} + \nu_T \cdot \left(\frac{\partial \overline{v}_j}{\partial S_k} + \frac{\partial \overline{v}_k}{\partial S_j} \right),$$

unde ν_T este coeficientul cinematic al vîscozității turbulente; δ_{ij} – simbolul Kronecker.

Abordarea Boussinesqu permite de a descrie o gamă largă de curgeri, dar totodată această abordare nu este universală, fiind invalidată pentru curgerile în care câmpul de viteze este neomogen – de exemplu, partea externă a stratului limită ș. a. [56, 37].

Modelarea matematică a curgerii turbulente în sistemele de tip râu

Curgerea în sistemele de tip râu reprezintă o curgere turbulentă, care se descrie cu ajutorul sistemului de ecuații Navier-Stokes, compus din ecuațiile Navier-Stokes (2.1) și ecuația de continuitate (2.2). Pentru aplicarea acestor ecuații la sistemele de tip râu se vor lua în considerație următoarele ipoteze simplificatoare:

- fluidul incompresibil newtonian cu suprafață liberă;
- neglijarea accelerației pe direcția verticală;
- echilibrul hidrostatic, conform căruia presiunea este echilibrată de forța gravitațională:

$$\nabla p + \rho g = 0, \quad (2.3)$$

unde p este presiunea; ρ – densitatea apei (kg/m^3);

- acțiunea accelerației gravitaționale:

$$G = -g\nabla h, \quad (2.4)$$

componentele căreia în direcțiile x și y , respectiv, sunt:

$$G_x = -g \frac{\partial h}{\partial x}, \quad (2.5)$$

$$G_y = -g \frac{\partial h}{\partial y}, \quad (2.6)$$

unde h este normala la suprafața apei de la suprafața pământului, care în cazul dat reprezintă adâncimea apei;

- rotația Pământului, care se ia în calcul prin efectul Coriolis, datorat forței Coriolis F_c .

Componentele accelerației Coriolis a_c în direcțiile x și y , respectiv, sunt:

$$a_{cx} = 2\omega u \sin\varphi, \quad (2.7)$$

$$a_{cy} = -2\omega v \sin\varphi, \quad (2.8)$$

unde ω este viteza unghiulară de rotație a Pământului (rad/s); u – viteza locală în direcția x (m/s); v – viteza locală în direcția y (m/s); φ – latitudinea locului;

- transferul de energie prin rugozitate. Schimbarea rugozității asigură un anumit control asupra vitezei rezultante și a direcției fluidului. Tensiunea de forfecare inferioară sau tensiunea tangențială τ se definește ca:

$$\tau = \rho g R S, \quad (2.9)$$

unde R reprezintă raza medie hidraulică; S – panta (înclinarea) albiei.

Rugozitatea se calculează cu ajutorul ecuației Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}, \quad (2.10)$$

unde V este viteza medie a particulelor apei în secțiunea transversală, iar n – valoarea de rugozitate Manning.

Luând în considerație că rază medie hidraulică $R \approx h$ și rezolvând ecuația Manning pentru S , vom obține:

$$\tau = \rho g n^2 \frac{V^2}{R^{1/3}} \quad (2.11)$$

sau în direcțiile x și y :

$$\tau_x = \rho g n^2 \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \quad (2.12)$$

$$\tau_y = \rho g n^2 \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}; \quad (2.13)$$

- efectele vântului, care se iau în calcul prin tensiunea de forfecare W a vântului. Tensiunea de forfecare a vântului la suprafața apei este cauzată de frecarea dintre aerul și apa în mișcare. În direcțiile x și y :

$$W_x = \xi V_a^2 \cos\psi, \quad (2.14)$$

$$W_y = \xi V_a^2 \sin\psi, \quad (2.15)$$

unde ξ este coeficientul empiric referitor la frecarea cu aerul; V_a – viteza vântului; ψ – direcția vântului (se măsoară în grade în direcția inversă acelor de ceasornic de la axa pozitivă x).

Reieșind din aspectele menționate, ecuația (2.1) devine:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\nabla v + F_c = W - \frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\Delta v + \tau \quad (2.16)$$

sau, luând în considerație (2.3), ecuația (2.16) devine:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\Delta v + F_c = W + G + \nu\Delta v + \tau. \quad (2.17)$$

Reieșind din (2.4), ecuația (2.17) ia forma:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\Delta v + F_c = W - g\nabla h + \nu\Delta v + \tau. \quad (2.18)$$

În direcțiile x și y , cu luarea în considerație expresiilor (2.5) – (2.15), ecuația (2.18) ia forma:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + 2\omega u \sin\varphi = \xi V^2 \cos\psi - g\frac{\partial h}{\partial x} + E_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \\ + E_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \rho g n^2 \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} - 2\omega v \sin\varphi = \xi V^2 \sin\psi - g\frac{\partial h}{\partial y} + E_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} +$$

$$+E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \rho g n^2 \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \quad (2.20)$$

unde E sunt coeficienții de vîscozitate turbulentă (Pa.s sau kg/m/s).

Coeficienții de vîscozitate turbulentă în ecuațiile (2.19) și (2.20) reprezintă vîscozitatea moleculară și efectele turbulenței prin tensiuni turbulente sau tensiuni Reynolds:

$$E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x} \overline{\delta u'^2},$$

$$E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial x} \overline{\delta u'v'},$$

$$E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \nu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y} \overline{\delta v'u'},$$

$$E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \nu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial y} \overline{\delta v'^2},$$

unde ν este vîscozitatea moleculară; u' – fluctuațiile vitezei turbulente în direcția x ; v' – fluctuațiile vitezei turbulente în direcția y ; \bar{a} – valoarea medie temporală.

Vom integra ecuațiile (2.19) și (2.20) în adîncime h :

În direcția x :

$$\int_0^h \frac{\partial u}{\partial t} dz + u \int_0^h \frac{\partial u}{\partial x} dz + \nu \int_0^h \frac{\partial u}{\partial y} dz = 2\omega u \sin\varphi \int_0^h dz + \xi V^2 \cos\psi -$$

$$-g \int_h^H \frac{\partial h}{\partial x} dz + \int_0^h \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) dz + \rho g n^2 \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}. \quad (2.21)$$

În direcția y :

$$\int_0^h \frac{\partial v}{\partial t} dz + u \int_0^h \frac{\partial v}{\partial x} dz + \nu \int_0^h \frac{\partial v}{\partial y} dz = -2\omega v \sin\varphi \int_0^h dz + \xi V^2 \sin\psi -$$

$$-g \int_h^H \frac{\partial h}{\partial y} dz + \int_0^h \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) dz + \rho g n^2 \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}. \quad (2.22)$$

În rezultatul integrării vom obține **ecuațiile Navier-Stokes sub forma Reynolds** după coordonatele carteziene x și y :

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - 2hu\omega \sin\varphi - \xi V^2 \cos\psi + gh \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) -$$

$$-h \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\rho g u n^2}{(h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2} = 0, \quad (2.23)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + 2h\omega v \sin\varphi - \xi V^2 \sin\psi + gh \left(\frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) -$$

$$-h \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\rho g v n^2}{(h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2} = 0, \quad (2.24)$$

unde H semnifică cota geodezică a patului albiei (m).

Ecuatia de continuitate rezultă din legea conservării masei.

Pentru fluide incompresibile, $\rho = const$, $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, ecuația (2.2) devine:

$$\nabla u = 0. \quad (2.25)$$

În coordonate carteziene ecuația (2.25) are forma:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (2.26)$$

Vom integra ecuația (2.26) în adâncime:

$$\int_0^h \frac{\partial u}{\partial x} dz + \int_0^h \frac{\partial v}{\partial y} dz + \int_0^h \frac{\partial w}{\partial z} dz = 0. \quad (2.27)$$

În rezultatul integrării vom obține ecuația:

$$h \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial v}{\partial y} + v \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.28)$$

sau

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0. \quad (2.29)$$

Ecuatiile Navier-Stokes reprezintă un sistem de ecuații diferențiale cu derivate parțiale de ordinul doi, neomogen și neliniar. Sursa principală de turbulență este considerat termenul de inerție $v \nabla v$, care reprezintă neliniaritatea sistemului. Rezolvarea acestor ecuații este posibilă doar pentru cazuri simplificate. La momentul actual este demonstrată doar existența soluțiilor slabe [42].

2.4. Modelarea matematică a dispersiei poluanților

Problema poluării în sistemele acvatice de tip râu

Odată cu dezvoltarea socio-economică s-a constatat degradarea accentuată și continuă a calității apelor de suprafață și subterane în rezultatul poluării cu diferite tipuri de substanțe. Acest fenomen s-a înregistrat în majoritatea țărilor. Drept consecințe a celor menționate sunt scăderea rezervelor de apă care pot fi utilizate ca surse de apă potabilă, dezechilibrarea ecosistemelor cu efecte asupra biodiversității, creșterea alarmantă a cantităților de deșeuri etc. Toate consecințele enumerate mai sus influențează negativ asupra sănătății umane, de aceea problema poluării apelor de suprafață și subterane constituie o problemă primordială în ultimii ani.

Poluanții pot fi clasificați în felul următor (figura 2.9):

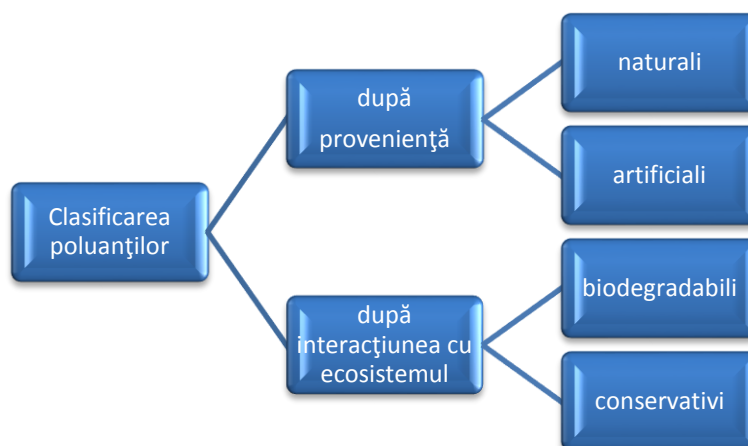


Fig. 2.9. Clasificarea poluanților.

Sursele de poluare, la rândul lor, pot fi clasificate după următoarele criterii (figura 2.10).

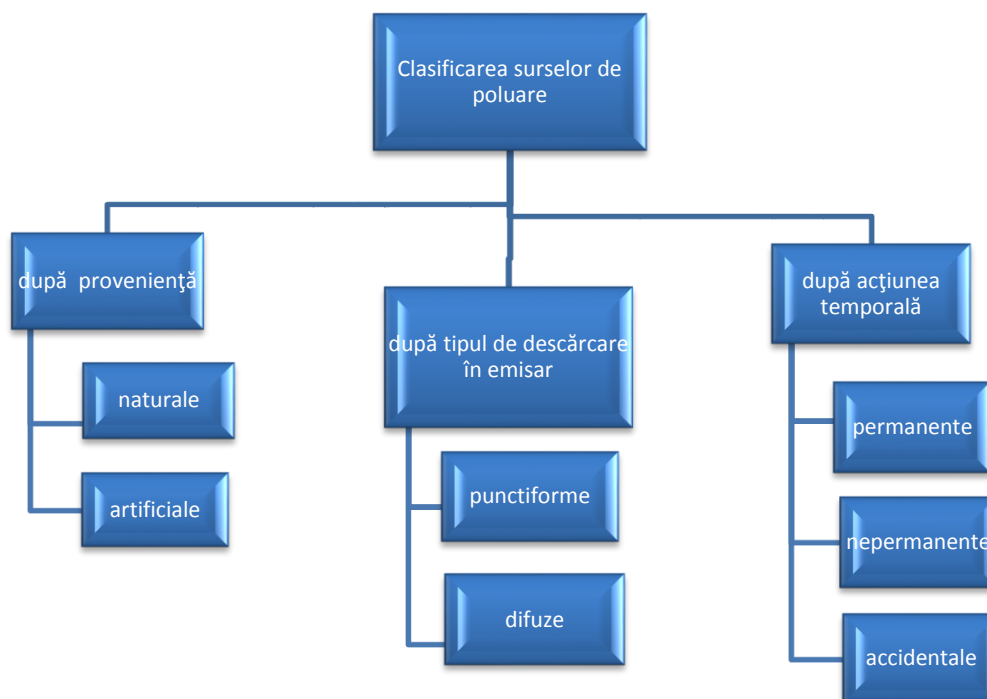


Fig. 2.10. Clasificarea surselor de poluare.

Poluanții naturali sunt cei care există în ecosisteme în mod natural. De exemplu, dioxidul de carbon, azotul, praful, fumul, unele substanțe din sol, cum ar fi aluminiul și nitrații etc. Totuși ponderea poluanților naturali este nesemnificativă în comparație cu a celor artificiali. Poluanții artificiali provin în rezultatul activităților umane, de exemplu, din surse menajere, industriale, agricole, silvice etc. După natura lor, aceștia pot fi divizați în: fizici, chimici și biologici.

Poluarea difuză a sistemelor acvatice este rezultatul activităților agricole și al industriilor extractive, iar cea punctiformă rezultă din activitățile industriilor metalurgice, extractive, chimice, al gospodăriilor comunale etc.

Transportul și dispersia poluanților. Ecuația de advecție-dispersie (AD)

Se numește dispersie procesul datorită căruia apare mișcarea și împrăștierea poluantului. Mecanismul procesului menționat este foarte complex și poate fi explicat prin acțiunea simultană a fenomenului de difuzie moleculară a substanței poluante și a fenomenului de convecție-advecție. Difuzia moleculară reprezintă deplasarea moleculelor unui fluid dintr-o regiune în alta. Această deplasare poate avea loc numai atunci când există un gradient de concentrație între cele două regiuni. Deplasarea moleculelor se efectuează în sensul micșorării concentrației.

Fenomenul de difuzie moleculară se caracterizează prin densitatea de curent q , care reprezintă numărul de particule ce trec în unitatea de timp prin unitatea de suprafață dispusă normal la direcția în care se produce difuzia [72].

Experimental s-a constatat că:

$$q = -D \frac{\partial C}{\partial x_i}. \quad (2.30)$$

Expresia (2.30) reprezintă legea lui Fick, iar procesele de difuzie care se supun acestei relații sunt numite difuzie Fickiană. În această expresie D este coeficientul de difuzie, iar semnul *minus* semnifică faptul că difuzia are loc în sensul scăderii concentrației.

Dispersia se măsoară prin mărimi fizice și matematice. Mărimile fizice sunt *densitatea, concentrația și viteza*, iar cele matematice – *coeficienții dispersiei*.

În râuri procesele menționate duc la apariția unui câmp de viteze neuniform. Acest fenomen a fost studiat de către fizicianul american O. Reynolds (1883), care a stabilit existența în râuri a unui regim de curgere turbulent. Rezultatul principal al acestui regim este majorarea vitezei particulelor de fluid, ce duce la transportul de masă a fluidului.

Fenomenul dispersiei se descrie cu ajutorul ecuației fundamentale de advecție-dispersie:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u_i C)}{\partial x_i} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x_i^2}, \quad (2.31)$$

unde C este concentrația de poluant; u_i – viteza curgerii transversale, care depinde de viteza curgerii în direcțiile x , y și z ; D – coeficientul de difuzie; t – timpul; x – direcția.

În cazul unidimensional, din cauza că nu există modificări ale concentrației pe direcțiile y și z , ecuația (2.31) devine:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}.$$

Pentru fluide incompresibile ecuația (2.31) are forma:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x_i^2}.$$

Relația dintre parametrii t , D și u se stabilește prin numărul adimensional Peclet:

$$Pe = \frac{D}{u^2 t}. \quad (2.32)$$

Pentru unele sectoare în aval se consideră $L = ut$. În acest caz (2.32) devine:

$$Pe = \frac{D}{uL}. \quad (2.33)$$

Pentru $Pe \gg 1$ domină procesele de difuzie, iar pentru $Pe \ll 1$ – procesele de advecție.

Pentru aplicații la sistemele de tip râu, luând în considerație mecanismul turbulent al curgerii, Reynolds a propus de a introduce: t_l – scara integrală de timp, care reprezintă intervalul de timp în care începe să apară viteza necorelată și aleator, u_l – scara integrală pentru viteză, l_l – scara integrală pentru lungime. Analogic cu descompunerea vitezei particulelor de fluid în curgere turbulentă, a fost descompusă și concentrația:

$$C(x_i, t) = \overline{C(x_i)} + C'(x_i, t).$$

Componenta turbulentă a fost descrisă ca o formă de amestecare rapidă, analogic cu procesul de difuzie moleculară. Această abordare a fost în continuare dezvoltată de către Taylor (1921) și Rutherford (1994), Fisher et al (1979) [66].

Luând în considerație modificările propuse de Reynolds, cu efectuarea modificărilor corespunzătoare, ecuația fundamentală de advecție-dispersie (2.31) ia forma:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_t \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_m \frac{\partial C}{\partial x_i} \right), \quad (2.34)$$

unde x_i este direcția în care se transportă masa fluidului într-un timp mediu; $D_t = \frac{(\Delta x)^2}{\Delta t} = u_l l_l$ – coeficientul de difuzie turbulentă; D_m – coeficientul de difuzie moleculară.

Pentru a determina mărimea coeficienților de turbulență, este necesar de a stabili dependența acestor coeficienți de mărimile spațiale în care are loc procesul de turbulență. O proprietate importantă a turbulenței tridimensionale este aceea că vârtejurile mari sunt limitate de dimensiunea spațială. În sistemele de tip râu limitarea se referă la adâncime. Proprietățile turbulente sunt independente de lățime și dependente de adâncime:

$$D_t = u_* h,$$

unde h este adâncimea; $u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$ – viteza de frecare; τ_0 – efortul tangențial mediu la perete; ρ – densitatea.

Din cauza că viteza este diferită vertical și transversal, coeficientul D_t nu este izotrop în toate direcțiile.

Coeficienții de difuzie turbulentă verticală se determină în felul următor [65, 66]:

$$D_{t,z} = 0,067hu^*.$$

Coeficienții de difuzie transversală s-au obținut din numeroase experimente. S-a constatat:

$$D_{t,y} = \alpha hu_*,$$

unde coeficientul $\alpha = 0,6$ după Fischer, (1979); după Elder, (1959), $\alpha = 0,2$.

Coeficientul de dispersie longitudinală reflectă efectele combinate ale difuziei turbulente, moleculare și a convecției diferențiale. Poate fi determinat experimental sau prin formule empirice. Conform lui Taylor și Elder:

$$D_L = 5,93hu_*.$$

Conform lui Fischer et al. (1979):

$$D_L = 0,011 \frac{V^2 B^2}{hu_*},$$

unde B este lățimea albiei, iar V - viteza medie în secțiunea transversală.

2.5. Utilizarea analizei computaționale a dinamicii fluidelor (CFD) în studiul sistemelor acvatice de tip râu

Aspecte generale cu privire la CFD

Pentru a modela diferite procese de curgere a fluidelor, inclusiv curgerea turbulentă, și a determina parametrii curgerii, în ultimul timp se folosește pe larg analiza computațională a dinamicii fluidelor (CFD – *computational fluid dynamics*), care utilizează tehnici de calcul numeric aproximativ. Avantajul folosirii CFD este posibilitatea de obținere a informațiilor detaliate și cu o precizie înaltă referitor la sistemul simulat.

Rezolvarea unei probleme cu ajutorul CFD implică parcurgerea următorilor pași: modelarea geometriei domeniului studiat, discretizarea domeniului, definirea modelului, setarea proprietăților, stabilirea condițiilor inițiale și de limită, soluționarea, analiza rezultatelor [53, 59, 103, 61, 77].

Modelarea geometriei

Rezolvarea problemei începe cu modelarea geometriei sistemului în 2D sau 3D. Scopul acestei etape este de a limita domeniul de calcul la un spațiu finit. Pentru construirea elementelor 2D sau 3D se folosesc așa obiecte, cum ar fi: puncte, noduri, arce și poligoane.

Discretizarea domeniului (construirea rețelei de calcul) considerat în elemente finite se realizează cu ajutorul punctelor și arcelor. Cu ajutorul acestor obiecte se construiesc rețele de calcul structurate și nestructurate. Cele structurate sunt construite din elemente de discretizare patrulatere, iar cele nestructurate – din elemente diferite. De fapt, prelucrarea rețelelor structurate necesită mai puțină memorie și au mai bune proprietăți numerice. Cu toate acestea, geometriile complexe ale proceselor reale rareori permit generarea rețelelor structurate și, de regulă, se folosesc nestructurate.

Definirea modelului se realizează prin utilizarea modelelor generale existente de turbulență sau prin elaborarea modelului propriu al sistemului studiat. Pentru fiecare model se stabilesc atributele geometrice ale domeniului studiat și forțele care acționează asupra domeniului.

Setarea proprietăților se referă la definirea proprietăților fizice ale fluidelor, cum ar fi, de exemplu, vâscozitatea, densitatea, temperatura, coeficienții de turbulență ș. a.

Stabilirea condițiilor inițiale și de limită presupune definirea valorilor funcțiilor de bază la momentul $t = 0$ și a restricțiilor pe frontierele domeniului de analiză.

Soluționarea presupune obținerea soluției prin rezolvarea numerică a ecuațiilor de curgere. Procesul de rezolvare numerică durează până la atingerea criteriilor de convergență și de stopare.

Analiza rezultatelor presupune analiza calității soluției care ne oferă informații despre flux, concentrații, temperaturi, viteze ș. a.

Pentru aproximarea ecuațiilor Navier-Stokes cele mai utilizate sunt următoarele metode numerice: *Simularea numerică directă (DNS)*, *Medierea Reynolds (RANS)*, *Simularea vârtejurilor mari (LES)*, *Metoda simulării vârtejurilor detașate (DES)* [59, 55].

Vom face o scurtă prezentare a metodelor enumerate mai sus.

Simularea numerică directă (DNS)

Metoda simulării numerice directe (DNS, Direct Numerical Simulation) cuprinde vârtejuri de toate dimensiunile, de aceea e necesar ca ecuațiile Navier-Stokes să fie discretizate pe o rețea de calcul cu o rezoluție spațială foarte fină, pentru a modela vârtejurile cele mai mici, dimensiunea cărora este de ordinul scărilor de lungime a lui Kolmogorov η .

Printre avantajele acestei metode pot fi menționate următoarele: datele statistice obținute pot fi folosite pentru testare în modelele inginerești propuse și pentru o înțelegere mai bună a proceselor turbulente, de asemenea pot servi ca o sursă adițională de date experimentale.

Pentru curgeri cu numere Reynolds mari e necesar să avem $(L/\eta_k)^3 \sim R_{eL}^{9/4}$ grade de libertate. Restricții privind memoria calculatorului nu permit întotdeauna realizarea DNS. Această metodă este utilizată pentru numere Reynolds mici și geometrii simple.

Cu toate acestea, în baza DNS au fost obținute rezultate cu privire la modelarea turbulenței omogene izotrope la numere Reynolds moderate, precum și la modelarea subregiunii inerțiale al spectrului turbulenței bidimensionale. Trăsătura caracteristică a curgerilor cercetate pînă acum cu DNS este limitarea spațială (curgeri prin canale, stratul limită) și numere Reynolds mici [94].

Medierea Reynolds (RANS)

Această metodă este cea mai frecvent utilizată. În metoda RANS efectele turbulenței se iau în considerație prin medierea în timp a ecuațiilor exacte. Ținînd cont de acest fapt, pentru curgerea staționară a unui fluid newtonian incompresibil sistemul de ecuații Navier-Stokes se scrie sub forma:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0,$$

$$\bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + \nu_T) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} = 0,$$

care se numește *ecuațiile Navier-Stokes mediate Reynolds (RANS)*.

Această metodă nu este costisitoare cu privire la sursele de calcul și numărul gradelor de libertate în comparație cu DNS este mult mai mic [65].

Simularea vârtejurilor mari (LES)

Metoda LES constă în rezolvarea vârtejurilor mari și modelarea vârtejurilor mici, în care pentru divizarea structurilor se folosește operația de filtrare. Operația de filtrare este o operație de uniformizare. Modelarea vârtejurilor mici constă în modelarea tensorului care caracterizează acțiunea vârtejurilor mici asupra evoluției vârtejurilor mari.

Pînă în prezent au fost testate un număr mare de structuri care sunt mai mici decît dimensiunea filtrului (structuri sub grid), dar pînă acum există dificultăți în alegerea variantei optime a modelului și a dimensiunilor filtrului, precum și dificultăți în realizarea calculelor numerice. Cel mai bun și utilizat model este modelul lui Smagorinsky [64, 90], în care vîscozitatea turbulentă se determină astfel:

$$\nu_T = c^2 \Delta^2 s^{-1/2},$$

unde c este constanta empirică, de obicei în calcule se folosește $c = 0,1$; Δ – lățimea filtrului; s – tensorul vitezei de deformație asociat vitezelor filtrate.

Cu ajutorul metodei LES au fost abordate probleme de curgere în canal, curgerea într-un domeniu spațial dreptunghiular ș. a. [65, 54].

Resursele de calcul sunt mai mari decît pentru RANS și mai mici decît pentru DNS.

Simularea vârtejurilor detașate (DES)

A fost introdusă de către P. Spalart [41]. Ideea de bază constă în utilizarea metodei RANS în zonele stratului limită la pereți. În cealaltă regiune se folosește metoda LES.

Realizarea practică a metodei DES se bazează pe modelul modificat de vâscozitate turbulentă a lui Spalart-Almaras, care se folosește pentru închiderea ecuațiilor Reynolds. Modificarea constă în substituirea scării de lungime turbulentă L cu

$$\bar{L} = \min[L, C_{DES}\Delta],$$

unde Δ este scara rețelei de calcul; C_{DES} – constanta empirică.

Rezultatele obținute prin metoda DES au demonstrat eficiența acestei metode, inclusiv eficiența în utilizarea resurselor de calcul. În continuare această metodă a fost dezvoltată de către F. Menter și M. Kuntz [88], F. Menter și Y. Egorov [89, 44].

Condiții inițiale și condiții la limită

Un aspect important în rezolvarea corectă a problemei îl constituie stabilirea condițiilor inițiale și a condițiilor la limită.

Vom examina un domeniu de fluid Ω în care este cunoscut câmpul de viteze $v(x, t)$. Frontiera Γ a domeniului de fluid Ω într-un intervalul de timp $(0, T)$ este compusă dintr-un flux de intrare $\Gamma_- = \{x \in \Gamma | v \cdot n < 0\}$, flux de ieșire $\Gamma_+ = \{x \in \Gamma | v \cdot n > 0\}$ și fluxul la un perete solid $\Gamma_0 = \{x \in \Gamma | v \cdot n = 0\}$, unde n este normala la punctul $x \in \Gamma$ (figura 2.11).

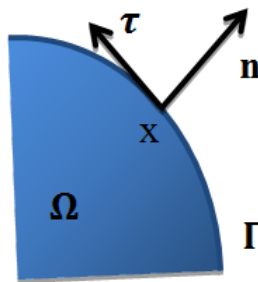


Fig. 2.11. Domeniul de fluid (n – normala la suprafață, τ – componenta tangențială).

La examinarea modelelor în regim nestaționar e necesar de a stabili condițiile inițiale. În funcție de tipul de ecuații de modelare folosit, în toate punctele din domeniul de calcul se stabilesc valorile funcțiilor de bază la momentul $t = 0$, de exemplu:

$$\rho|_{t=0} = \rho_0(x), \quad v|_{t=0} = v_0(x) \forall x \in \Omega.$$

Fluidul din interiorul lui Ω interacționează cu mediul înconjurător, de aceea este important de a stabili restricțiile pe frontierele domeniului de analiză, care pot fi de două tipuri:

Condiții la limită de tip Dirichlet, în care valorile variabilei dependente se impun în direcția componenteii tangențiale τ pe frontiera specificată $\Gamma_D \subset \Gamma$

$$v(x, t) = v_D(x, t), \quad \forall x \in \Gamma_D, \quad \forall t \in (0, T).$$

Condiții la limită de tip Neumann, în care gradientul variabilei dependente se impune în direcție normală n pe frontiera specificată $\Gamma_N = \Gamma \setminus \Gamma_D$

$$f \cdot n = g(x, t), \quad \forall x \in \Gamma_N, \quad \forall t \in (0, T),$$

unde f este fluxul implicat; $g(x, t)$ - o funcție definită pe frontieră [75].

2.6. Metode de discretizare a ecuațiilor de curgere

Etapa următoare în modelarea numerică a turbulenței este discretizarea temporală și spațială a ecuațiilor Navier-Stokes. Cele mai frecvent utilizate sunt trei metode de discretizare: metoda diferențelor finite, metoda elementelor finite și metoda volumelor finite.

Metoda diferențelor finite (MDF)

Această metodă este cea mai veche și cea mai simplă din cele trei și se aplică cu succes la rețelele structurate. Pentru rețele nestructurate se folosesc metoda elementelor finite (MEF) și metoda volumelor finite (MVF).

Metoda elementelor finite (MEF) este considerată un instrument puternic în rezolvarea problemelor ingineresti. Constă în descompunerea domeniului de studii în forme geometrice simple și analiza acestora. Această descompunere reprezintă discretizarea domeniului care trebuie să fie făcută în așa mod ca să fie definit un număr suficient de mare de puncte. Cu ajutorul punctelor și arcelor se construiesc forme geometrice, punctele mai apoi devenind noduri. Fiecare nod poate avea maximum șase grade de libertate. MEF definește necunoscutele în nodurile definite și calculează valorile lor în aceste noduri. Scopul procesului de discretizare este divizarea modelului în elemente finite, care reprezintă elemente patrulate sau triunghiulare. Un element finit se consideră un dispozitiv de sine stătător care interacționează cu alte elemente numai în noduri. Pentru a putea fi utilizat în procesul de calcul elementul finit trebuie să fie proiectat în toate detaliile: geometric, fizic, matematic etc.

MEF este o tehnică de calcul numeric aproximativ, scopul căreia este de a reduce sistemul de ecuații diferențiale care descrie un proces fizic real cu un număr infinit de grade de libertate la un sistem de ecuații algebrice cu un număr finit de grade de libertate. În majoritatea cazurilor problemele supuse modelării satisfac ecuației diferențiale generale de forma:

$$L_1(f) + b = 0 \quad \text{pe un domeniu de fluid } \Omega$$

sau

$$L_2(f) + q = 0 \quad \text{pe frontiera } \Gamma \text{ a domeniului de fluid } \Omega$$

unde L_1 și L_2 sunt operatori; b, q – funcții vectoriale cunoscute; f – funcția vectorială

necunoscută. Soluția f se aproximează cu ajutorul unor funcții liniar independente N_i și a unor coeficienți necunoscuți f_i pe baza ecuației:

$$f \approx \bar{f} = \sum_{i=1}^n f_i N_i. \quad (2.40)$$

Funcțiile N_i se numesc funcții de interpolare și au frecvent forma unor polinoame. Aproximarea cât mai bună a soluției problemei date depinde de alegerea gradului polinomului și determinarea coeficienților acestora. În MEF soluția aproximativă (2.40) se construiește pentru toate subdomeniile ale Ω , care reprezintă elemente finite. La aproximare se folosesc funcțiile de pondere, care au fost propuse de Galerkin. Pentru a obține ecuațiile algebrice de aproximare se consideră forma reziduului ponderat sau variațional, de tipul:

$$\int_{\Omega} w_j^T (L_1(f) + b) d\Omega + \int_{\Gamma} \bar{w}_j^T (L_2(f) + q) d\Gamma = 0 \text{ cu } j = 1, \dots, n, \quad (2.41)$$

unde w_j și \bar{w}_j sunt funcții de ponderare.

Aproximarea pe baza ecuației (2.41) reduce problema inițială la sistemul de ecuații algebrice: $P(f_i) = F$ sau pentru sisteme liniare $Kf = F$, unde K este matricea de rigiditate a sistemului; f – vectorul tensiunelor nodale; F – vectorul forțelor nodale exterioare [36, 59].

MEF este mult mai stabilă numeric decât MVF și poate descrie cu ușurință geometrii curbe.

Etapele de rezolvare a unei probleme cu ajutorul MEF:

Împărțirea domeniului în elemente finite. La aceasta etapă domeniul studiat se împarte în elemente finite cu ajutorul elementelor finite adecvate problemei. Formele geometrice ale elementelor utilizate în MEF se prezintă în figura 2.12.

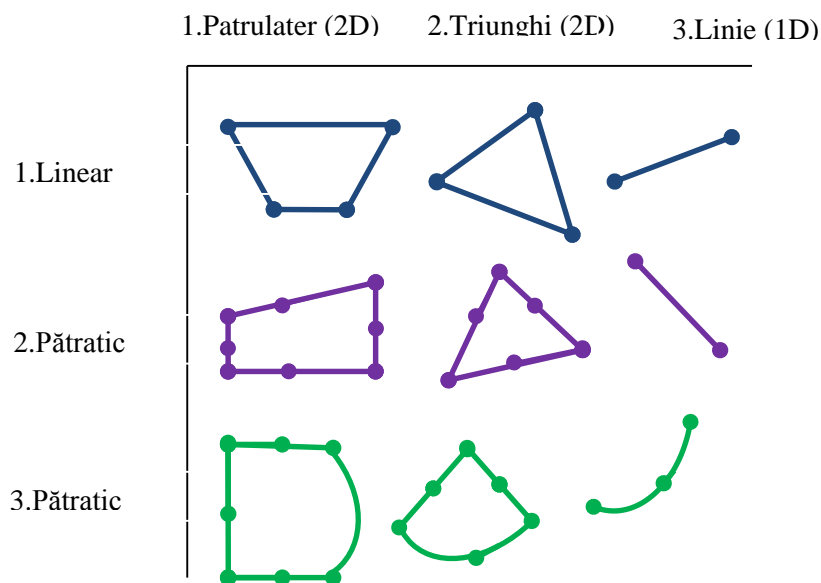


Fig. 2.12. Formele geometrice ale elementelor utilizate în MEF.

Tipul de element finit ales depinde de mai mulți factori, de exemplu, de numărul de dimensiuni (uni-, bi-, tridimensional), numărul de noduri ale elementului, funcțiile de aproximare asociate etc. Un exemplu de divizare a domeniului unui fluid în elemente finite triunghiulare se prezintă în figura 2.13.

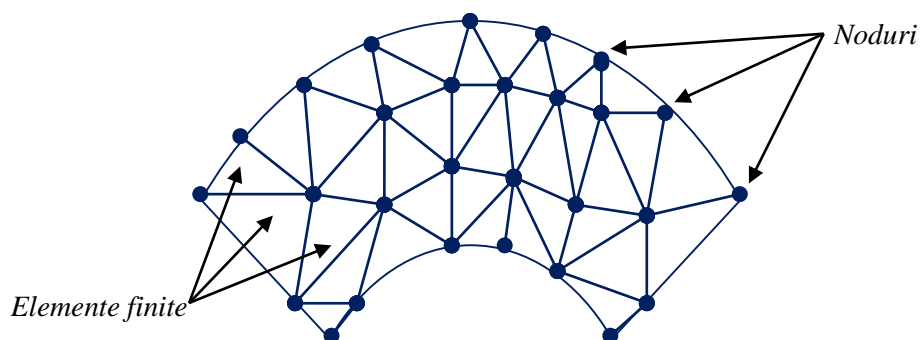


Fig. 2.13. Rețeaua de calcul.

Stabilirea ecuațiilor elementelor finite. Comportarea materialului sau mediului în cuprinsul unui element finit se descriu cu ajutorul unor ecuații. Acestea pot fi deduse direct, pe cale variațională, prin metoda reziduurilor (Galerkin) sau prin metoda bilanțului energetic.

Îmbinarea ecuațiilor elementelor finite în sistemul de ecuații al structurii. Echilibrul întregii structuri depinde de echilibrul elementelor finite, de aceea e necesar ca ecuațiile elementelor finite să fie îmbinate în sistemul de ecuații al structurii cu respectarea cerinței ca în nodurile comune elementelor, funcția sau funcțiile necunoscute să aibă aceeași valoare.

Realizarea condițiilor la limită și rezolvarea sistemului de ecuații al structurii. La această etapă se implementează condițiile la limită și se rezolvă sistemul de ecuații al structurii prin procedeul de eliminare al lui Gauss sau prin descompunerea Choleski. În rezultat, se obțin valorile funcțiilor în noduri, care se numesc necunoscute primare sau de ordinul întâi.

Determinarea necunoscutelor secundare. În unele probleme după aflarea necunoscutelor primare, analiza se încheie. Pentru majoritatea problemelor nu este suficientă cunoașterea numai necunoscutelor primare. Din aceste considerente se efectuează calcule suplimentare pentru determinarea necunoscutelor secundare sau de ordinul doi, care reprezintă derivate de ordin superior ale necunoscutelor primare.

Metoda volumelor finite (MVF)

Rezolvarea ecuațiilor în MVF se efectuează pentru volume mici de control. La trecerea fluidului prin suprafața volumului de control este impusă conservarea proprietăților: cantitatea de proprietate care iese dintr-un volum de control să intre în volumul de control adiacent. În rezultat, proprietățile nu pot fi generate sau eliminate arbitrar. Ecuațiile pot fi discretizate prin

MDF și prin MEF. Dezavantajul MVF față de MEF constă în aceea că descrierea geometriilor complexe se realizează într-un timp mai îndelungat de procesare din cauza că se folosește un număr foarte mare de volume finite [59].

2.7. Rezolvarea numerică a ecuațiilor de curgere. Prezentarea programului SMS

Următorul pas în aplicarea CFD la modelarea curgerii turbulente în sistemele de tip râu este soluționarea prin rezolvarea numerică a ecuațiilor de curgere. Pentru aceasta se folosesc tehnici software de simulare dinamică, de exemplu, WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), QUAL2E, ANSYS CFX (Computational Fluid Dynamics Software), GWLF (Generalised Watershed Loading Function), MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems), WQRRS (Water Quality for River Reservoir Systems), WMS (Watershed Modeling System), SMS (Surface-water Modeling System) ș. a. [17].

În cele ce urmează va fi prezentat succint programul SMS, care a fost aplicat la studiile de caz în lucrarea de față.

Elemente generale ale SMS

SMS este destinat procesului de modelare a apelor de suprafață. A fost conceput de specialiști din SUA ai companiei *Aquaveo* și reprezintă un pachet de programe care permite gestionarea procesului de la importul de date topografice și hidrodinamice până la vizualizarea și analiza soluțiilor. Cu ajutorul SMS se pot genera modele numerice pentru aplicații cu privire la hidrodinamica râurilor, inundațiile din mediul rural și urban, modelarea valurilor, urmărirea dinamicii și proprietăților fizice a particulelor apei, determinarea dispersiei poluanților [98].

Pentru aplicarea SMS la determinarea dispersiei poluanților în sistemele de tip râu se parcurg două etape. La prima etapă se determină hidrodinamica sectorului modelat prin intermediul unui modul din SMS sub denumirea RMA2.

La etapa a doua la hidrodinamica rezultată din RMA2 se aplică modulul RMA4 cu ajutorul căruia se determină evoluția câmpului de concentrații a poluanților.

Programul RMA2 v.11.1

Programul RMA2 este un model bidimensional în plan orizontal, în care se omit accelerațiile pe direcție verticală. Se utilizează pentru rezolvarea problemelor de dinamică și statică, de exemplu calculul nivelurilor apei și a distribuției vitezelor în jurul unor insule, curgerea pe sectoare de râu cu zone umede, niveluri și spectre hidrodinamice ale mișcării în râuri, lacuri, delte, estuare etc. [99]. Caracteristicile regimului turbulent se precizează prin utilizarea coeficienților de vâscozitate turbulentă.

Programul RMA2 folosește sistemul de ecuații Navier-Stokes sub forma Reynolds după coordonatele carteziene x și y împreună cu ecuația de continuitate pentru fluide incompresibile în mișcare turbulentă cu suprafață liberă:

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{(h^{1/6})^2} \times (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \psi - 2hu\omega \sin \varphi = 0,$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gvn^2}{(h^{1/6})^2} \times (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \omega + 2hv\omega \sin \varphi = 0,$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0,$$

unde h este adâncimea apei (m); u – viteza locală în direcția x (m/s); v – viteza locală în direcția y (m/s); t – timpul (s); ρ – densitatea apei (kg/m^3); g – accelerația gravitațională (m/s^2); E – coeficienții de vîscozitate turbulentă (Pa.s sau $\text{kg/m} \cdot \text{s}$), care se calculează automat utilizînd numărul Peclet: $Pe = \frac{\rho U dx}{E}$, în care $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ este viteza rezultantă medie, iar dx – elementul de lungime în direcția fluxului; H – cota geodezică a patului albiei (m); n – coeficientul Manning al rugozității; ζ – coeficientul empiric referitor la frecarea cu aerul; V_a – viteza vîntului (m/s); ψ – direcția vîntului (grade în direcția inversă acelor de ceasornic de la axa pozitivă x); ω – viteza unghiulară de rotație a Pămîntului (rad/s); φ – latitudinea locului [99].

Programul realizează modelul matematic al mișcării apei – determină cîmpul de viteze locale mediate pe verticală u și v , viteza rezultantă medie, precum și adâncimea apei.

La rezolvarea sistemului menționat se folosește metoda elementelor finite cu utilizarea metodei Galerkin a reziduurilor ponderate. Funcțiile de interpolare sunt de gradul doi pentru viteze și de gradul întîi pentru adâncimi. Derivatele în raport cu timpul sunt înlocuite cu aproximații ale diferențelor finite neliniare. Se presupune că variabilele variază în fiecare interval de timp sub forma [99]:

$$f(t) = f(0) + at + bt^c,$$

$$t_0 \leq t < t_0 + \Delta t,$$

unde a , b și c sunt constante.

La procesul de discretizare a domeniului studiat se folosesc elemente unidimensionale, bidimensionale precum și elemente speciale, cum ar fi cele de tranziție, de legătură și elemente

care reprezintă structuri/construcții de control. În RMA2 cel mai utilizat tip de elemente este reprezentat de elementele pătratice bidimensionale, care sunt triunghiulare (trei colțuri și trei noduri la mijloc) și patrulatere (patru colțuri și patru noduri la mijloc). Un element pătratic bidimensional are o lungime și o lățime determinată de pozițiile nodurilor din colțurile ce definesc elementul. Adâncimea apei la orice locație într-un element bidimensional este obținută prin interpolarea adâncimilor nodurilor din colțurile care definesc elementul.

Pentru a demara procesul de simulare este necesar de a stabili condițiile la limită cu privire la debitul și nivelul apei, precum și condițiile inițiale la momentul $t = 0$ – viteza și adâncimea.

RMA2 determină soluțiile în felul următor: problemă este considerată rezolvată atunci când diferența dintre două soluții este mai mică decât o valoare prestabilită. Fișierul cu soluțiile obținute se utilizează ca sursă de date de intrare pentru RMA4.

Programul RMA4 v. 11.1

RMA4 este un modul din SMS, care se folosește pentru simularea numerică a proceselor de advecție – difuzie la o adâncime medie într-un sistem acvatic [100]. Acest modul poate fi aplicat la analiza evoluției oricărei substanțe poluante conservative aflată în suspensie sau dizolvată în apă, precum și la analiza proceselor fizice de migrație și amestec al substanțelor nonconservative în râuri, lacuri și estuare. În funcție de datele de intrare acest modul folosește hidrodinamica rezultată din RMA2 și calculează evoluția câmpului de concentrații.

În acest modul se utilizează ecuația fundamentală de advecție-dispersie:

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial c}{\partial y} - \sigma + kc + \frac{R(c)}{h} \right) = 0,$$

unde c este concentrația de poluant (mg/L); D_x și D_y – coeficienții de difuzie turbulentă în direcțiile x și y ; k – constanta de degradare (s^{-1}); σ – termenul sursă locală de poluant (unitatea de măsură a concentrației/s); h - adâncimea apei (m); $R(c)$ – precipitații/evaporație (unitatea de măsură a concentrației×m/s). Primul termen al ecuației semnifică variația locală a concentrației; al doilea este termen advection în direcția x ; al treilea – termen advection în direcția y ; al patrulea – termen de dispersie în direcția x ; al cincilea – termen de dispersie în direcția y ; al șaselea termen semnifică sursa locală de poluant; termenul al șaptelea modelează degradarea exponențială a poluantului; ultimul, al optulea termen, ia în considerație efectul precipitațiilor/evaporației [100].

Ecuația de transport este rezolvată prin metoda elementelor finite, aplicând procedeul Galerkin de ponderare a reziduurilor. Condiția la limită în acest modul este concentrația poluantului, care poate fi specificată de-a lungul unei linii de frontieră, indiferent de direcția de curgere, sau în nodurile de frontieră.

În RMA4 se folosesc doi coeficienți de difuzie turbulentă: D_x în direcția x și D_y în direcția y . Acești coeficienți pot fi mășurați experimental, dar din cauza că secțiunea transversală a fluxului este rareori de adâncime uniformă, această măsurare adesea este complicată. Deseori acești coeficienți sunt determinați prin intermediul formulelor empirice:

$$D_x = 5,93hu_*, \quad (2.42)$$

unde h este adâncimea apei; u_* – viteza de frecare:

$$u_* = \sqrt{\tau_0/\rho},$$

Aici τ_0 este efortul tangențial mediu la perete, iar ρ – densitatea apei.

Coeficientul D_y se determină astfel:

$$D_y = \alpha hu_*, \quad (2.43)$$

unde α este un coeficient (după Fischer, 1979, $\alpha = 0,6$; după Elder, 1959, $\alpha = 0,2$) [97].

În programul RMA4 pentru determinarea coeficienților menționați se folosesc două metode: directă, prin care fiecare element primește valorile respective ale acestor coeficienți, sau automată, utilizând numărul Peclet (valorile recomandate sunt cuprinse între 15 și 40).

La rezolvarea în regim dinamic, RMA4 solicită specificarea condițiilor inițiale, care pot fi introduse direct de utilizator sau folosind un „hotstart” de la o rulare anterioară.

2.8. Concluzii la capitolul 2

În urma analizei aspectelor cu privire la modelarea matematică și numerică a sistemelor de tip râu în scopul determinării evoluției spațio-temporale a poluanților, s-au stabilit următoarele:

1. Curgerea apei în sistemele de tip râu reprezintă o curgere turbulentă.
2. Pentru studierea mișcării turbulente cea mai potrivită este teoria lui Kolmogorov.
3. Curgerea turbulente în sistemele de tip râu se descriu cu ajutorul sistemului de ecuații Navier-Stokes sub forma Reynolds.
4. Pentru descrierea cîmpului de concentrații a poluanților se folosește ecuația fundamentală de advecție-dispersie.
5. Pentru rezolvarea numerică a ecuațiilor Navier-Stokes cea mai recomandată este metoda RANS.
6. În scopul obținerii modelelor numerice cu privire la hidrodinamica și dispersia poluanților în sectoarele de râu studiate urmează a fi aplicat pachetul de programe SMS, în special modulele RMA2 și RMA4.
7. Discretizarea sistemului de ecuații Navier-Stokes și a ecuației de advecție-dispersie în sistemul SMS se realizează prin metoda elementelor finite cu folosirea metodei Galerkin a reziduurilor ponderate.

3. MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A TRANSPORTULUI ȘI DISPERSIEI POLUANȚILOR ÎN RÎUL PRUT

3.1. Determinarea calității apei în baza produsului program

Rîul Prut are o importanță geografică deosebită, bazinul acestuia marchează hotarul dintre Republica Moldova și România. Prutul izvorăște din Carpații Păduroși de pe teritoriul Ucrainei și se varsă în Dunăre lângă municipiul Galați din România. Lungimea totală a râului este de 953 km, din care 695 km se află pe teritoriul Republicii Moldova. Acest râu constituie o sursă importantă de aprovizionare cu apă atât pentru Republica Moldova, cât și pentru România, de aceea poluarea lui prezintă un risc pentru sănătatea umană. Acest fapt a servit drept motiv pentru alegerea râului Prut ca obiect de cercetare.

Conform rapoartelor anuale ale SHS, în anii 2012 și 2013 monitorizarea parametrilor cu privire la calitatea apei în râul Prut se efectua în 8 secțiuni, cu investigarea a 59 de indicatori fizico-chimici și debitul apei [3, 4].

Pentru anul 2014, în Programul de activitate al DMCM din cadrul SHS, s-a propus investigarea a 79 de indicatori fizico-chimici și debitul apei în 11 secțiuni de monitorizare. A fost stabilită colaborarea bilaterală cu România în 7 secțiuni de monitoring: s. Șirăuți, or. Costești (baz. Costești-Stînca), or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești, după 26 indicatorii fizico-chimici [21].

În lucrare dată a fost efectuat un studiu cu privire la calitatea apei în r. Prut pentru perioada anilor 2008-2013. Calitatea apei în perioada menționată a fost determinată conform indicelui de poluare a apei (IPA). Criteriile de apreciere a calității apelor de suprafață conform IPA se prezintă în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Criteriile de apreciere a calității apelor

Clasa calității apei	I – foarte curată	II – curată	III – moderat poluată	IV – degradată	V – poluată	VI – foarte poluată	VII – extrem de poluată
IPA	0.2	0.2 – 1	1 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 10	10 >

Au fost examinate și utilizate date experimentale colectate de pe opt sectoare ale râului Prut: s. Criva, s. Șirăuți, s. Braniște, or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești (figura 3.1).



Fig. 3.1. Segmentele de râu investigate (marcate cu simbolul ▲).

IPA pentru sectoarele investigate conform calculelor efectuate în cadrul DMCM a SHS se prezintă în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Valorile IPA pentru sectoarele studiate ale râului Prut

Obiectul acvatic	IPA				
	2009	2010	2011	2012	2013
r. Prut - s. Criva, în amonte	0,81	0,78	0,99	1,00	0,87
r. Prut- s. Șirăuți, în amonte	0,79	0,77	1,01	1,12	1,02
r. Prut- s. Braniște, în amonte	0,65	0,63	0,75	0,82	0,72
r. Prut - or.Ungheni, în aval	0,58	0,62	0,69	0,84	0,75
r. Prut -s.Valea Mare, în aval	0,89	0,91	0,89	0,94	1,20
r. Prut - or. Leova, în amonte	0,82	0,75	1,06	0,93	1,06
r. Prut - or. Cahul, în aval	0,69	0,67	0,89	0,79	0,89
r. Prut - s. Giurgiulești	0,76	0,66	0,83	1,15	0,80

Din tabelul prezentat se observă că pentru perioada 2009-2011 și anul 2013 calitatea apei râului Prut din localitatea Criva a fost încadrată în clasa a doua (curată), iar în 2012 – în clasa a III-a (moderat poluată); calitatea apei din localitatea Șirăuți în anii 2009-2010 s-a încadrat în clasa a doua (curată), iar în 2011 – 2013 în clasa a III-a (moderat poluată); din localitățile Braniște și Ungheni pentru toată perioada 2009-2013 (curată); din localitățile Valea Mare și Leova pentru 2009-2012 (curată), iar în 2013 în clasa a III-a (moderat poluată); din localitatea Cahul pentru toată perioada examinată se încadrează în clasa a doua (curată); din localitatea Giurgiulesti pentru 2009-2011 în clasa a doua (curată), în 2012 – în clasa a III-a (moderat poluată) și în 2013 (curată).

În baza valorilor IPA a fost creat un program în limbajul Java, conform schemei logice din figura 3.2, care ne permite să determinăm calitatea apei în râul Prut și în fiecare sector examinat.

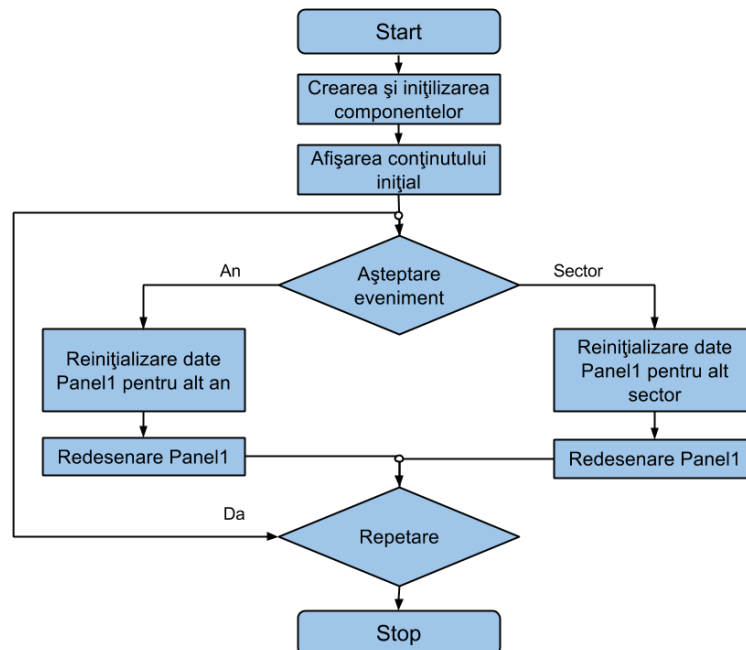


Fig. 3.2. Schema logică a programului.

Interfața programului este prezentată în figura 3.3. Accesînd opțiunea *Anul*, se poate vizualiza calitatea apei în fiecare an, din 2009 pînă în 2013, unde culoarea verde semnifică calitatea apei de clasa a III-a (moderat poluată), iar de culoarea albastră – clasa a doua (curată). Calitatea apei în anul 2012 în râul Prut se prezintă în figura 3.4 (a), iar în anul 2013 – în figura 3.4 (b). Informații detaliate despre program se prezintă în Anexa 1.

Reieșind din analiza efectuată se poate menționa că pentru majoritatea sectoarelor analizate calitatea apei se încadrează în clasa a doua (curată), și numai în unele cazuri și pentru unele sectoare este moderat poluată. Cu toate acestea, calitatea apelor de suprafață în Republica Moldova adeseori nu corespunde standardelor de calitate [11].

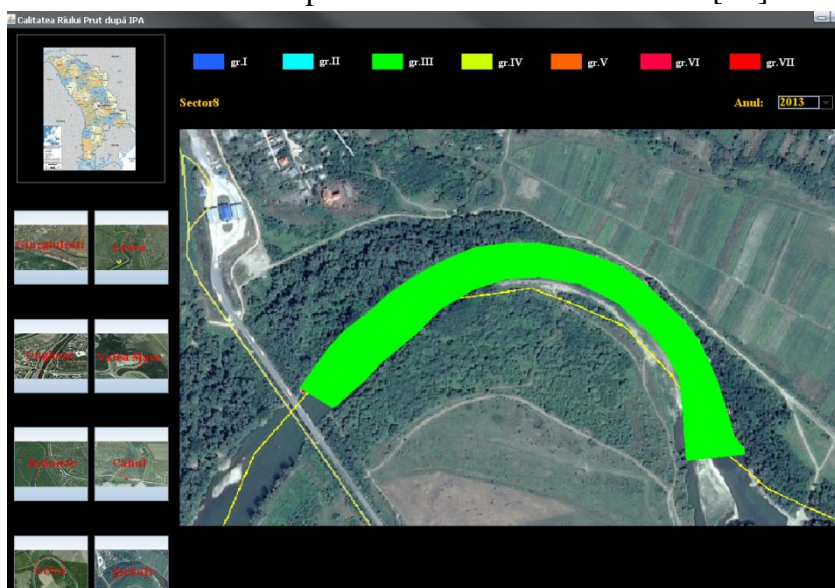


Fig. 3.3. Calitatea apei în sectorul râului Prut din localitatea Șirăuți în anul 2013.



(a)



(b)

Fig. 3.4. Calitatea apei în râul Prut în anii 2012 (a) și 2013 (b).

Valorile IPA obținute au fost calculate în baza valorilor medii anuale, dar dacă analizăm calitatea apei zi de zi situația nu este întotdeauna cea mai favorabilă. Reieșind din analiza probelor cu privire la parametrii de calitate ai apei, prelevate de către DMCM din cadrul SHS, s-a constatat că cele mai frecvente depășiri ale CMA în sectoarele studiate sunt pentru produse petroliere, nitriți, fenoli și ioni de amoniu. Sursele de poluare a râului sunt apele menajere și industriale neepurate sau insuficient epurate, depozitarea deșeurilor industriale și menajere, stațiile de alimentare cu combustibil pentru transport auto și spălarea autovehiculelor pe malul râului, uzinele petrochimice, transportul naval. Nitriții ajung în râu de pe terenurile agricole în urma ploilor abundente [3, 4].

Sectoarele investigate cu indicarea celor mai pronunțați poluanți, precum și coordonatele geografice ale punctelor de prelevare a probelor de către SHS, se prezintă în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Sectoarele investigate

Nr. d/o	Denumirea sectorului	Coordonatele geografice ale punctului de prelevare a probelor	Poluanții cei mai pronunțați
1.	s. Șirăuți	48° 15' 14,00'' N 26° 48' 15,74'' E	Nitriți, produse petroliere, ioni de amoniu (N-NH ₄), fenoli
2.	s. Criva	48° 15' 42,6'' N 26° 37' 51,9'' E	produse petroliere, fenoli, nitriți
3.	s. Braniște	47° 47' 23,8'' N 27° 14' 57,9'' E	produse petroliere, fenoli, nitriți
4.	or. Ungheni	47° 12' 00,6'' N 27° 47' 12,7'' E	produse petroliere, fenoli
5.	s. Valea Mare	47° 06' 29,4'' N 27° 52' 27,8'' E	produse petroliere, nitriți
6.	or. Leova	46° 29' 35,3'' N 28° 13' 47,9'' E	produse petroliere, fenoli, nitriți
7.	or. Cahul	45° 55' 07,3'' N 28° 07' 13,1'' E	produse petroliere, nitriți
8.	s. Giurgiulești	45° 28' 17,16'' N 28° 11' 52,20'' E	produse petroliere, nitriți, fenoli

Cel mai frecvent întâlnit poluant în toate sectoarele studiate îl reprezintă produsele petroliere. Valoarea maximă a concentrației acestui poluant pentru probele prelevate pe parcursul anilor 2011-2013 se prezintă în figura 3.5.

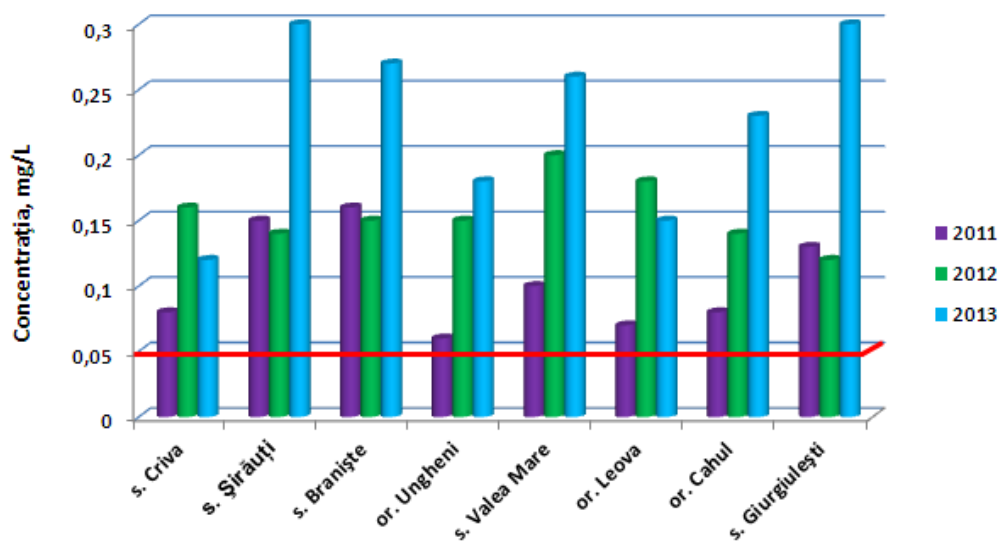


Fig. 3.5. Concentrația maximă a produselor petroliere.

Din figura 3.5 se observă că pentru toate scenariile prezentate concentrația produselor petroliere depășește valoarea CMA de 0,05 mg/L.

3.2. Modele numerice pentru estimarea parametrilor calității apei

Metodologia cercetării

Cercetările cu privire la determinarea transportului și dispersiei poluanților în sectoarele menționate au fost organizate conform schemei din figura 3.6.

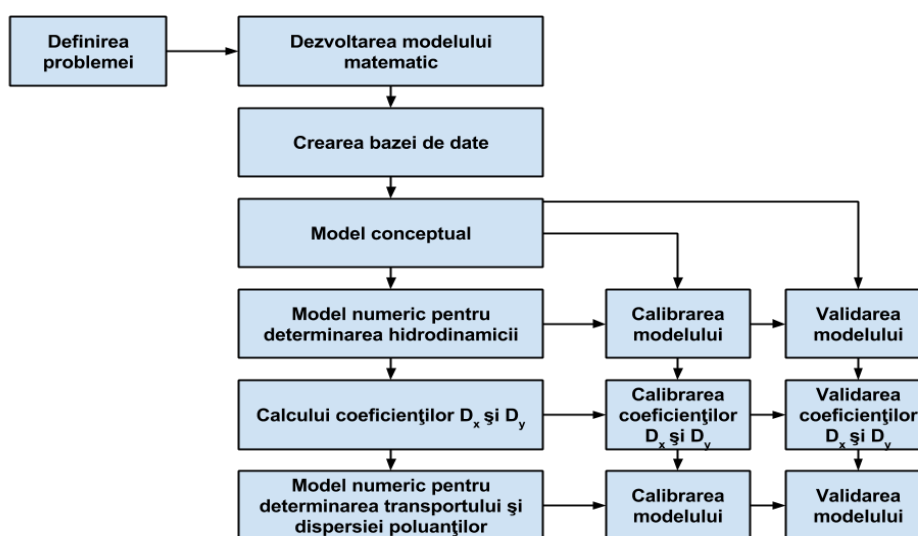


Fig. 3.6. Protocolul experimental utilizat in cercetare.

Definirea problemei: Lipsa unor instrumente eficiente de determinare a evoluției spatio-temporale a poluanților în râul Prut cu privire la estimarea câmpului de concentrații a poluanților.

Dezvoltarea modelului matematic: Modelul matematic a fost dezvoltat în baza sistemului de ecuații Navier-Stokes după coordonatele carteziene x și y , sub forma Reynolds (2.23), (2.24), împreună cu ecuația de continuitate pentru fluide incompresibile în mișcare nepermanentă (2.29) și a ecuației fundamentale de advecție-dispersie (2.34).

Crearea bazei de date cu privire la datele experimentale utilizate

Informații cu privire la concentrațiile medii anuale ale parametrilor prelevați de pe cele opt sectoare menționate ale râului Prut în perioada anilor 2008-2013 și depășirile CMA pe sectoarele investigate au fost oferite pentru studiu de către DMCM din cadrul SHS. Informațiile oferite au fost introduse într-o bază de date (figura 3.7, figurile A2.1 – A.2.3), constituită din patru tabele cu relațiile unu-la-mai-multe.

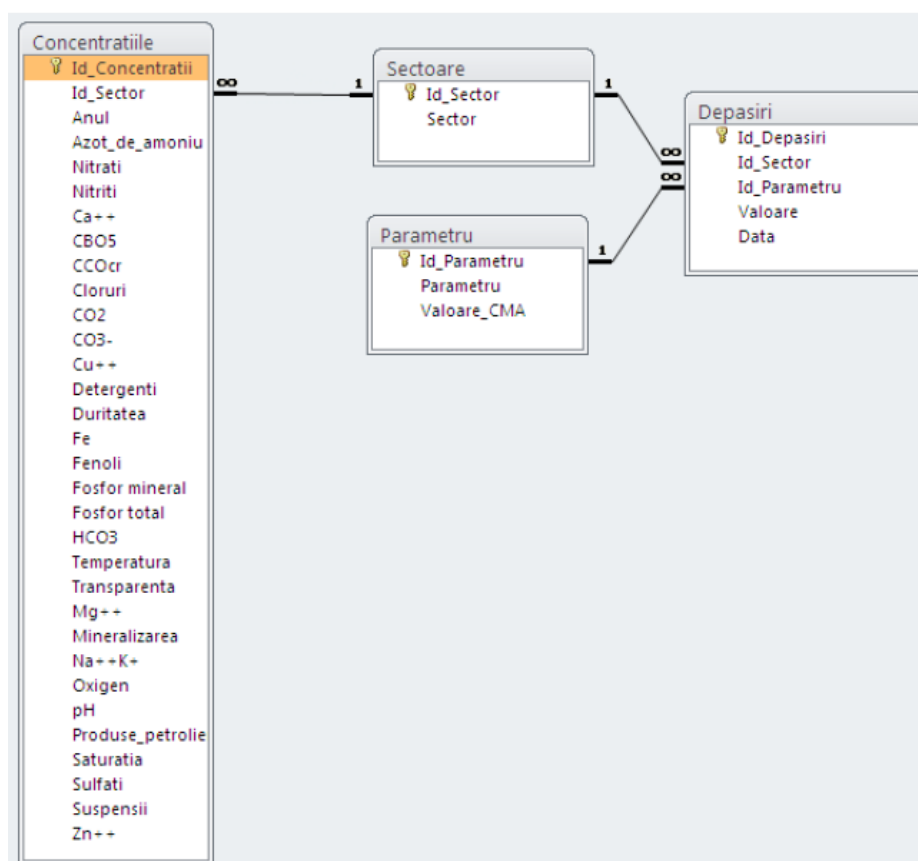


Fig. 3.7. Schema bazei de date.

Informațiile din baza de date se analizează cu ajutorul unui program Apele Prut, care se conectează la baza de date prin intermediul obiectului ADO Connection (figura 3.8).

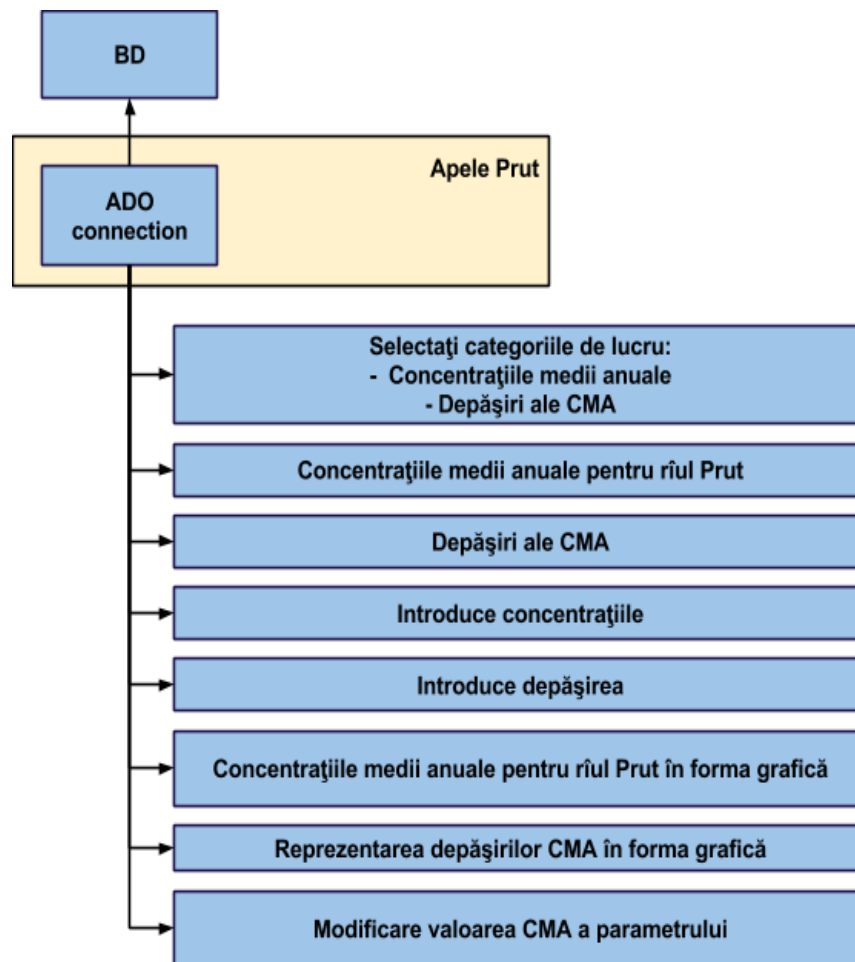


Fig. 3.8. Conectarea aplicației la baza de date.

Interfața aplicației se prezintă în figura 3.9.

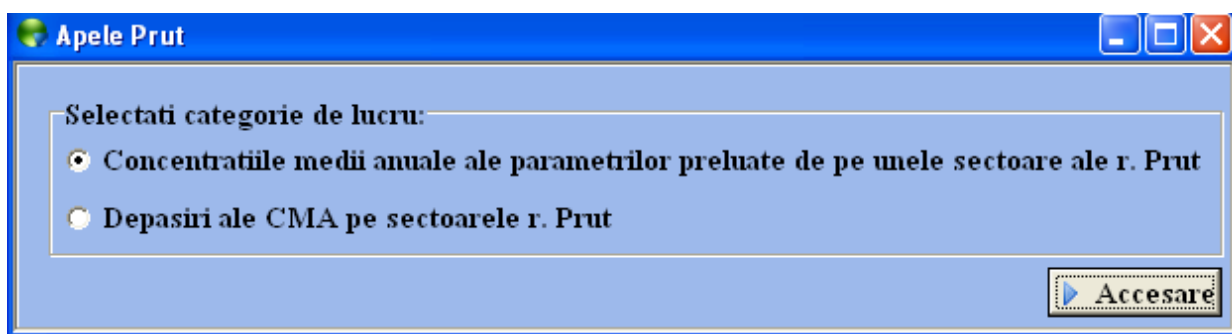


Fig. 3.9. Interfața grafică a aplicației.

Din momentul lansării aplicației se poate accesa o opțiune din cele două expusă. Prima opțiune a aplicației date permite vizualizarea concentrațiilor medii anuale ale parametrilor calității apei pentru perioada anilor 2008-2013. Executînd click dreapta pe suprafața tabelului de

afișare a datelor, se pot vizualiza ușor și alte opțiuni de lucru, cum ar fi: adăugarea unei noi concentrații, reprezentarea datelor în forma grafică și trecerea la depășirile CMA.

A doua opțiune a aplicației permite vizualizarea valorilor depășirilor CMA ale unor poluanți în sectoarele studiate. De asemenea, conține opțiuni de lucru: adăugarea unei noi concentrații, reprezentarea datelor în forma grafică și trecerea la concentrațiile medii anuale (figura 3.10).

Selectati sector:		Depasiri ale CMA pentru riul Prut or. Cahul					
Sector: or. Cahul		Valoarea inregistrata					
Parametru	Valoarea CMA	28.07.2011	18.08.2011	29.09.2011	19.04.2012	25.10.2012	21.11.2012
Produse petroliere	0,05	0,1	0,07	0	0	0,14	0,09
Nitriti(N-NO2)	0,02	0	0	0	0	0	0
Fenoli	0,001	0	0	0,041	0,002	0	0
Compusii_Zincului	0,01	0	0	0	0	0	0
Compusii_Cuprului	0,001	0	0	0	0	0	0
CBO5	3	0	0	0	0	0	0
Ioni_de_Amoniu	0,39	0	0	0	0	0	0

Fig. 3.10. Depășiri ale CMA.

Mai multe informații cu privire la aplicația menționată se prezintă în Anexa 2, figurile A2.4 – A2.11. Codul sursă al programului Apele Prut se găsește în Anexa 2a.

Pentru obținerea modelelor numerice în scopul determinării câmpului de concentrații a poluanților a fost alese unele scenarii cu privire la depășirile CMA ale produselor petroliere.

Model conceptual

În scopul rezolvării problemei propuse s-a folosit sistemul SMS. A fost elaborat modelul conceptual al problemei definite compus din evidențierea geometriei domeniului studiat, determinarea forțelor care acționează în domeniului dat și stabilirea caracteristicilor fizice. Schema procesului de modelare se prezintă în figura 3.11.

Imaginile digitale ale sectoarelor studiate au fost importate în SMS de pe site-ul <http://www.google.com/earth/>, care au fost digitizate direct în SMS prin crearea manuală a obiectelor cu parametri, cum ar fi: puncte, arce, poligoane. Pe fiecare arc au fost create segmente egale prin redistribuirea punctelor la o distanță egală. Din arcele create au fost construite poligoane, cu ajutorul cărora au fost determinate 3 zone specifice: malul stîng, malul drept și mijlocul râului cu atribuirea parametrilor respectivi. În continuare au fost atribuite condițiile la limită: debit în amonte și nivel în aval și condițiile inițiale la momentul inițial ($t = 0$): $v = 0,4$ m/s, adîncimea inițială pentru fiecare scenariu de modelare.

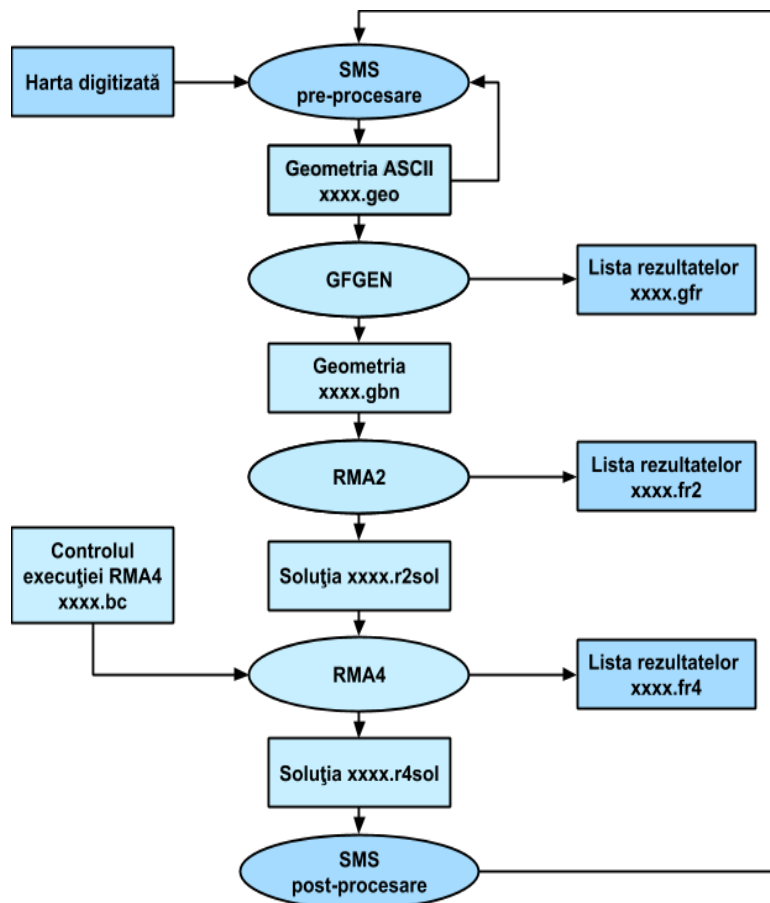


Fig. 3.11. Schema procesului de modelare.

Ulterior, modelul conceptual a fost transformat într-o rețea de elemente finite, care formează un strat de acoperire. Ca exemplu, pentru sectorul râului Prut din localitatea Criva acest lucru se poate vedea în figura 3.18.

În procesul de modelare a fost cercetat subiectul cu privire la convergența metodei numerice în dependență de dimensiunea rețelei de calcul. Reieșind din acest fapt, pentru fiecare sector studiat au fost construite câte trei rețele de calcul, cu mărirea numărului de elemente finite pentru fiecare rețea următoare. În rezultatul examinării rețelelor construite și comparării datelor obținute cu cele măsurate, s-a constatat că metoda converge pentru rețelele compuse dintr-un număr mai mare de elemente finite în comparație cu primele două rețele. În legătură cu acest fapt, pentru simulările numerice au fost alese rețelele cu un număr suficient de mare de elemente finite.

Modele numerice pentru determinarea hidrodinamicii

Modelele numerice pentru determinarea hidrodinamicii au fost obținute cu ajutorul programului RMA2 din sistemul SMS. Inițial au fost definite proprietățile materialului cu privire la cele 3 zone specifice: malul stîng, malul drept și mijlocul râului.

La determinarea *turbulenței* s-a ales metoda numărului Peclet. Valorile recomandate pentru numărul Peclet sunt cuprinse între 15-40. Prin urmare, coeficienții de vâscozitate turbulentă au fost calculați automat considerând numărul Peclet $Pe=20$ (figura 3.12 (a)). Pentru fiecare zonă au fost introduse valorile coeficientului de rugozitate Manning. Acest coeficient depinde de tipul de material din care este constituit patul albiei. Considerând patul albiei acoperit cu nisip și prundiș [3], s-a folosit valoarea de $n=0.03$, care a fost preluată din [71, 100]. În continuare, au fost specificate următoarele: regimul dinamic de simulare, timpul și pasul propus pentru simulare, criteriul de convergență cu privire la adâncimea apei (figura 3.12 (b)).

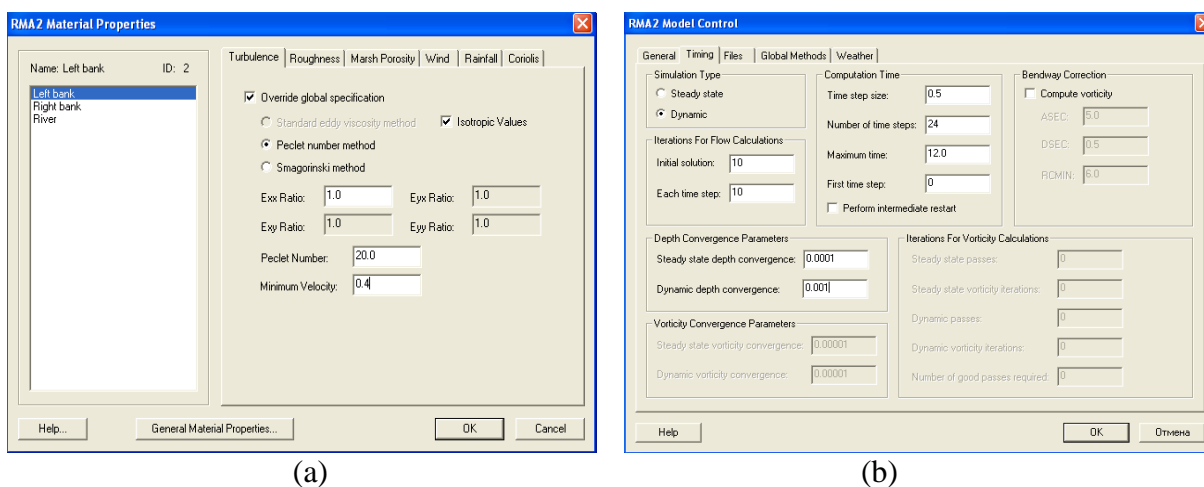


Fig. 3.12. Opțiunea Material Properties (a), Model control (b).

În rezultatul execuției programului RMA2, s-a obținut hidrodinamica sectoarelor studiate în toate elementele finite, în special viteza în direcțiile x și y , precum și viteza rezultantă. De asemenea, a fost determinată adâncimea apei în toate elementele finite.

Stabilitatea numerică a programului RMA2 a fost verificată cu ajutorul numărului Froude:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}, \quad (3.1)$$

unde V este viteza particulelor apei; g – accelerația căderii libere; h – adâncimea.

Numărul Froude este un număr adimensional care descrie curgerea. RMA2 poate deveni instabil numeric dacă numărul Froude este mai mare ca 0,6.

Pentru calibrarea modelelor s-au folosit datele prelevate în anul 2012. Calibrarea a fost realizată în aceleași condiții, utilizând aceeași rețea de calcul, cu aceleași proprietăți. Modelul a fost calibrat prin variația numărului Peclet, în limitele admisibile.

Modelele au fost validate pe un set de date prelevate în anul 2013. Comparând rezultatele obținute, s-a constatat că există o bună corelare a datelor calculate cu cele măsurate (figurile 3.26, 3.37, 3.47, 3.62, 3.72, 3.82, 3.92, 3.102).

Modele numerice pentru determinarea transportului și dispersiei poluanților

Pentru obținerea modelelor numerice cu privire la determinarea transportului și dispersiei poluanților, s-a folosit programul RMA4 din sistemul SMS. În funcție de datele de intrare pentru acest program au servit rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2.

Pentru început este necesar să stabilim condițiile la limită și condițiile inițiale. Condițiile la limită pot fi cele specificate la modelul conceptual, sau, la necesitate, pot fi modificate. În studiile de caz prezentate în lucrarea de față pentru fiecare scenariu simulat au fost stabilite condițiile la limită: debit în amonte și nivel în aval. Informații cu privire la valorile debitelor și niveluri au fost oferite de către SHS.

Simulările au fost realizate în regim dinamic. A fost stabilit timpul propus pentru simulare, pasul timpului și numărul de pași total. În RMA4 condițiile inițiale sunt valorile concentrației poluantului simulat.

În continuare au fost stabilite proprietățile celor 3 zone specifice: malul stâng, malul drept, mijlocul râului. Efectele turbulenței se iau în considerație prin utilizarea coeficienților de difuzie turbulentă D_x și D_y . Pentru determinarea acestor coeficienți s-au folosit formulele (2.42), (2.43).

Erorile determinate în procesul de simulare a dispersiei poluanților au fost analizate cu ajutorul opțiunii *Error Summary*, conform căreia se calculează 3 tipuri de erori:

- *Mean Error* – eroarea medie pentru noduri. Această valoare uneori poate fi înșelătoare, deoarece la adunarea erorilor pozitive și negative se poate obține valoarea zero (erorile pot fi compensate reciproc).

- *Mean Absolute Error* – eroarea medie absolută. Este media valorilor erorilor absolute.

- *Root Mean Square* – rădăcina sumelor pătratelor. Se calculează suma pătratelor erorilor și apoi rădăcina pătrată din acest rezultat. Această normă tinde să dea mai multă pondere cazurilor în care există un număr redus de erori extreme.

Calibrarea și validarea modelelor numerice cu privire la determinarea transportului și dispersiei poluanților

Pentru a putea fi utilizate în practică modelele numerice obținute trebuie să fie calibrate și validate. Calibrarea modelelor cu privire la simularea poluanților este dificilă, acuratețea modelului fiind afectată de complexitatea fenomenelor fizico-chimice care au loc în sistemele de

tip rîu. Influența turbulenței în câmpul convectiv se reflectă prin coeficienții de difuzie turbulentă D_x și D_y , precizarea cărora din datele observate deseori este dificilă. Coeficienții menționați pot fi determinați și cu ajutorul formulelor empirice, pentru care sunt dezvoltate numeroase modele empirice. În cazul aplicării unui model inadecvat, vom obține o estimare inexactă a parametrilor.

Reieșind din cele expuse, fiecare sector al rîului e necesar de a fi tratat individual pentru alegerea metodei în vederea estimării corecte a coeficienților de difuzie D_x și D_y .

Prin urmare, calibrarea a fost realizată prin variația coeficienților de difuzie turbulentă D_x și D_y , care au fost calculați prin două modalități:

- 1) conform formulelor empirice (2.42), (2.43);
- 2) în baza numărului Peclet (2.44).

Pentru fiecare sector studiat au fost calculați coeficienții menționați pentru malul stîng, malul drept și mijlocul rîului. S-a constatat că varianta în care se utilizează numărul Peclet este mai bună, deoarece permite variația proprietăților locale de difuzie turbulentă în funcție de câmpul variabil de viteze, în comparație cu folosirea formulelor empirice, care au fost elaborate și dezvoltate în baza probelor prelevate din mai multe rîuri cu diferiți parametri ai curgerii apei. În legătură cu complexitatea fenomenelor fizico-chimice care au loc în rîuri, nu toate modelele pot fi aplicate unui anumit rîu și există diferențe chiar și între aplicarea modelelor la același segment de rîu. Erorile modelelor numerice calibrate prin cele două modalități menționate se prezintă în tabelul 3.4, din care se observă că erorile modelelor calibrate în baza numărului Peclet sunt mai mici comparativ cu erorile modelelor calibrate conform formulelor empirice.

Tabelul 3.4. Calibrarea modelelor

Denumirea sectorului	Calibrarea prin formule empirice (eroarea absolută)	Calibrarea prin numărul Peclet (eroarea absolută)
s. Crița	0,131	0,021
s. Sîrăuți	0,124	0,018
s. Braniște	0,026	0,001
or. Ungheni	0,030	0,001
s. Valea Mare	0,241	0,035
or. Leova	0,312	0,065
or. Cahul	0,034	0,001
s. Giurgiulești	0,231	0,027

Numărul Peclet a fost calculat pentru fiecare zonă specifică al sectorului: malul stîng, malul drept și mijlocul rîului pentru fiecare sector studiat în parte. Efectuînd numeroase simulări, au fost determinate valorile optime ale coeficienților D_x și D_y în funcție de numărul Peclet, care diferă de la un sector la altul (tabelul 3.5).

Tabelul 3.5. Coeficienții de difuzie turbulentă D_x și D_y

	s. Criva (Pe=15)			s. Șirăuți (Pe=15)			s. Braniște (Pe=20)			or. Ungheni (Pe=25)		
	m.s.	m.d.	m.	m.s.	m.d.	m.	m.s.	m.d.	m.	m.s.	m.d.	m.
D_x	0,48	0,49	0,48	0,35	0,36	0,34	0,55	0,56	0,54	0,37	0,34	0,38
D_y	1,60	1,80	1,70	0,78	0,78	0,79	1,00	1,10	1,30	0,40	0,38	0,45
	s. Valea Mare (Pe=30)			or. Leova (Pe=35)			or. Cahul (Pe=15)			s. Giurgiuleşti (Pe=25)		
	m.s.	m.d.	m.	m.s.	m.d.	m.	m.s.	m.d.	m.	m.s.	m.d.	m.
D_x	0,29	0,29	0,28	0,52	0,51	0,53	0,30	0,32	0,29	0,23	0,21	0,20
D_y	1,00	1,20	1,10	1,10	1,00	1,20	0,44	0,45	0,43	0,73	0,72	0,71

Modelele au fost calibrate pe un set de date prelevate în anul 2012 (tabelul 3.6). Pentru calibrare s-a folosit aceeași rețea de calcul folosită la modelare, cu aceleași dimensiuni și rugozitate. Urmînd procedeul menționat și efectuînd numeroase simulări numerice, au fost optimizați coeficienții D_x și D_y .

Pentru validarea modelelor s-a folosit aceeași rețea de calcul, folosită la calibrare, în aceleași condiții. Modelele au fost validate pentru un set de date prelevate în anul 2013 (tabelul 3.7).

Tabelul 3.6. Date folosite la calibrare

Denumirea sectorului	s. Criva	s. Șirăuți	s. Braniște	or. Ungheni	s. Valea Mare	or. Leova	or. Cahul	s. Giurgiuleşti
Data prelevării probei	07.11.2012	03.10.2012	04.07.2012	12.12.2012	13.11.2012	26.10.2012	25.10.2012	21.11.2012
Concentrația, mg/L	0,160	0,140	0,150	0,150	0,230	0,180	0,140	0,120

Tabelul 3.7. Date foloste pentru validare

Denumirea sectorului	s. Criva	s. Șirăuți	s. Braniște	or. Ungheni	s. Valea Mare	or. Leova	or. Cahul	s. Giurgiuleşti
Data prelevării probei	14.05.2013	04.09.2013	08.08.2013	11.07.2013	13.06.2013	21.05.2013	22.05.2013	22.05.2013
Concentrația, mg/L	0,120	0,340	0,270	0,180	0,260	0,150	0,130	0,320

S-a constatat o bună corelare dintre datele măsurate cu cele calculate prin intermediul modelelor numerice (vezi tabelul 3.8).

Tabelul 3.8. Compararea datelor măsurate cu cele calculate

Sector al râului Prut	s. Criva, mg/L	s. Șirăuți, mg/L	s. Braniste, mg/L	or. Ungheni, mg/L	s. Valea Mare, mg/L	or. Leova, mg/L	or. Cahul, mg/L	s. Giurgulești, mg/L
Date măsurate	0,080	0,120	0,150	0,060	0,100	0,060	0,066	0,130
Date calculate	0,075	0,110	0,143	0,054	0,090	0,056	0,070	0,125
Date măsurate folosite la calibrare	0,160	0,140	0,150	0,150	0,200	0,180	0,140	0,120
Date calculate	0,158	0,135	0,149	0,149	0,194	0,178	0,138	0,118
Date măsurate folosite la validare	0,120	0,340	0,270	0,180	0,260	0,150	0,130	0,320
Date calculate	0,119	0,335	0,268	0,179	0,255	0,147	0,127	0,318

Compararea rezultatelor obținute cu privire la concentrația produselor petroliere a arătat o bună corelare dintre datele calculate cu cele măsurate în teren.

3.3. Rezultatele simulărilor numerice

În continuare se vor prezenta informații cu privire la studiu și cercetările menționate.

În figura 3.13 se prezintă valoarea maximă a numărului Froude (3.1) pentru fiecare sector studiat, în funcție de scenariile de simulare, calibrare și validare ale modelelor numerice obținute cu ajutorul programului RMA2.

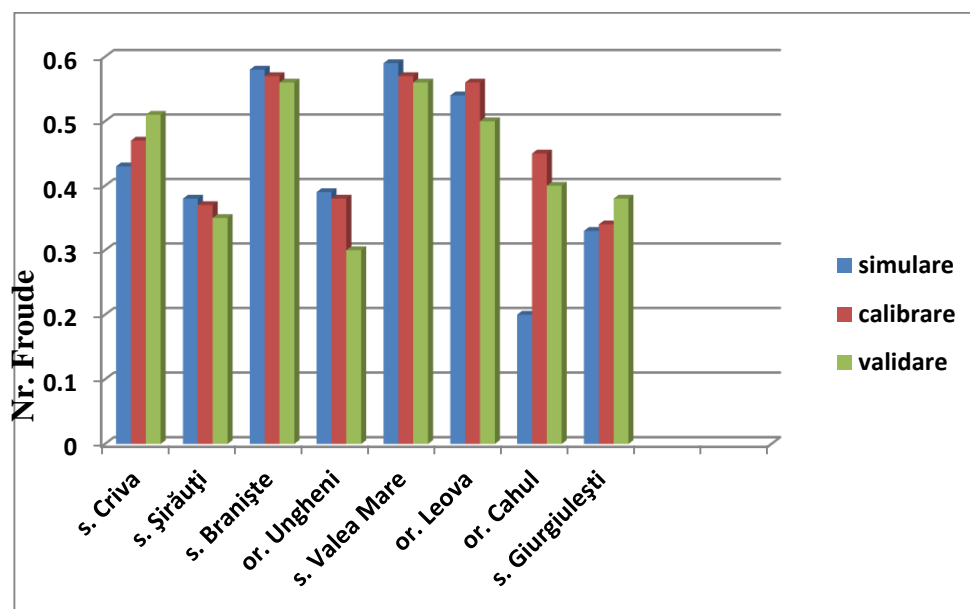


Fig. 3.13. Valoarea maximă a numărului Froude pentru sectoarele studiate.

Se observă că valoarea maximă a numărului Froude nu depășește valoarea critică de 0,6.

Unele din rezultatele obținute în urma simulărilor numerice cu privire la hidrodinamica și dispersia produselor petroliere, în special valorile minime și maxime ale parametrilor examinați, se prezintă în tabelul 3.9.

Tabelul 3.9. Rezultatele simulărilor numerice

Localitatea	Scenariul	Viteza rezultantă, m/s		Adâncimea apei, m		Concentrația în zona de confluență, mg/L		Concentrația în punctul de prelevare a probelor, mg/L	
		min	max	min	max	min	max	min	max
s. Criva	11.05.2011	0,430	2,016	0,692	2,218	0,001	0,079	0,001	0,079
	07.11.2012	0,318	1,930	0,403	1,708	0,001	0,158	0,001	0,160
	14.05.2013	0,595	2,739	0,905	2,951	0,001	0,119	0,001	0,120
s. Șirăuți	23.06.2011	0,076	1,268	0,687	1,240	0,004	0,124	0,046	0,124
	03.10.2012	0,076	1,176	0,399	1,004	0,051	0,138	0,052	0,134
	04.09.2013	0,081	1,022	0,319	0,872	0,250	0,343	0,254	0,344
s. Braniște	10.11.2011	0,780	3,014	2,001	2,590	0,030	0,146	0,033	0,150
	04.07.2012	0,780	3,014	2,001	2,590	0,021	0,137	0,023	0,140
	08.08.2013	0,780	3,014	2,001	2,590	0,076	0,276	0,080	0,276
or. Ungheni	05.05.2011	0,533	1,851	0,845	4,182	0,042	0,054	0,046	0,059
	12.12.2012	0,303	1,649	0,271	2,482	0,140	0,148	0,145	0,150
	11.07.2013	0,443	2,339	0,406	3,518	0,161	0,179	0,164	0,180
s. Valea Mare	02.06.2011	0,377	3,808	0,463	3,359	0,001	0,081	0,001	0,100
	13.11.2012	0,646	5,171	1,051	5,687	0,001	0,170	0,001	0,200
	13.06.2013	0,646	5,171	1,051	5,687	0,001	0,259	0,001	0,260
or. Leova	25.05.2011	0,641	4,380	1,377	4,838	0,002	0,069	0,001	0,070
	26.10.2012	0,750	2,854	0,380	4,827	0,001	0,176	0,001	0,180
	21.05.2013	0,633	4,262	0,867	4,789	0,146	0,179	0,001	0,179
or. Cahul	13.01.2011	0,151	2,539	1,702	15,374	0,063	0,067	0,060	0,070
	25.10.2012	0,404	3,555	0,915	4,969	0,013	0,136	0,013	0,140
	22.05.2013	0,363	3,112	0,864	4,520	0,112	0,126	0,115	0,129
s. Giurgiu-lești	28.07.2011	0,792	1,999	1,783	3,787	0,00004	0,128	0,00004	0,129
	22.11.2012	0,854	2,127	1,953	4,079	0,020	0,118	0,020	0,119
	22.05.2013	0,939	2,403	2,092	4,475	0,001	0,318	0,001	0,319

Informațiile detaliate cu privire la simulările numerice realizate pentru fiecare sector în parte se prezintă în continuare.

3.3.1 Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Criva

Au fost examinate și introduse în baza de date concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei pentru perioada anilor 2010-2013 (figura A.3.1).

Din analiza probelor medii anuale s-a constatat că în anul 2010 a fost depășită valoarea CMA pentru nitriți, CBO5 și compușii cuprului, în anii 2011 și 2012 pentru nitriți și produse petroliere, iar în 2013 pentru produse petroliere.

De asemenea, pentru acest sector au fost examinate și introduse în baza de date depășiri ale CMA pe parcursul anilor 2011, 2012 și 2013, care s-au înregistrat pentru produse petroliere, nitriți, fenoli și ioni de amoniu (tabelul A3.1).

Cele mai semnificative depășiri ale CMA s-au înregistrat pentru produse petroliere (figura 3.14), de aceea modelarea numerică s-a realizat pentru poluantul menționat.

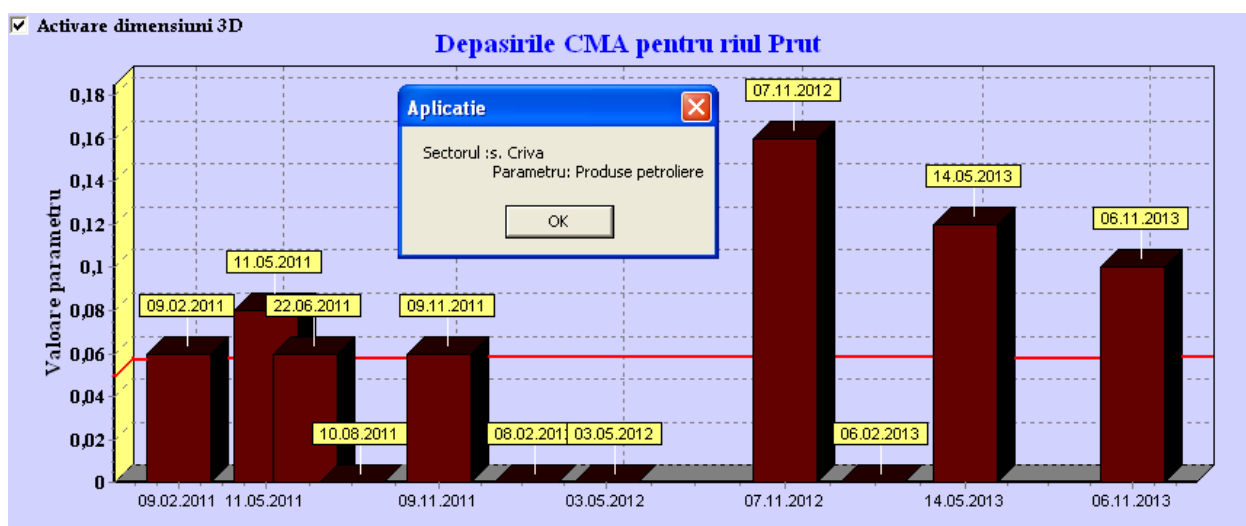


Fig. 3.14. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

În scopul simulării numerice a fost ales un sector al râului Prut din localitatea Criva cu lungimea de 1500 m, care a fost discretizat direct în sistemul SMS în elemente finite prin divizarea în 75 de profile transversale din 20 în 20 m, în total 331 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.15.

Simulările au fost realizate în regim dinamic, pentru 12 ore, pasul 0.5 ore. Au fost simulate situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este amonte al sectorului studiat.

Pentru simulare s-a ales următorul scenariu:

- data prelevării probei: **11.05.2011**;
- concentrația probei prelevate: **0,08 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$; în aval – nivel $h = 0,69 \text{ m}$.

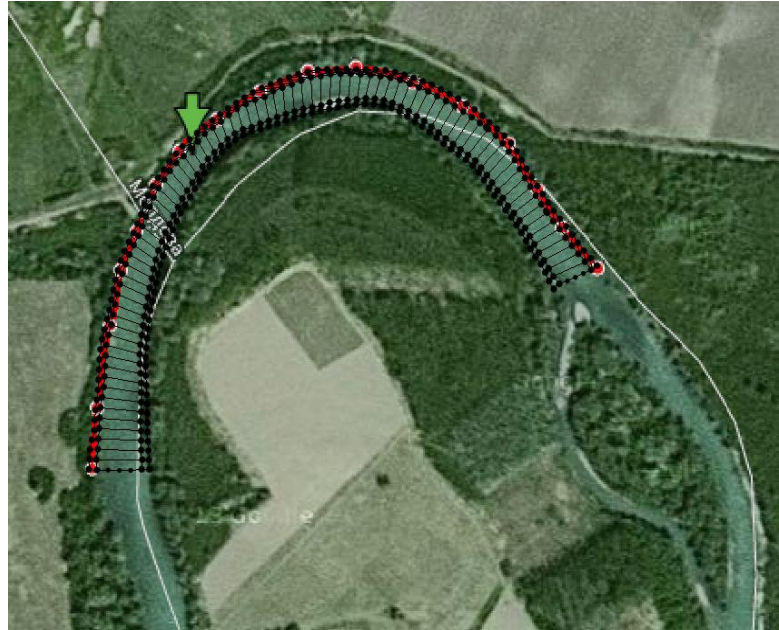
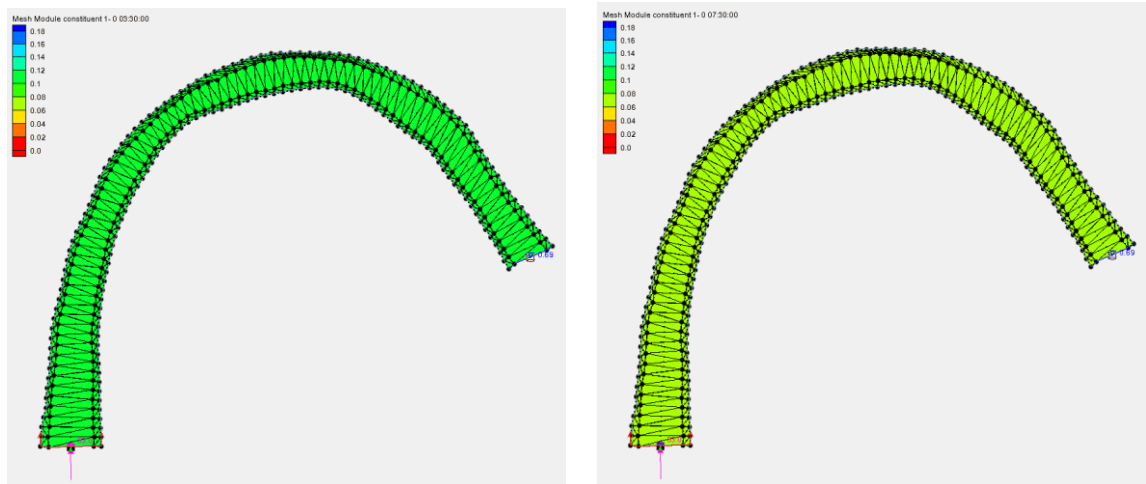


Fig. 3.15. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde - punctul de prelevare a probelor).

Pentru a stabili convergența metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 1034 de elemente.

În continuare se vor prezenta unele rezultate obținute cu ajutorul rețelelor de calcul.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 502 elemente, 1181 noduri. În figurile 3.16 (a) – 3.16 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 minute, respectiv 7 ore și 30 minute din momentul confluenței poluantului cu apa.



(a) (b)
Fig. 3.16. Câmpul de concentrații peste 3,30 ore (a) și 7,30 ore (b).

Pe tot sectorul studiat se observă o scădere mică a concentrației poluantului după 3 ore și 30 minute și o reducere mai mare a concentrației după 7 ore și 30 minute.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 670 elemente, 1458 noduri. În figurile 3.17 (a) – 3.17 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 minute, respectiv 7 ore și 30 minute din momentul confluenței poluantului cu apa.

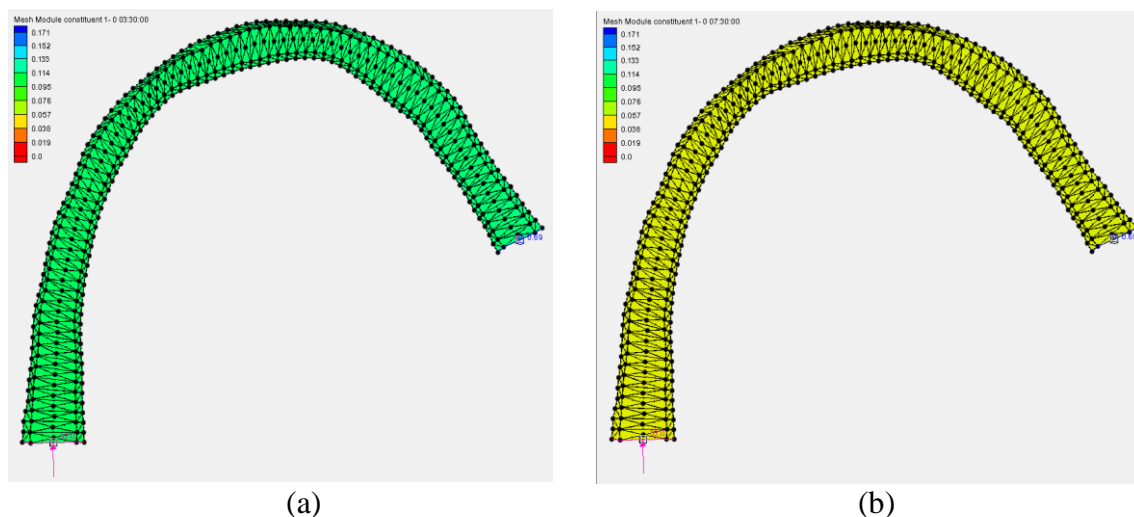


Fig. 3.17. Câmpul de concentrații peste 3,30 ore (a) și 7,30 ore (b).

Din datele prezentate se observă că după 3 ore și 30 minute concentrația poluantului s-a redus neesențial, iar după 7 ore și 30 minute concentrația poluantului s-a redus substanțial.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 1034 elemente, 2251 de noduri (figura 3.18).

Pentru a verifica calitatea rețelei s-a folosit opțiunea *Mesh Quality* din sistemul SMS, conform căreia e necesar de a fi respectate regulile ce țin de următoarele aspecte:

- **unghiul interior minim / maxim:** pentru elementele triunghiulare, dacă unghiul este cuprins între 10 și 150 de grade, probleme de calcul pot fi în general evitate. Este necesară o atenție mare atunci când marginile curbate sunt definite (nodurile neliniare de mijloc) pentru a evita suprapunerea de părți de elemente;
- **gradient de ambiguu:** toate elementele triunghiulare sunt plane prin definiție. Cu toate acestea, elementele patrulare pot varia semnificativ de la un plan. Este o idee bună de a construi elementele cât de aproape posibil de plan. Aceasta se opune existenței unor elemente a căror pantă, sau direcția de drenaj este ambiguă;
- **patrulare convexe:** pentru elementele patrulare, în cazul, în care unghiul este între 30 și 150 de grade, problemele de calcul vor fi în general ușor de evitat. Când marginile curbate sunt definite trebuie să fim atenți pentru a preveni suprapunerea laturilor elementului;
- **panta maximă:** schimbările rapide ale pantei pot provoca instabilitate numerică;

- **schimbarea ariei elementului:** nodurile trebuie să fie mai abundente și elemente mai mici în zonele în care variabilele (u , v , și h) din soluție se schimbă rapid. Aceste zone pot fi situate aproape de constrângeri de canal sau de luncă, la cotituri, sau la schimbări bruște în panta albiei. Rețeaua ar trebui să fie densă în zonele critice de interes.

- **conectarea elementelor:** se recomandă evitarea conectării la un nod a mai mult de opt elemente [89].

Dacă una sau mai multe din aceste reguli nu sunt respectate, atunci în rețea apar erori sub forma unor linii drepte în elementul respectiv, care sunt de culoare conform legendei din opțiunea *Mesh Quality*.

Verificarea calității rețelei de calcul construită pentru sectorul r. Prut din localitatea Criva se prezintă în figura 3.19, din care se observă că în rețeaua examinată nu există erori.

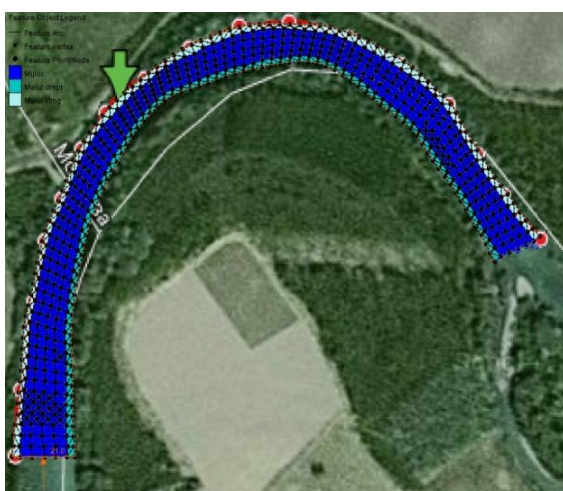


Fig. 3.18. Rețeaua de calcul (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

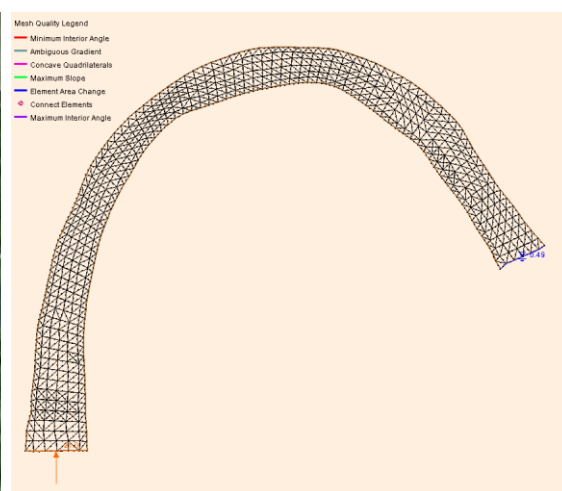


Fig. 3.19. Calitatea rețelei.

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile 3.20 – 3.21.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.691893
->Maximum	2.21855

(a)

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.430367
->Maximum	2.0162

(b)

Fig. 3.20. Adâncimea apei (a) și viteza rezultantă (b).

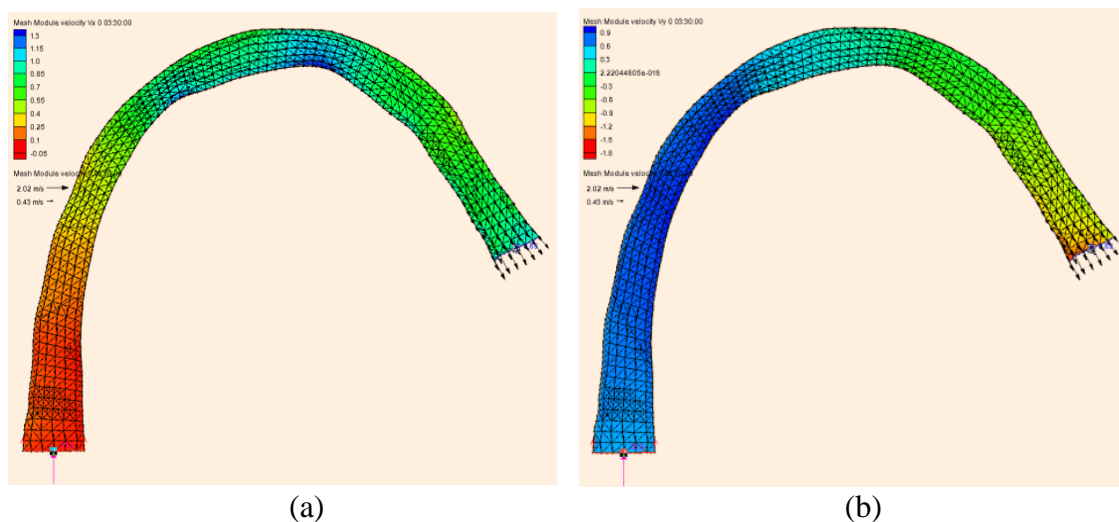


Fig. 3.21. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

S-a constatat că în direcția x particulele apei se mișcă cu o viteză mai mare în comparație cu deplasarea în direcția y , viteza maximă fiind pe axa x de 1,3 m/s, iar pe y de 0,9 m/s.

Datele obținute în rezultatul aplicării programului RMA2 au fost folosite în calitate de date de intrare pentru programul RMA4. Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA4 se prezintă în figurile 3.22 – 3.23.

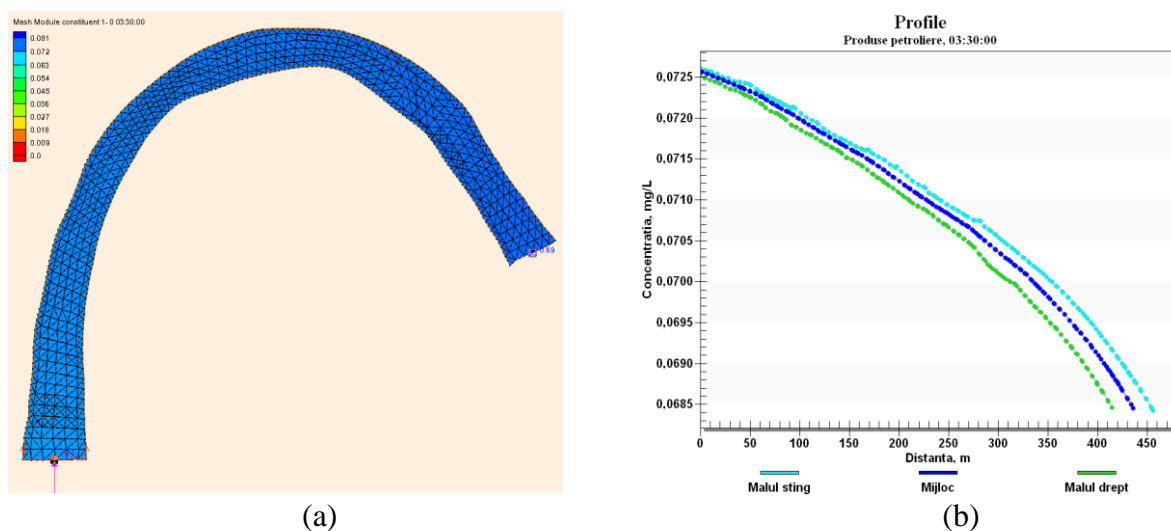


Fig. 3.22. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3.30 ore.

După 3 ore și 30 minute concentrația poluantului scade preponderent în zona de confluență.

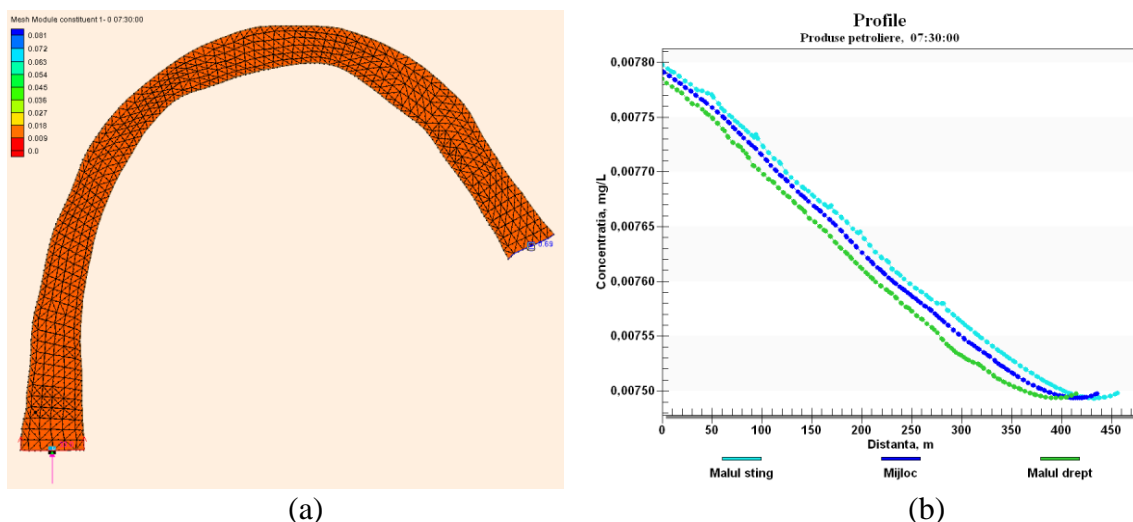


Fig. 3.23. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 7,30 ore.

După 7 ore și 30 minute concentrația poluantului s-a micșorat semnificativ în comparație cu prima și a doua modelare. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura 3.24.

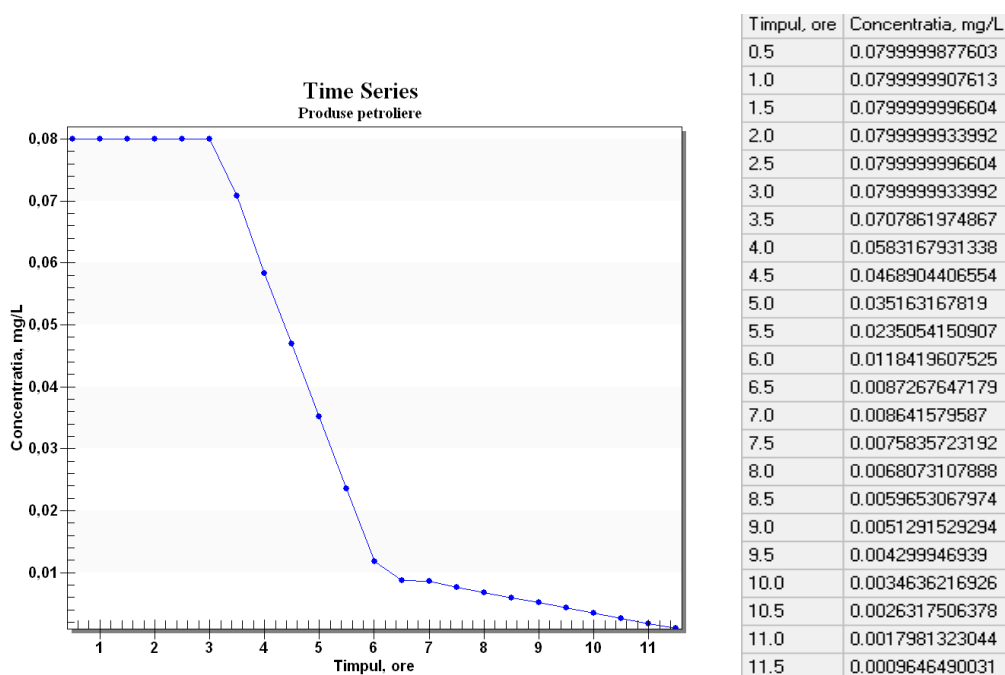


Fig. 3.24. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

S-a stabilit că după 5 ore din momentul confluenței produselor petroliere cu apa valoarea concentrației s-a micșorat semnificativ și nu mai depășește CMA.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului se prezintă în Anexa 3.

Au fost analizate erorile obținute la determinarea valorilor concentrațiilor produselor petroliere în modelele numerice pînă și după calibrare (figura 3.25).

Error Summary		Error Summary	
s. Criva - 11.05.2011		s. Criva - 07.11.2012	
Mean Error:	-0,116	Mean Error:	-0,001
Mean Abs. Error:	0,116	Mean Abs. Error:	0,021
Root Mean Sq. Error:	0,118	Root Mean Sq. Error:	0,025

Fig. 3.25. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

Se observă micșorarea semnificativă a erorilor după calibrarea modelului numeric.

Au fost comparate datele măsurate cu cele obținute în rezultatul simulării (figura 3.26).

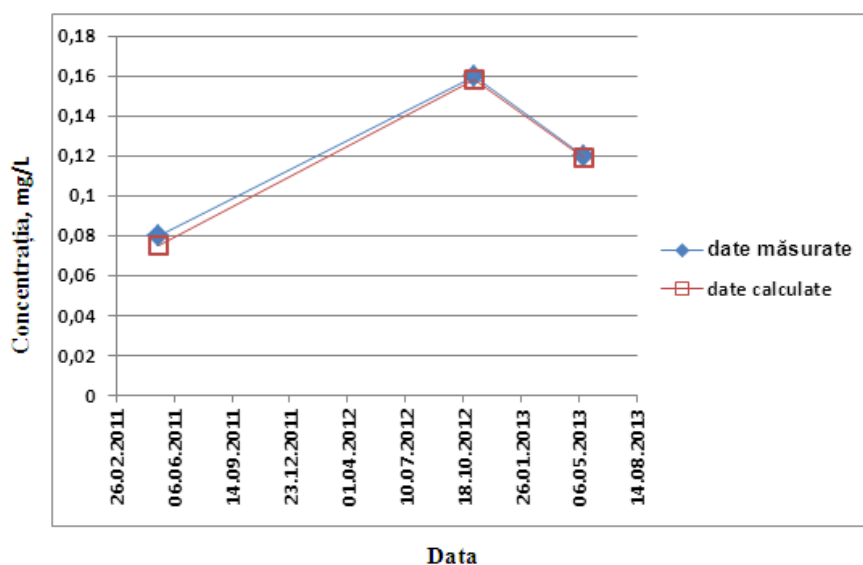


Fig. 3.26. Compararea datelor măsurate cu cele calculate peste 3 ore din momentul confluenței poluantului cu apa.

Se observă o bună corelare dintre datele măsurate cu cele calculate pentru scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului numeric.

Din modelele numerice obținute cu privire la dispersia produselor petroliere în acest sector s-a constatat că în punctul de prelevare a probelor și pe tot sectorul studiat concentrația produselor petroliere scade semnificativ după 5 ore din momentul confluenței cu apa.

3.3.2 Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Șirăuți

Concentrațiile medii anuale ale probelor prelevate în perioada anilor 2008-2013 de pe sectorul râului Prut din localitatea Șirăuți se prezintă în figura A4.1.

Din analiza concentrațiilor medii anuale s-a constatat că în anul 2008 au fost depășite valorile CMA pentru compușii cuprului și produsele petroliere, în 2010 pentru compușii cuprului, în 2011 pentru nitriți și compușii cuprului, în 2012 pentru compușii cuprului, produse petroliere, iar în 2013 pentru compușii cuprului și produse petroliere.

S-a stabilit că în perioada 2008-2013 s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru produse petroliere, nitriți, fenoli și ioni de amoniu (tabelul A4.1). În figura 3.27 se prezintă depășirile CMA pentru produse petroliere.

Pentru modelare numerică s-au ales unele scenarii cu depășirile CMA pentru produse petroliere și s-a propus un sector al râului Prut cu lungimea de 1 km, care a fost discretizat direct în sistemul SMS în elemente finite prin divizarea în 50 de profile transversale din 20 în 20 m, în total 150 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.28.

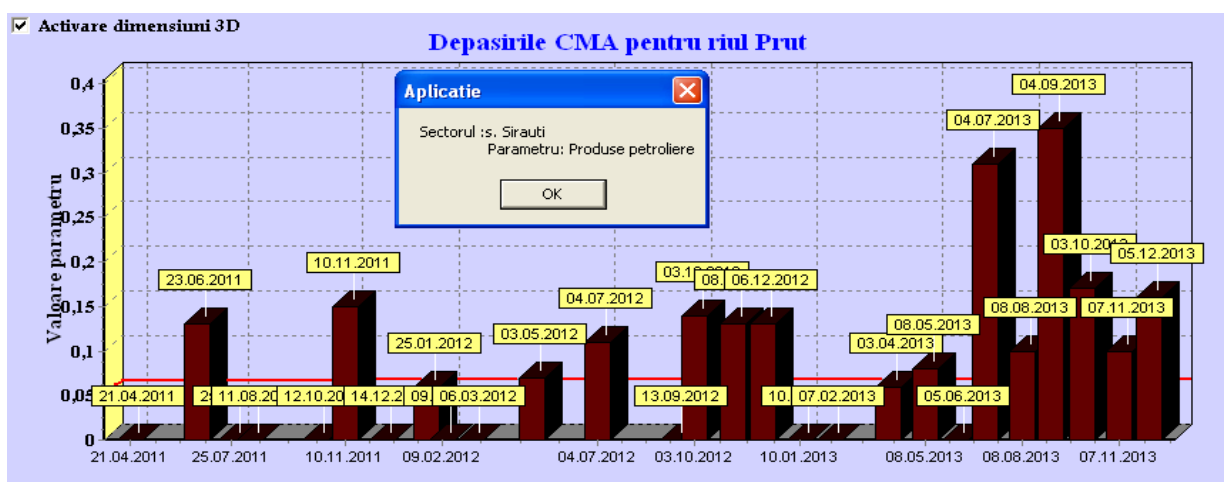


Fig. 3.27. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

Simulările cu privire la modelarea, calibrarea și validarea produselor petroliere s-au petrecut în regim dinamic, pentru 12 ore, cu pasul 0,5 ore. Au fost simulate situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este un sector al malului stâng.



Fig. 3.28. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

A fost simulat următorul scenariu:

- data prelevării probei: **23.06.2011**;
- concentrația probei prelevate: **0,13 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 33,2 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval - nivel $h = 0,69 \text{ m}$.

În vederea stabilirii convergenței metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 600 de elemente.

Unele din rezultate obținute cu ajutorul rețelelor menționate se prezintă în continuare.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 250 elemente și 657 noduri. În figurile A4.2 (a) – A4.2 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 1 oră, respectiv 7 ore și 30 minute din momentul confluenței poluantului cu apa. Conform rezultatelor simulării, s-a constatat că metoda nu converge spre valoarea de 0,13 mg/L.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 400 elemente, 804 noduri. În figurile A4.3 (a) – A4.3 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 1 oră, respectiv 7 ore și 30 minute din momentul confluenței poluantului cu apa. Analizând rezultatele simulării realizate pe a doua rețea de calcul, de asemenea s-a observat că metoda nu converge spre valoarea de 0,13 mg/L.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 600 elemente, 1206 noduri (figura 3.29 (a)). A fost verificată calitatea rețelei (figura 3.29 (b)).

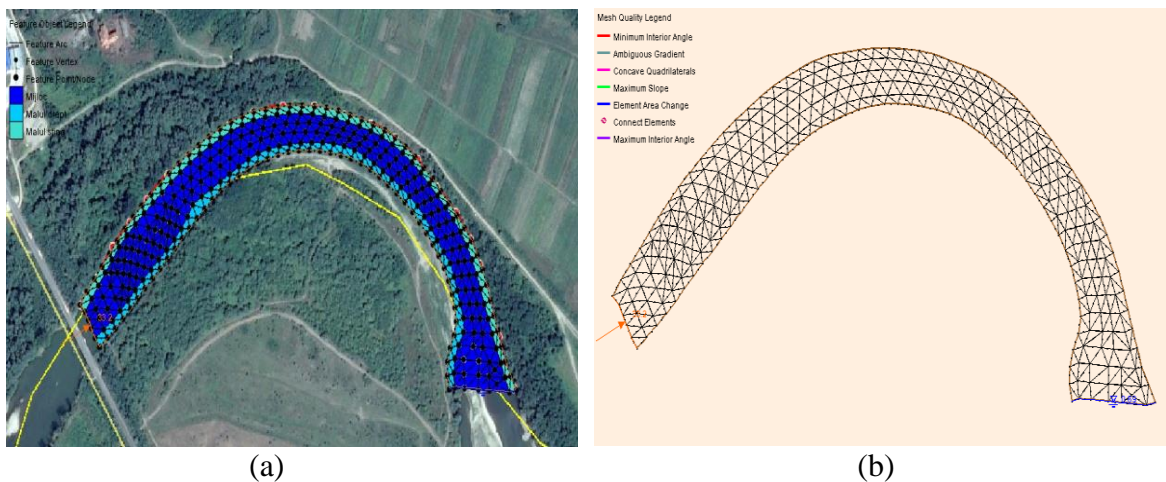


Fig. 3.29. Rețeaua de calcul (a) și calitatea rețelei de calcul (b).

Sectorul malului stâng, unde a avut loc confluența poluantului cu apa, se poate vedea din figura 3.30. În rezultatul aplicării programului RMA2 menționat au fost determinate în toate elementele finite ale geometriei domeniului studiat vitezele locale în direcțiile x și y (inclusiv viteza rezultantă), precum și adâncimea apei h (figurile 3.31 – 3.32).

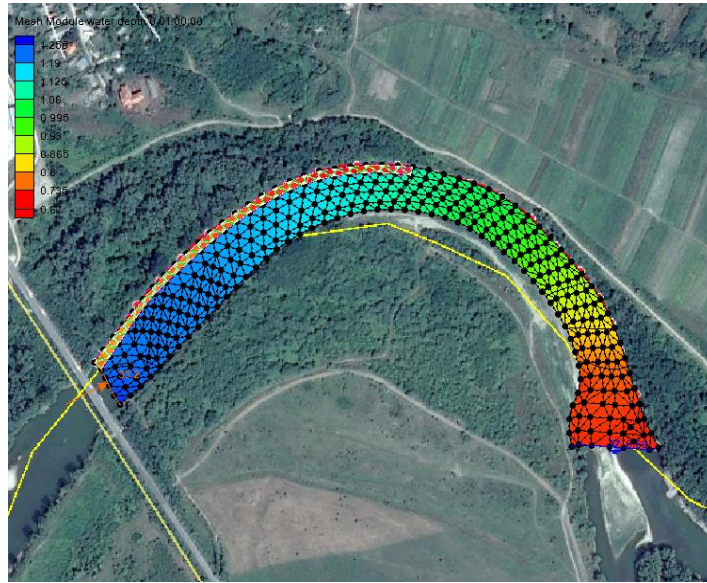


Fig. 3.30. Confluența poluantului cu apa.

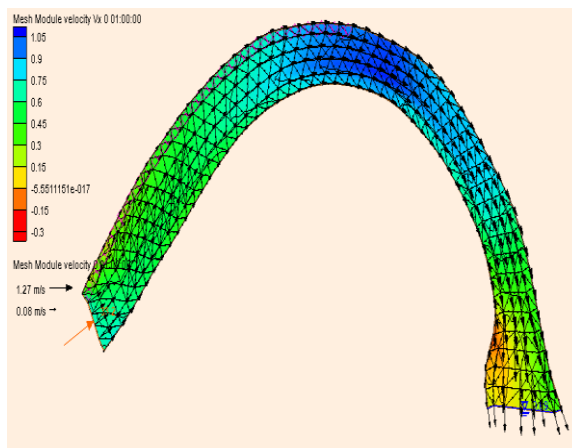
Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.687607
->Maximum	1.24032

(a)

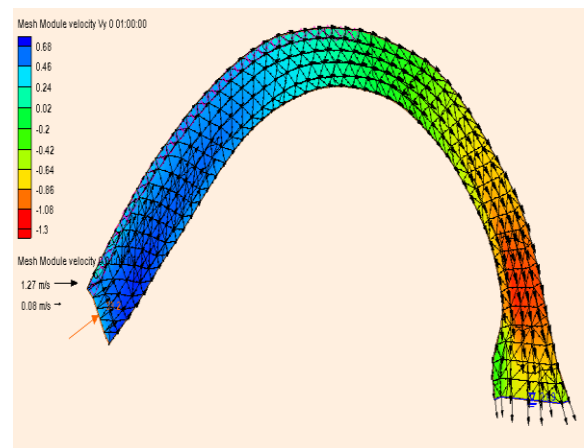
Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.0760002
->Maximum	1.26805

(b)

Fig. 3.31. Adâncimea apei (a) și viteza rezultantă (b).



(a)



(b)

Fig. 3.32. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

S-a stabilit că viteza maximă a deplasării particulelor în direcția x este de 1,05 m/s, iar în direcția y de 0,68 m/s.

În continuare, folosind rezultatele obținute, a fost aplicat programul RMA4. Rezultatele se prezintă în figurile 3.33 – 3.34.

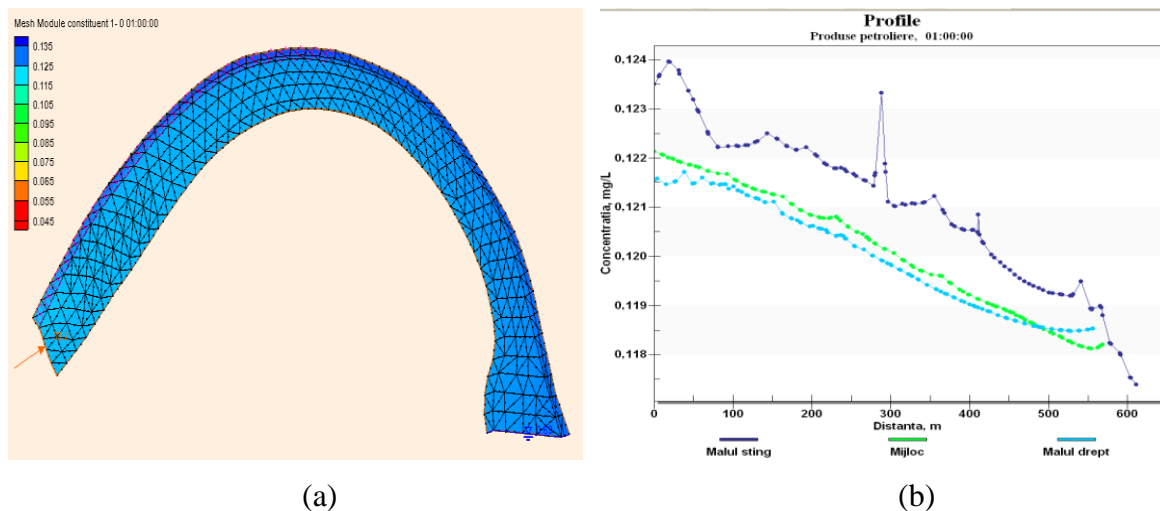


Fig. 3.33. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.

Din figura 3.33 se observă că peste o oră concentrația poluantului rămîne pronunțată în zona de confluență și valoarea concentrației poluantului este mai mare la malul sting, unde a avut loc confluența poluantului cu apa, și mai mica la malul drept și la mijloc.

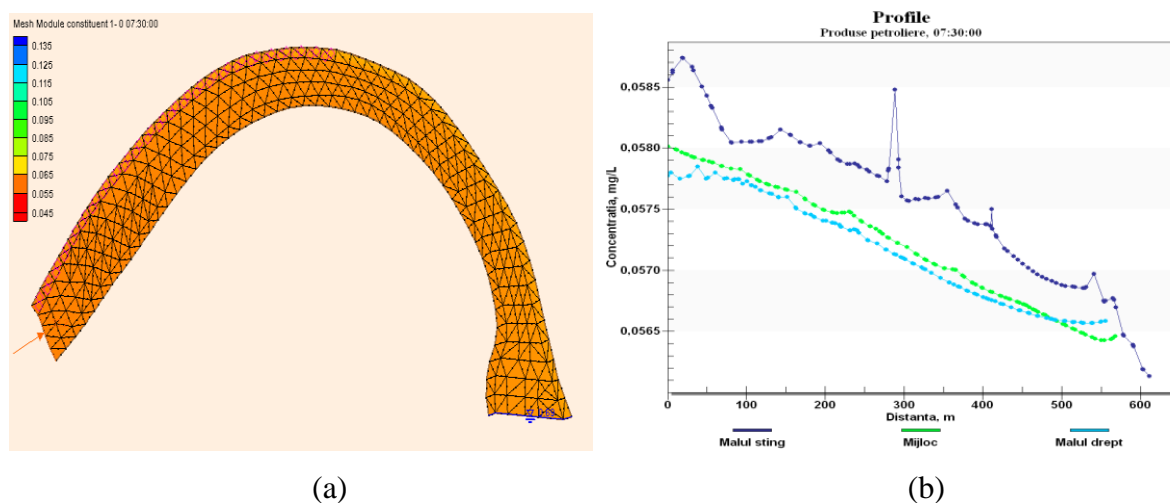


Fig. 3.34. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 7,30 ore.

După 7 ore și 30 minute concentrația poluantului s-a redus substanțial pe tot sectorul studiat. Valorile concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura 3.35.

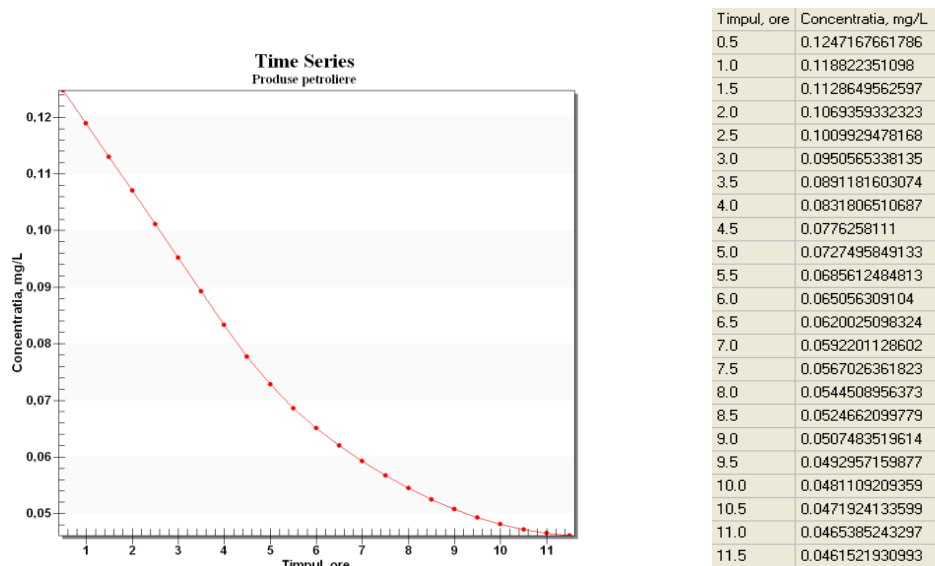


Fig. 3.35. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului numeric se prezintă în Anexa 4.

Erorile determinate în procesele de simulare numerică se prezintă în figura 3.36.

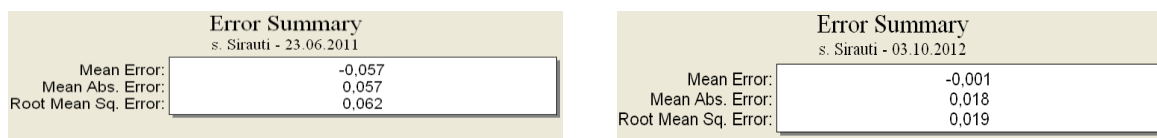


Fig. 3.36. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

Au fost comparate datele măsurate cu cele obținute (figura 3.37).

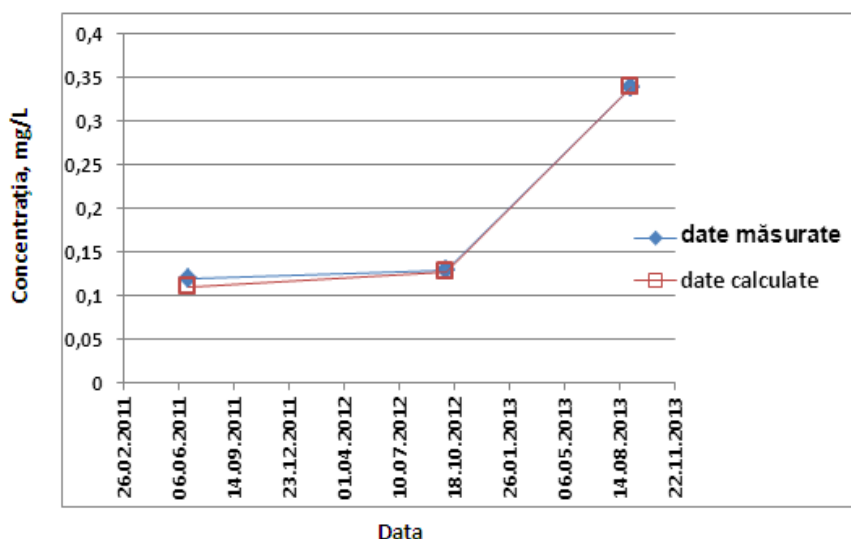


Fig. 3.37. Compararea datelor măsurate cu cele calculate peste o oră din momentul confluenței poluantului cu apa.

Din figura 3.37 se observă o bună corelare dintre datele comparate.

S-a constatat că procesul de transport și dispersie a produselor petroliere este foarte lent.

3.3.3 Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Branîște

Concentrațiile medii anuale ale probelor prelevate în perioada 2008-2013 se prezintă în figura A5.1. Pe acest sector s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru produse petroliere, fenoli, și nitriți (tabelul A5.1). Depășirile cele mai semnificative s-au înregistrat pentru produse petroliere (figura 3.38), de aceea modelarea numerică s-a realizat pentru poluantul menționat.

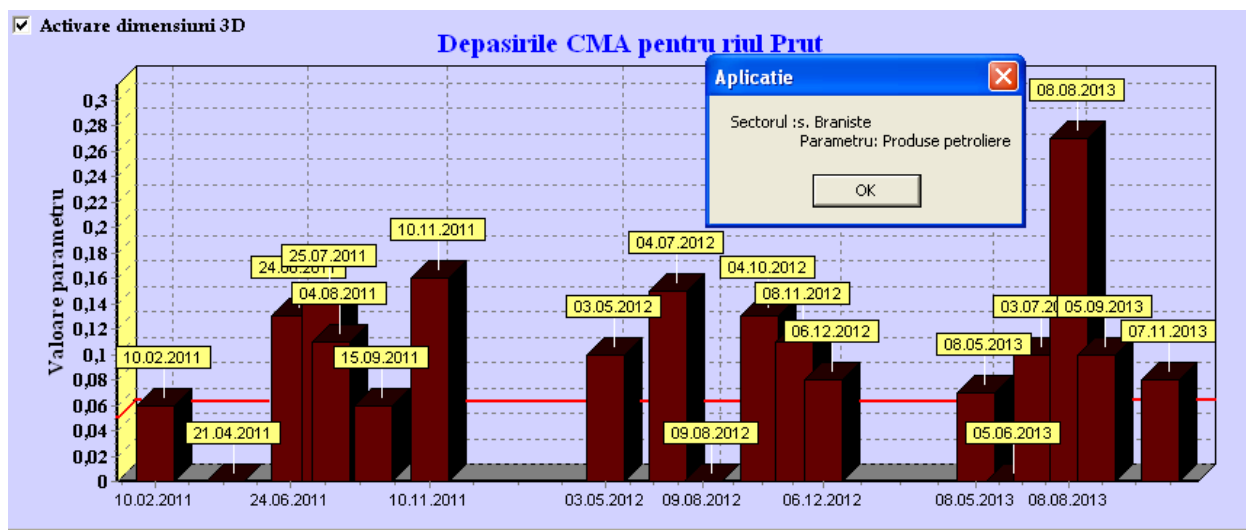


Fig. 3.38. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

În scopul modelării numerice a fost ales un sector al râului Prut din localitatea Branîște cu lungimea de 650 m, care a fost discretizat direct în sistemul SMS în elemente finite prin divizarea în 43 de profile transversale din 15 în 15 m, în total 129 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.39.



Fig. 3.39. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

Simulările au fost realizate în regim dinamic, pentru 12 ore, pasul 0.5 ore. Au fost simulate situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este un sector al malului stîng.

Scenariul simulat:

- data prelevării probei: **10.11.2011**;
- concentrația probei prelevate: **0,16 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 130 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 2,06 \text{ m}$.

Pentru a stabili convergența metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 430 de elemente și 957 de noduri.

În continuare se vor prezenta unele din rezultate obținute cu ajutorul rețelelor menționate.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 215 elemente, 566 de noduri. În figurile A5.2 (a) – A5.2 (b) se prezintă cîmpul de concentrații obținut peste o oră, respectiv 6 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. Conform rezultatelor obținute, s-a constatat că soluția diferă semnificativ de valoarea de 0,16 mg/L.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 344 elemente, 765 noduri. În figurile A5.3 (a) – A5.3 (b) se prezintă cîmpul de concentrații obținut peste o oră, respectiv 6 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. Conform rezultatelor obținute, s-a constatat că soluția se apropie de valoarea de 0,16 mg/L.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 430 de elemente, 957 de noduri (figura 3.40 (a)). A fost verificată calitatea rețelei (figura 3.40 (b)).

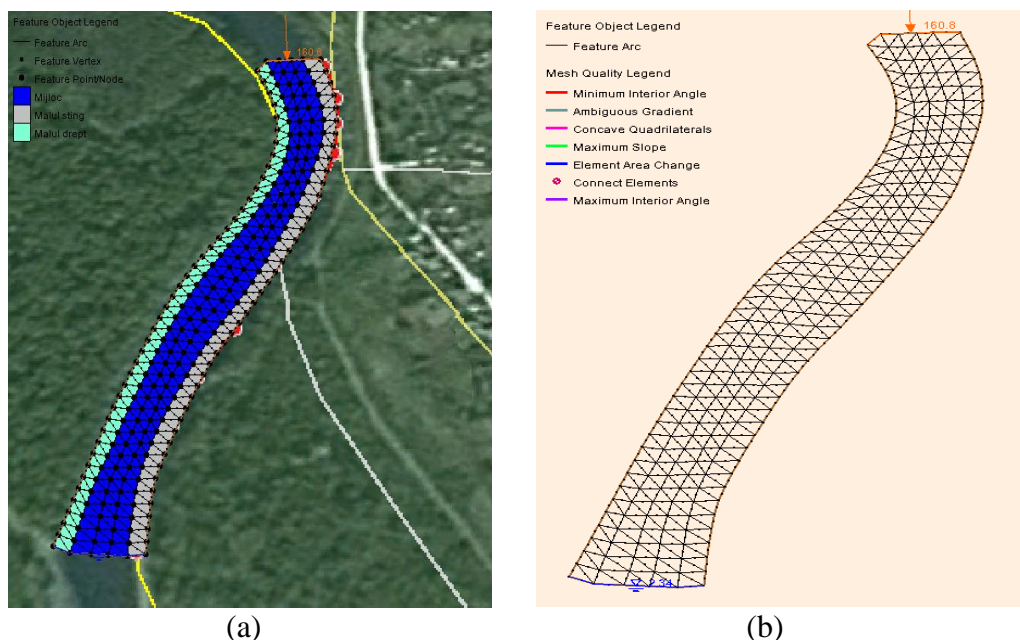


Fig. 3.40. Rețeaua de calcul (a) și calitatea rețelei de calcul (b).

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile 3.41 – 3.42.

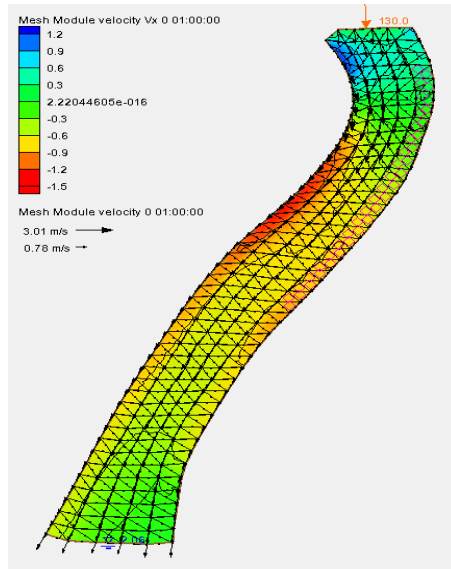
Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	2.00122
->Maximum	2.5901

(a)

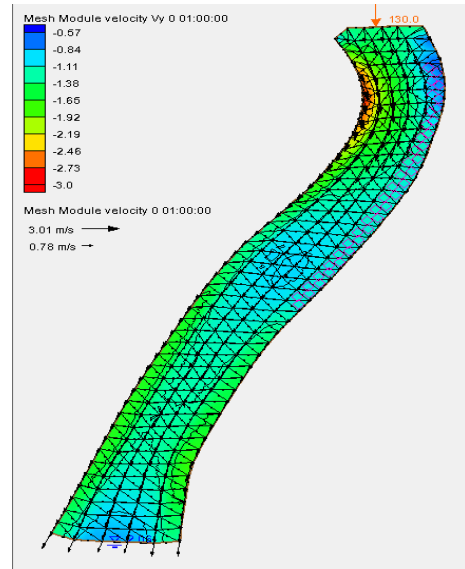
Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.780026
->Maximum	3.01369

(b)

Fig. 3.41. Adâncimea apei (a) și viteza rezultantă (b).



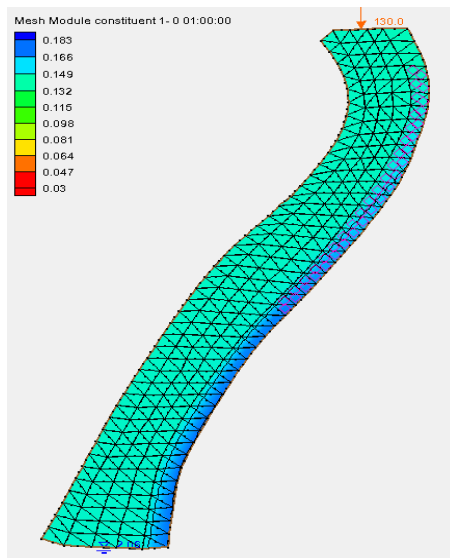
(a)



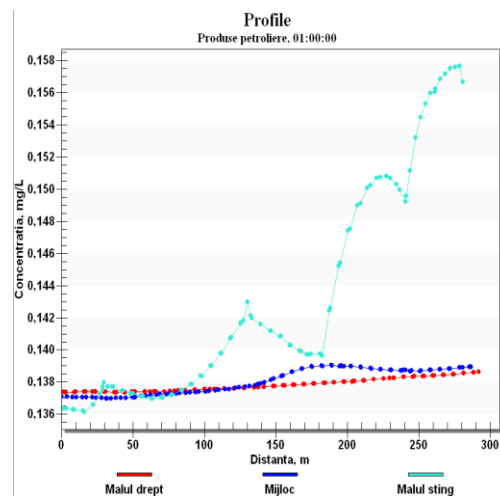
(b)

Fig. 3.42. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

S-a constatat că în direcția x particulele se deplasează cu o viteză mai mare decât în direcția y . Viteza maximă în direcția x este de 1,2 m/s, iar în direcția y de 0,57 m/s. Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile 3.43 – 3.44.



(a)



(b)

Fig. 3.43. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.

Din datele prezentate se observă că după o oră cea mai mare concentrație a poluantului se menține la malul sting, unde a avut loc procesul de confluență.

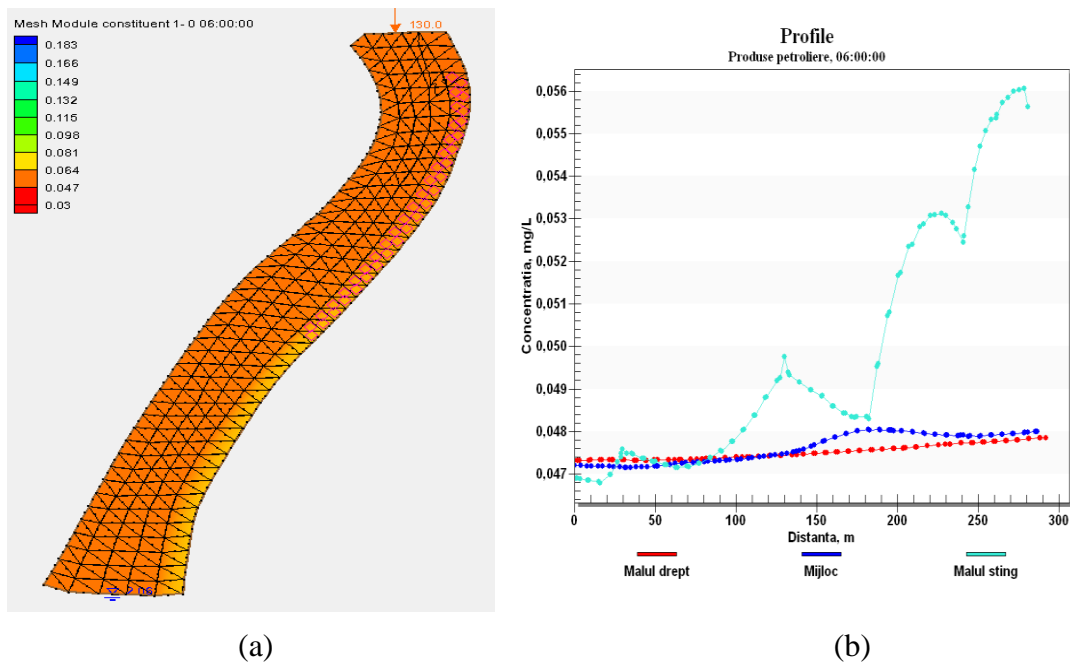


Fig. 3.44. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

După 6 ore concentrația poluantului s-a redus substanțial pe tot sectorul studiat.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura 3.45.

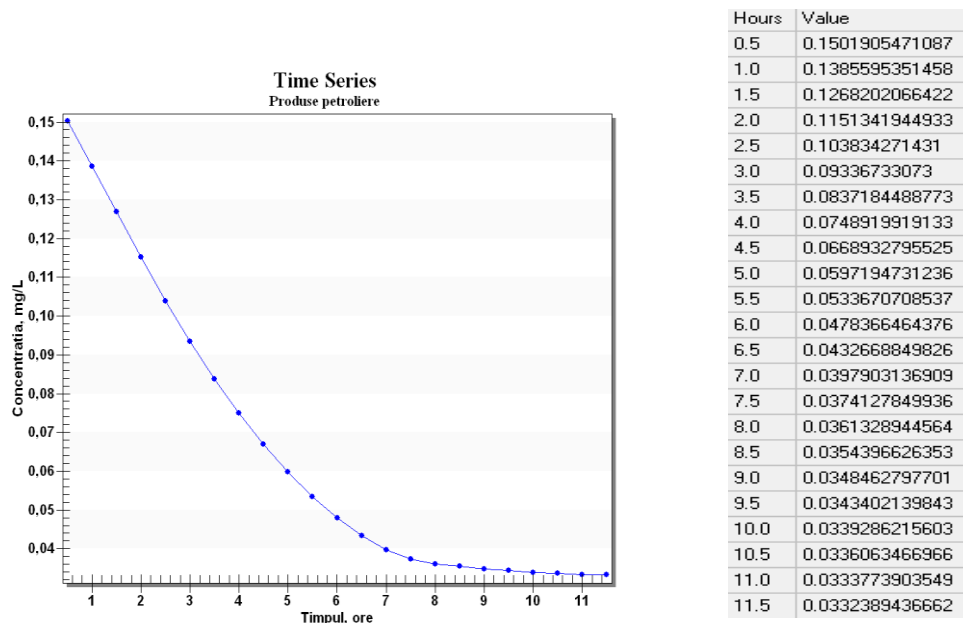


Fig. 3.45. Evoluția temporală a concentrației în punctul de prelevare a probelor.

S-a constatat că valoarea concentrației poluantului atinge o valoare mai mică de CMA peste 6,5 ore din momentul confluenței cu apa.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului se prezintă în Anexa 5.

Informații cu privire la erorile în modelele numerice referitoare la concentrația produselor petroliere se prezintă în figura 4.36.



Fig. 3.46. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

S-a constatat că după calibrare erorile sunt mici, ceea ce demonstrează corectitudinea modelului matematic considerat.

Rezultatul comparării datelor măsurate cu cele calculate se prezintă în figura 3.47.

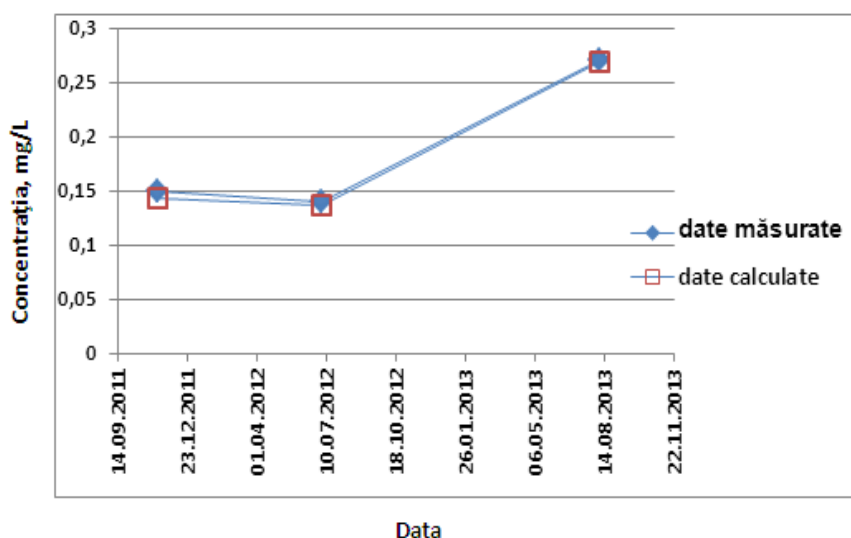


Fig. 3.47. Compararea datelor măsurate cu cele calculate peste 0,5 ore din momentul confluenței poluantului cu apa.

Din figura 3.47 se observă o bună corelare dintre datele măsurate cu cele calculate pentru informațiile cu privire la calibrarea și validarea modelelor numerice.

Din rezultatele simulărilor numerice s-a observat că valoarea concentrației produselor petroliere se micșorează semnificativ peste 6,5 ore din momentul confluenței cu apa.

3.3.4 Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul or. Ungheni

Concentrațiile medii anuale ale probelor prelevate în perioada 2008-2013 se prezintă în figura A6.1. S-au înregistrat depășiri ale CMA pentru produse petroliere, compușii cuprului și

fenoli (tabelul A6.1). Depășirile cele mai semnificative s-au înregistrat pentru produse petroliere (figura 3.48), de aceea modelarea numerică s-a realizat pentru poluanții menționați.

În scopul modelării numerice a fost ales un sector al râului Prut din localitatea Ungheni cu lungimea de 750 m, care a fost discretizat direct în sistemul SMS în elemente finite prin divizarea în 75 de profile transversale din 10 în 10 m, în total 225 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.49.

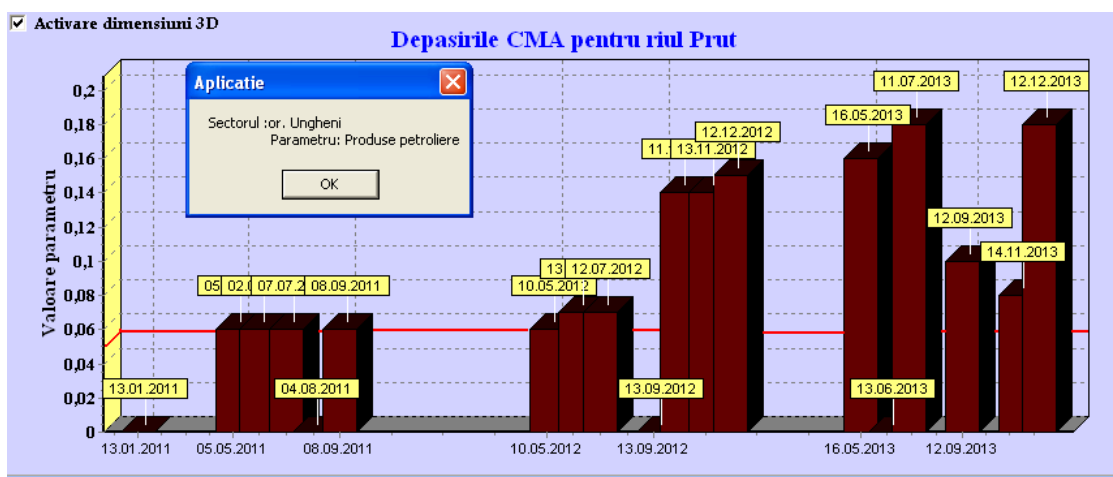


Fig. 3.48. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

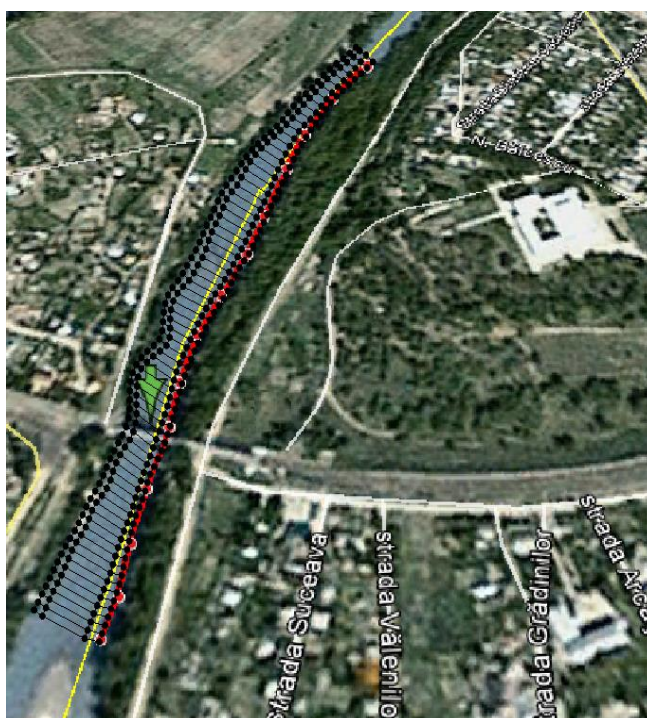


Fig. 3.49. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

Au fost simulate, în regim dinamic, pentru 12 ore cu pasul 0.5 ore, situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este un sector al malului stâng.

A fost simulat următorul scenariu:

- data prelevării probei: **05.05.2011**;
- concentrația probei prelevate: **0,075 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – **debit $Q = 66,5 \text{ m}^3/\text{s}$** , în aval – nivel **$h = 0,83 \text{ m}$** .

Pentru a stabili convergența metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 870 de elemente.

Unele rezultate obținute cu ajutorul rețelelor menționate se vor prezenta în continuare.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 375 elemente, 982 noduri. În figurile A6.2 (a) – A6.2 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste o oră, respectiv 6 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. Analiza câmpurilor de concentrații denotă faptul că soluția nu converge către valoarea de 0,06 mg/L.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 600 elemente, 1311 noduri. În figurile A6.3 (a)– A6.3 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste o oră, respectiv 6 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. Se observă că soluția se apropie de 0,06 mg/L. Concentrația poluantului se micșorează pe partea majoră a sectorului studiat.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 870 de elemente, 1901 noduri (figura 3.50 (a)). Calitatea rețelei se prezintă în figura 3.50 (b).

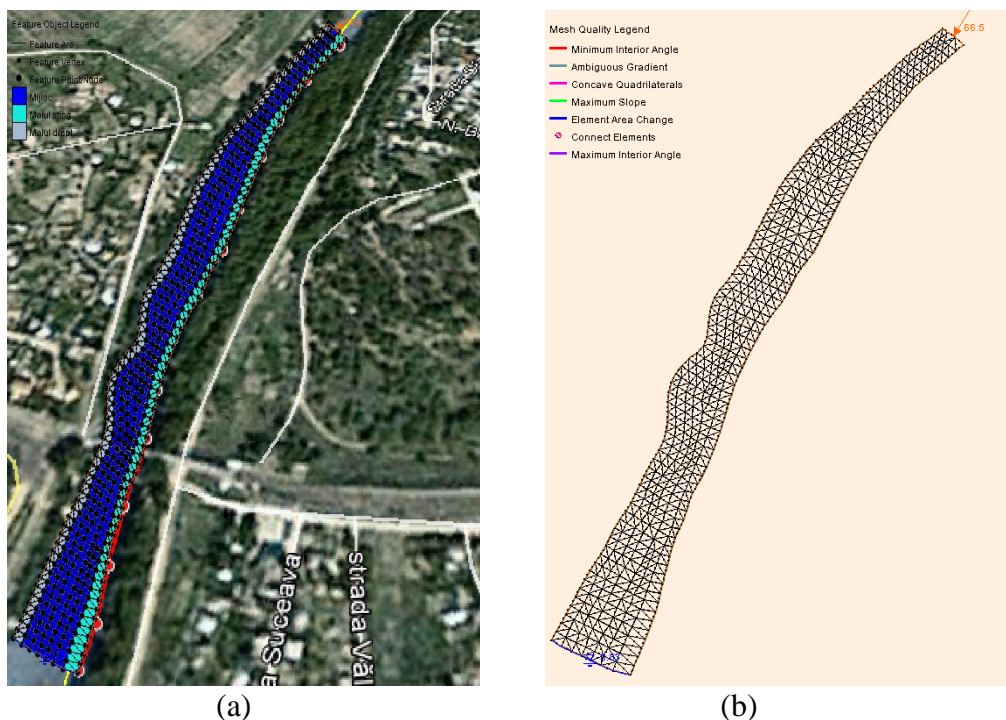


Fig. 3.50. Rețeaua de calcul (a) și calitatea rețelei de calcul (b).

Din figura 3.51 se observă sectorul malului stîng al râului, care a fost supus poluării. Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile 3.52 – 3.54.

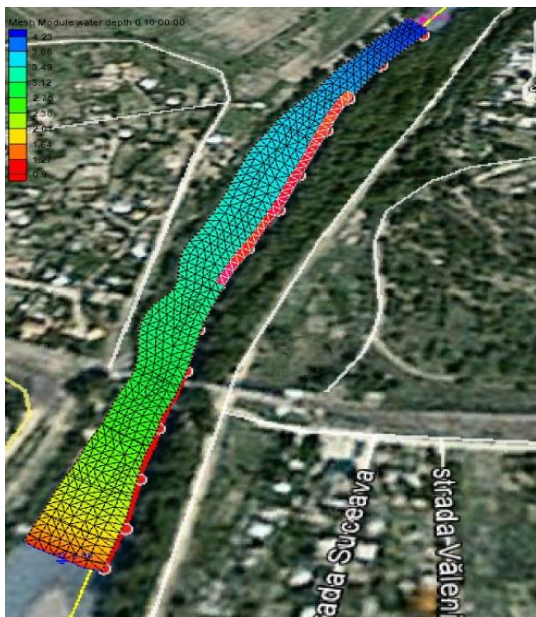


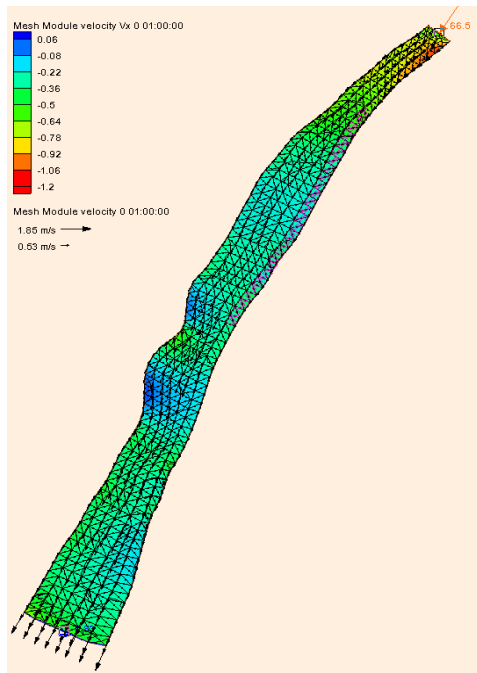
Fig. 3.51. Confluența poluantului cu apa.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.845081
->Maximum	4.18203

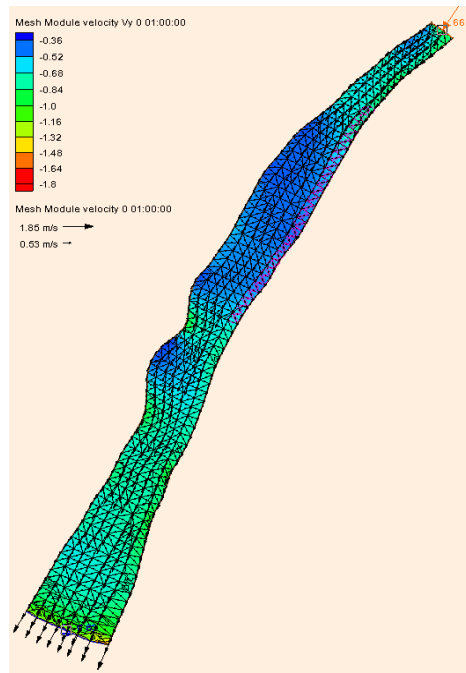
Fig. 3.52. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.532938
->Maximum	1.85171

Fig. 3.53. Viteza rezultantă.



(a)



(b)

Fig. 3.54. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

S-a determinat că în direcția x viteza maximă este de 0,06 m/s, iar în direcția y este 0,36 m/s.

În continuare a fost folosit programul RMA4. Rezultatele se prezintă în figurile 3.55 – 3.60.

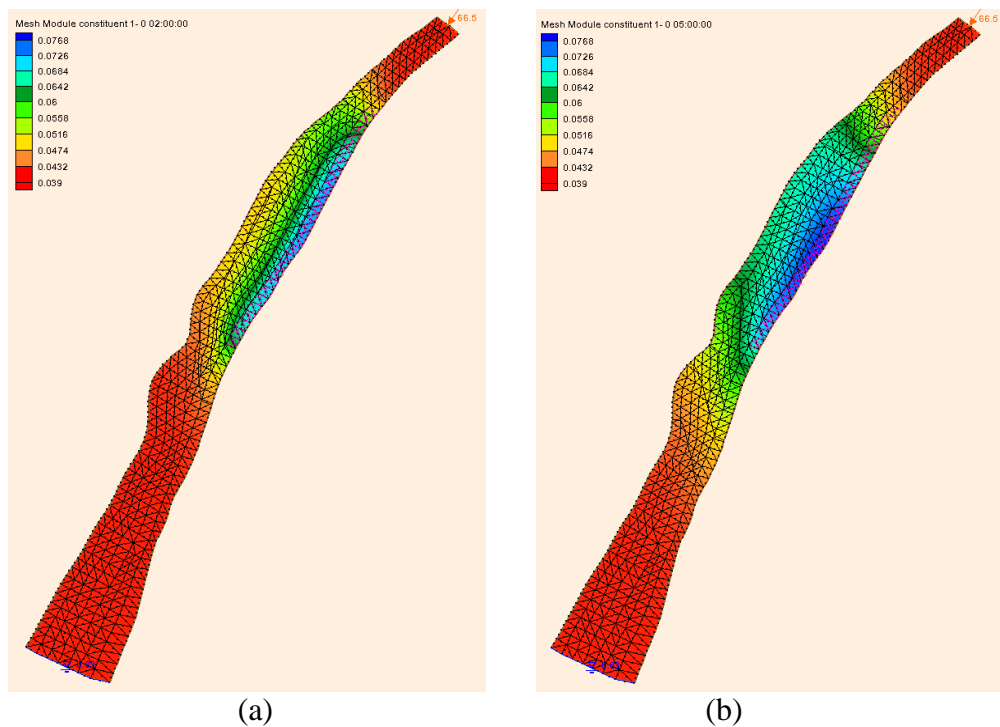


Fig. 3.55. Cîmpul de concentrații peste 2 ore (a) și 5 ore (b).

După 2 ore din momentul confluenței cu apa poluantul s-a împrăștiat și a ajuns pînă la malul drept. Peste 5 ore s-a observat transportul și dispersia poluantului și în aval față de zona de confluență.

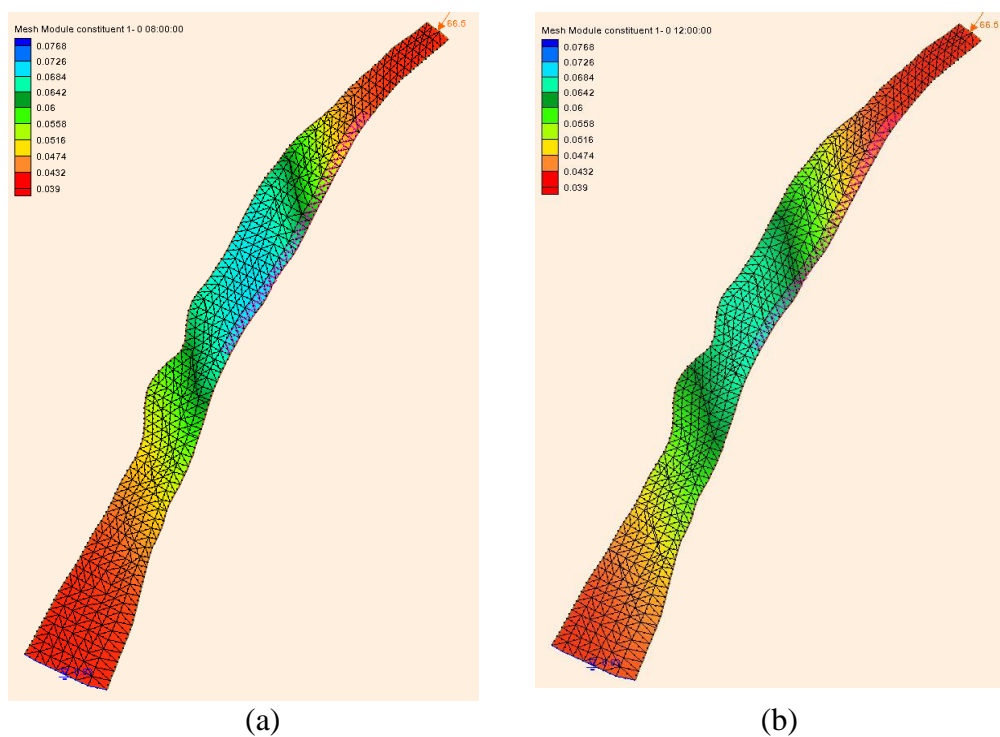


Fig. 3.56. Cîmpul de concentrații peste 8 ore (a) și 12 ore (b).

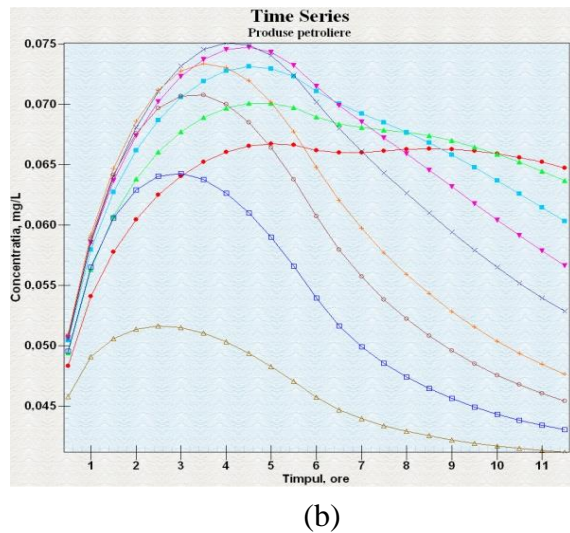
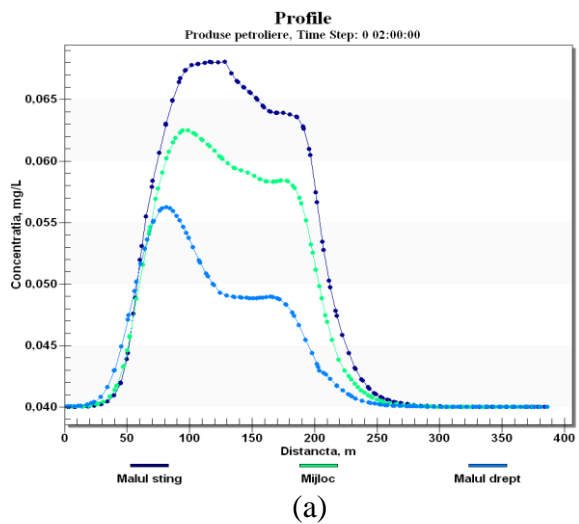


Fig. 3.57. Reprezentarea grafică a concentrației peste 2 ore (a) și în zona de confluență (b).

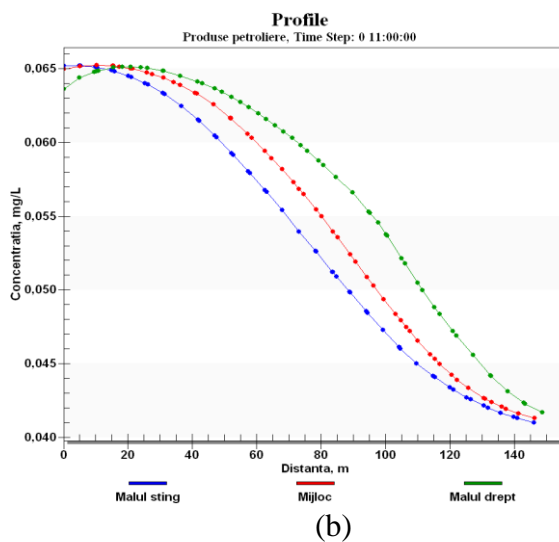
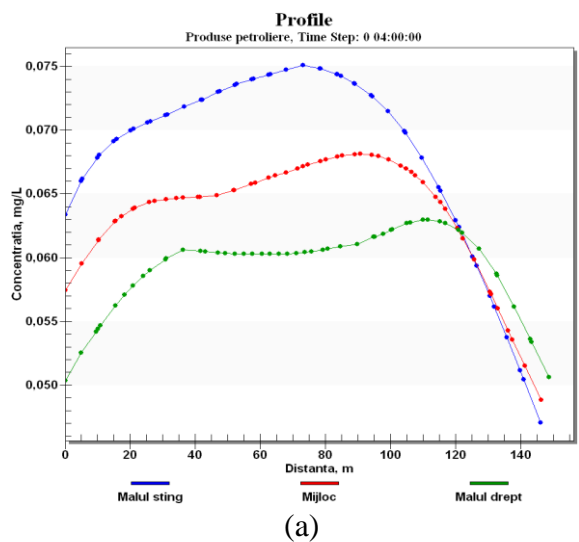


Fig. 3.58. Concentrația poluantului în secțiunea transversală pe distanța zonei de confluență peste 4 ore (a) și 11 ore (b).

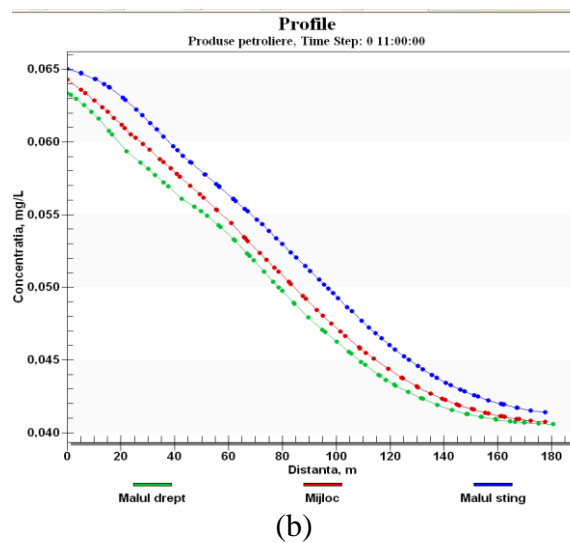
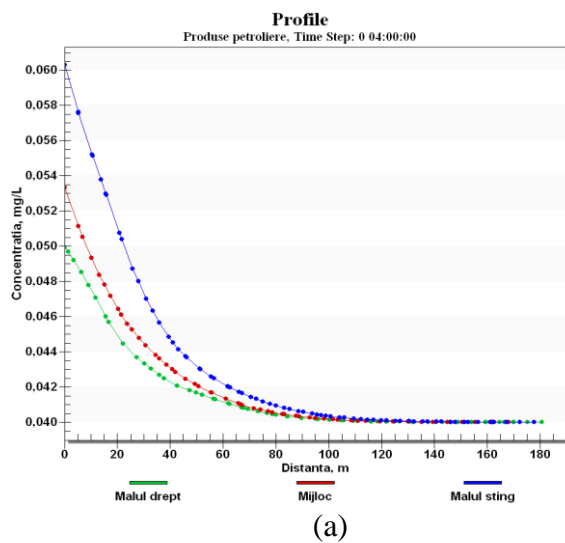


Fig. 3.59. Concentrația poluantului în aval față de zona de confluență peste 4 ore (a) și 11 ore (b).

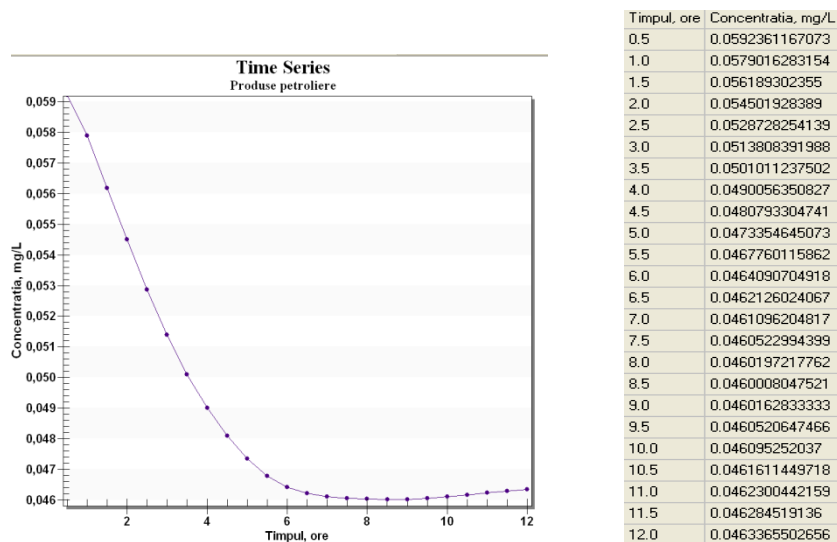


Fig. 3.60. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

S-a constatat că procesul de dispersie a produselor petroliere este foarte lent.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului se prezintă în Anexa 6.

Erorile în modelele numerice cu privire la simularea poluanților se prezintă în figura 4.52.



Fig. 3.61. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

S-a constatat că după calibrare erorile s-au micșorat semnificativ.

Rezultatul comparării datelor măsurate cu cele calculate se prezintă în figura 3.62.

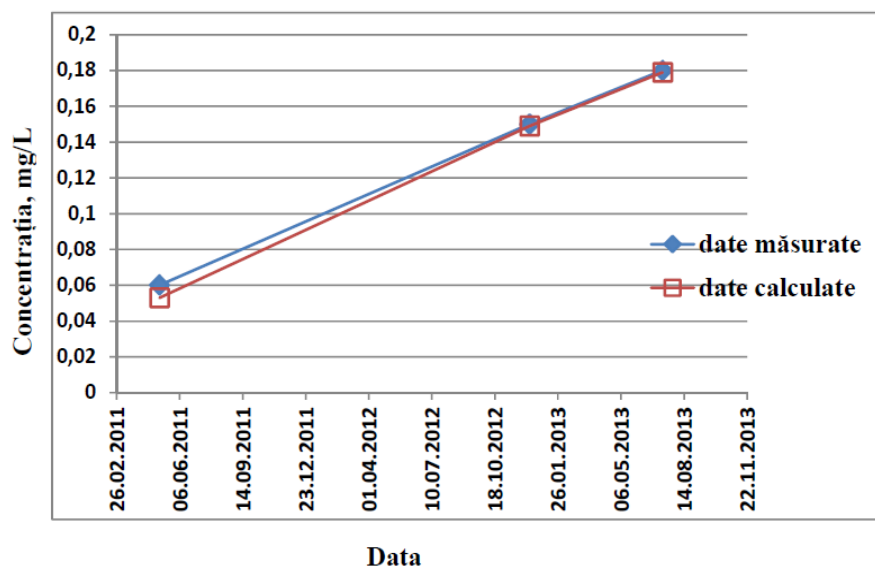


Fig. 3.62. Compararea datelor măsurate cu cele calculate peste 2 ore din momentul confluenței poluantului cu apa.

Se observă o bună corelare dintre datele măsurate cu cele calculate.

În baza simulărilor numerice CFD s-a stabilit:

- adâncimea apei variază de la 0,8 m pînă la 4,1 m;
- viteza rezultantă variază de la 0,53 m/s pînă la 1,85 m/s;
- în primele 2 ore din momentul confluenței cu apa, poluantul cu concentrația de 0,075 mg/L preluat de curentul de apă s-a împrăștiat pe partea majoră a sectorului, ajungînd la malul drept cu valoarea de 0,053 mg/L și 90 m în aval față de zona de confluență cu valoarea de 0,046 mg/L;
- în următoarele 5 ore s-a observat procesul de transport și dispersie al poluantului în aval față de zona de confluență pe o distanță de 240 m cu micșorarea concentrației;
- peste 10 ore s-a împrăștiat pe o distanță de 270 m în aval față de zona de confluență;
- în punctul de prelevare a probelor concentrația variază de la 0,04 la 0,06 mg/L;
- peste 12 ore concentrația s-a redus substanțial pe tot sectorul studiat.

3.3.5 Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Valea Mare

Concentrațiile medii anuale ale probelor prelevate în perioada anilor 2008-2013 se prezintă în figura A7.1. Pe acest sector s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru nitriți, compușii cuprului, produse petroliere, fenoli (tabelul A7.1). Cele mai mari depășiri s-au înregistrat pentru produse petroliere (figura 3.63), din această cauză pentru modelare numerică au fost alese unele scenarii cu depășiri ale poluantului menționat.

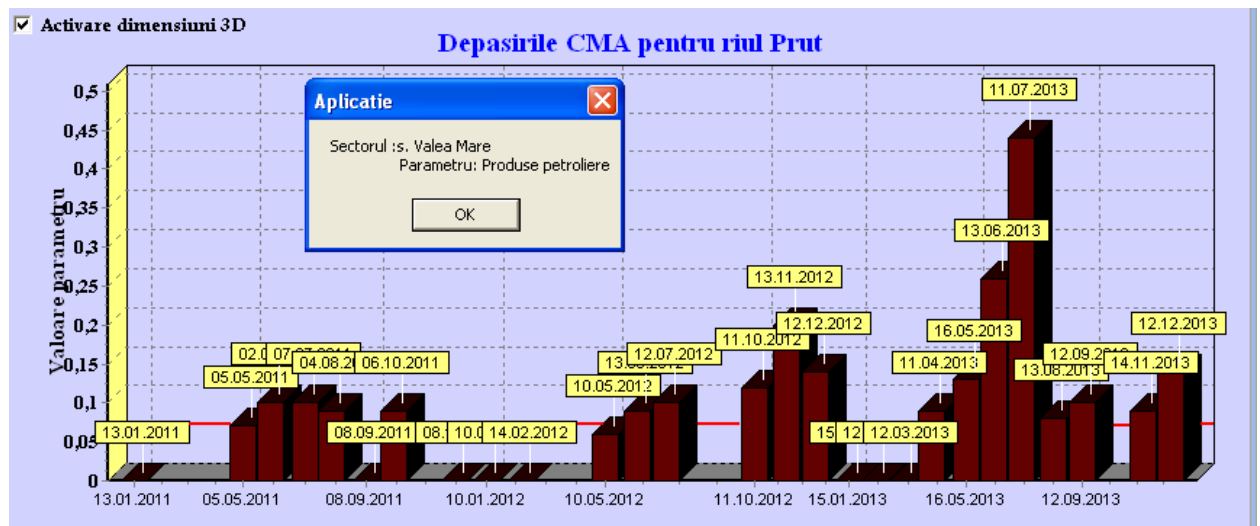


Fig. 3.63. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

În scopul modelării numerice a fost ales un sector al râului Prut din localitatea Valea Mare cu lungimea de 1245 m, care a fost discretizat direct în sistemul SMS în elemente finite prin divizarea în 83 de profile transversale din 15 în 15 m, în total 249 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.64.

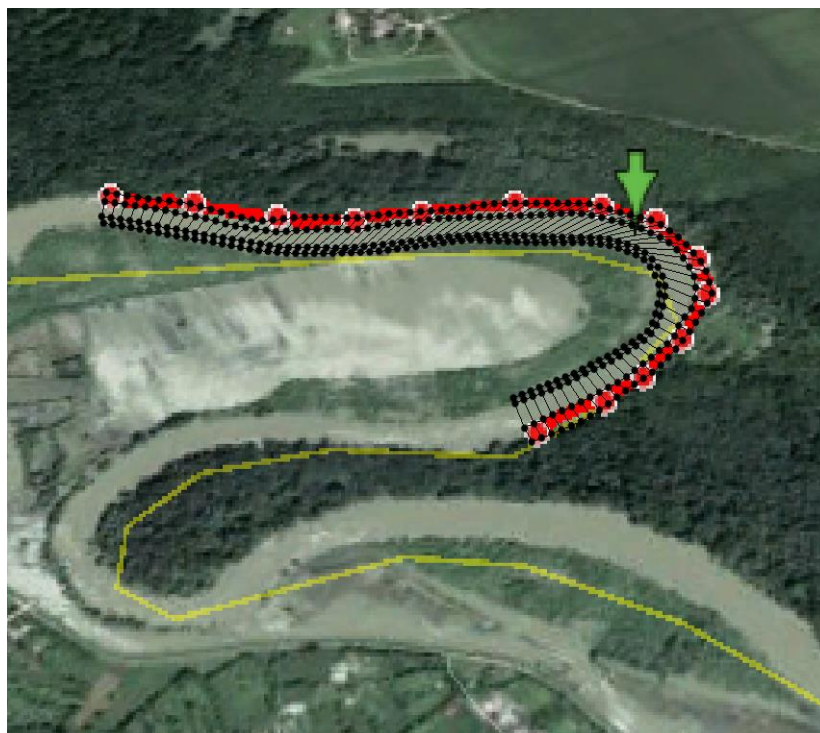


Fig. 3.64. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

Simulările au fost realizate în regim dinamic, pentru 12 ore, pasul 0.5 ore. Au fost simulate situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este amonte al sectorului studiat.

A fost simulat următorul scenariu:

- data prelevării probei: **02.06.2011**;
- concentrația probei prelevate: **0,1 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 22,3 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval - nivel $h = 0,15 \text{ m}$.

Pentru a stabili convergența metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 1009 elemente.

Rezultate obținute cu ajutorul rețelelor de calcul menționate se prezintă în continuare.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 415 elemente, 1086 noduri. În figurile A7.2 (a) - A7.2 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 de minute, respectiv 12 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. După 12 ore concentrația poluantului s-a micșorat pe tot sectorul al domeniului studiat.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 664 elemente, 1443 noduri. În figurile A7.3 (a) – A7.3 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 minute, respectiv 12 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. După 3 ore și 30 minute, respectiv 12 ore, concentrația poluantului s-a redus pe tot sectorul studiat.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 1009 elemente, 2194 noduri (figura 3.65 (a)). A fost verificată calitatea rețelei (figura 3.65 (b)).

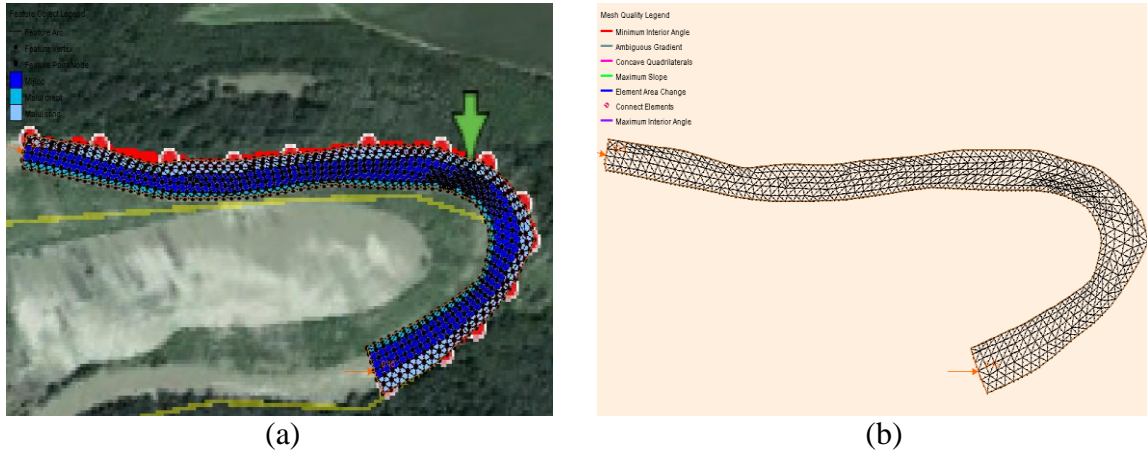


Fig. 3.65. Rețeaua de calcul (a) și calitatea rețelei de calcul (b).

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile 3.66 – 3.67.

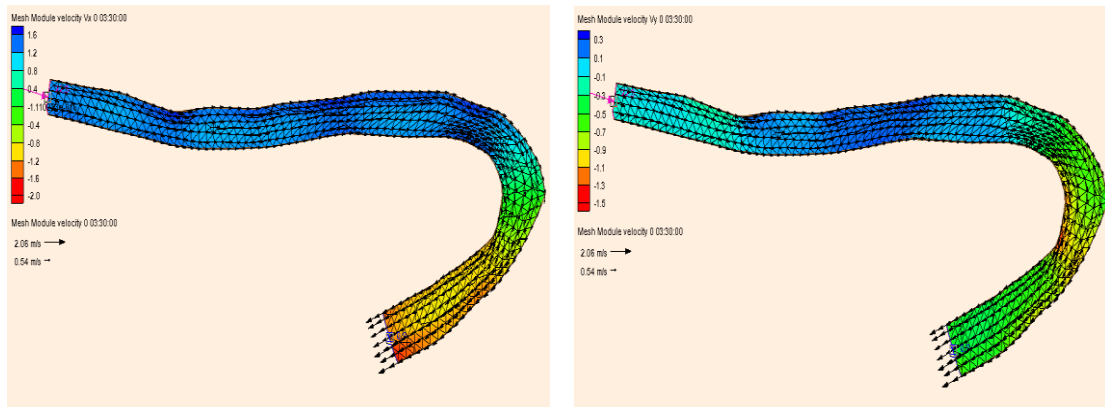
Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.462931
->Maximum	3.35933

(a)

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.376888
->Maximum	3.80803

(b)

Fig. 3.66. Adâncimea apei (a) și viteza rezultantă (b).

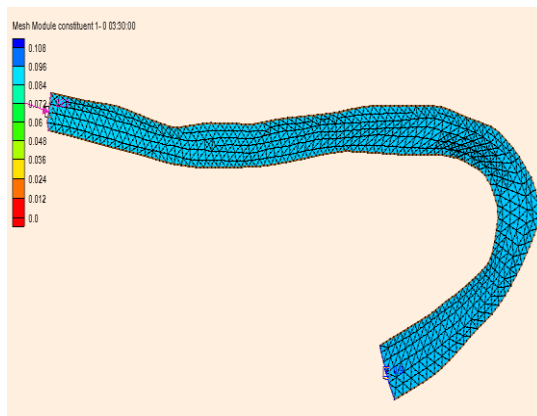


(a)

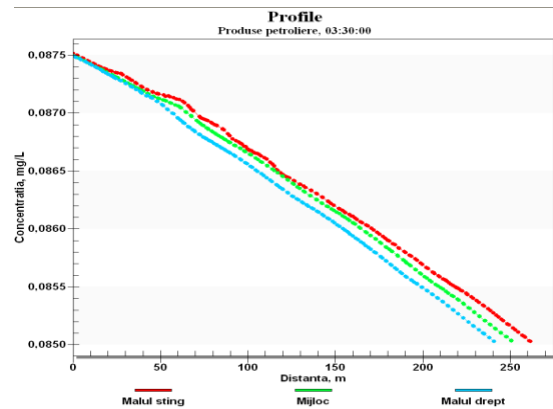
(b)

Fig. 3.67. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Din figura 3.67 se observă că viteza maximă în direcția x este de 1,6 m/s, iar în direcția y 0,3 m/s. Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile 3.68 – 3.69.



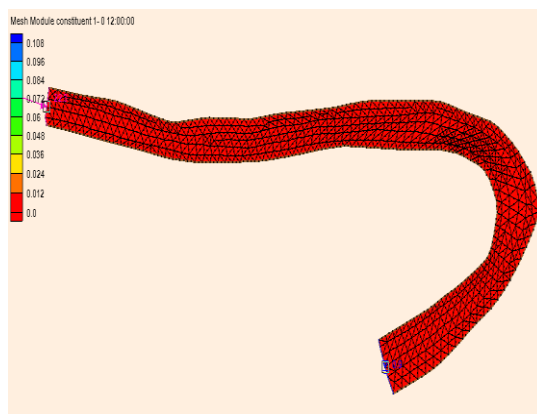
(a)



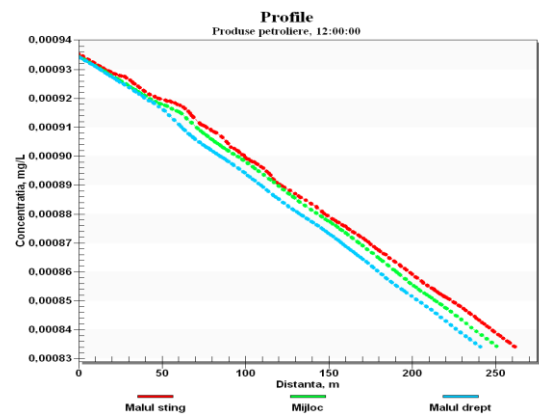
(b)

Fig. 3.68. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3,30 ore.

S-a constatat că peste 3 ore și 30 minute concentrația s-a micșorat pe tot sectorul studiat.



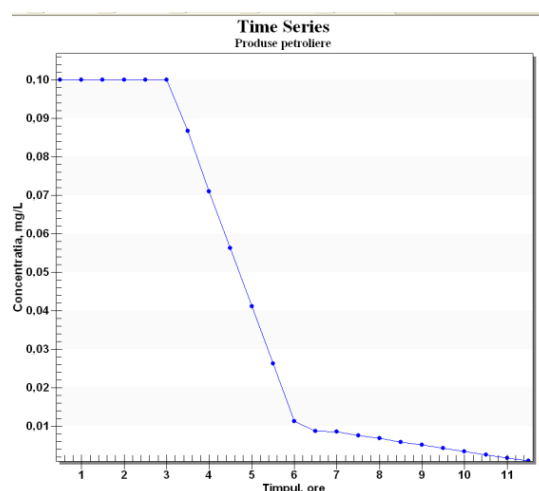
(a)



(b)

Fig. 3.69. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 12 ore.

Din datele prezentate se observă că după 12 ore concentrația poluantului s-a redus substanțial. Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura 3.70.



Timpul, ore	Concentratia, mg/L
0.5	0.1000000218618
1.0	0.1000000238419
1.5	0.1000000238419
2.0	0.1000000163913
2.5	0.1000000312924
3.0	0.1000000163913
3.5	0.0867612900513
4.0	0.0710434317679
4.5	0.0563311922412
5.0	0.04121827849
5.5	0.0262613368376
6.0	0.0112455634342
6.5	0.0087545175671
7.0	0.0085969476436
7.5	0.0074924089102
8.0	0.006766097461
8.5	0.005891457613
9.0	0.0050732580778
9.5	0.0042351526466
10.0	0.0034028511899
10.5	0.0025693025306
11.0	0.0017363927898
11.5	0.0009025403746

Fig. 3.70. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Se observă că peste 5 ore din momentul confluenței cu apa concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se micșorează semnificativ.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului se prezintă în Anexa 7.

Erorile în modelele numerice se prezintă în figura 3.71.

Error Summary		Error Summary	
s. Valea Mare - 02.06.2011		s. Valea Mare - 13.11.2012	
Mean Error:	0,001	Mean Error:	0,001
Mean Abs. Error:	0,104	Mean Abs. Error:	0,035
Root Mean Sq. Error:	0,111	Root Mean Sq. Error:	0,039

Fig. 3.71. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

Au fost comparate datele măsurate cu cele calculate (figura 3.72).

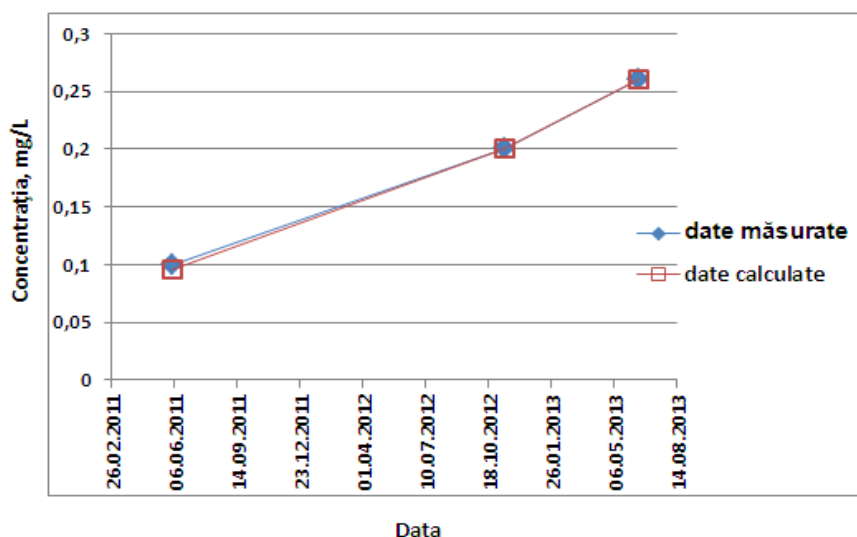


Fig. 3.72. Compararea datelor măsurate cu cele calculate peste 5 ore din momentul confluenței poluantului cu apa.

Se observă o bună corelare dintre datele măsurate cu cele calculate.

S-a constatat că valoarea concentrației produselor petroliere scade în punctul de prelevare a probelor peste 5 ore din momentul confluenței cu apa, iar în zona de confluență scade semnificativ peste 4 ore din momentul confluenței cu apa.

3.3.6. Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul or. Leova

Concentrațiile medii anuale ale probelor prelevate în perioada 2008-2013 se prezintă în figura A8.1. Pe acest sector s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru produse petroliere, fenoli și nitriți (tabelul A8.1). Cele mai mari depășiri s-au înregistrat pentru produse petroliere (figura 3.73), din această cauză au fost simulate scenarii cu depășiri ale poluantului menționat.

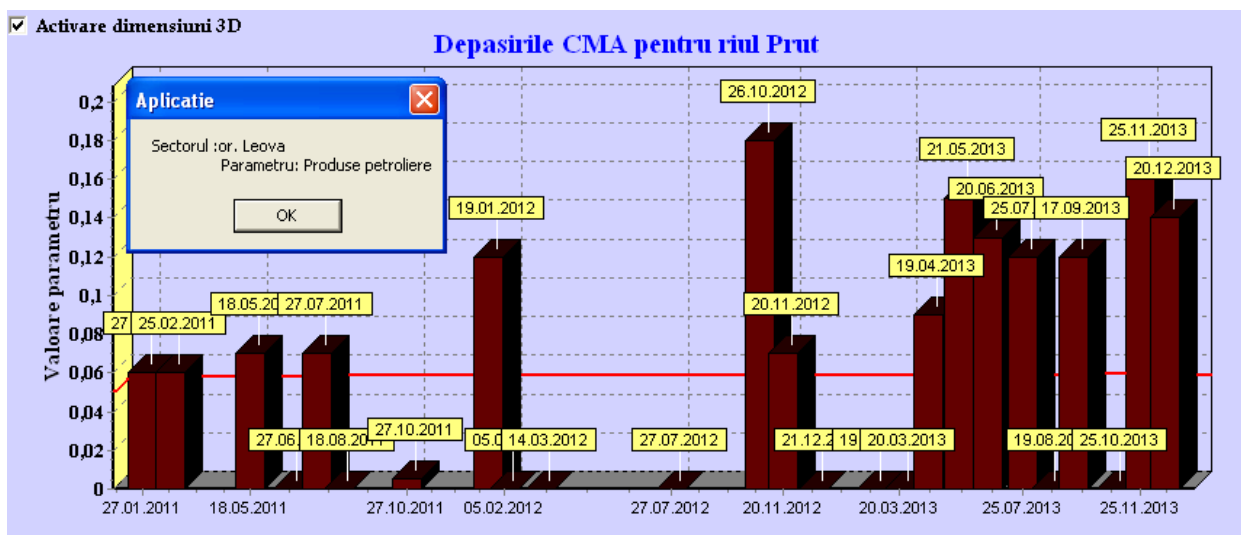


Fig. 3.73. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

În scopul modelării numerice a fost ales un sector al râului Prut din localitatea Leova cu lungimea de 700 m, care a fost discretizat direct în sistemul SMS în elemente finite prin divizarea în 50 de profile transversale din 14 în 14 m, în total 150 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.74.

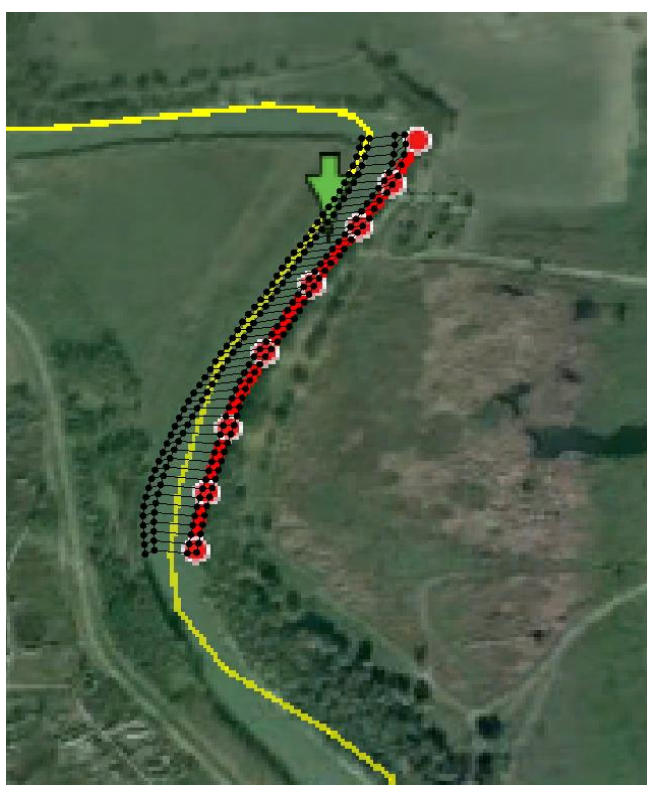


Fig. 3.74. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

Au fost simulate, în regim dinamic, pentru 12 ore, cu pasul 0.5 ore, situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este amonte al sectorului studiat.

A fost simulat următorul scenariu:

- data prelevării probei: **25.05.2011**;
- concentrația probei prelevate: **0,07 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q=70 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,97 \text{ m}$.

Pentru a stabili convergența metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 499 de elemente.

În continuare se vor prezenta unele din rezultate obținute cu ajutorul rețelelor menționate.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 249 de elemente, 654 de noduri. În figurile A8.2 (a) – A8.2 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 minute, respectiv 10 ore și 30 minute din momentul confluenței poluantului cu apa. Se observă că valoarea concentrației poluantului se reduce pe întreg sector.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 399 elemente, 906 noduri. În figurile A8.3 (a) – A8.3 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 minute, respectiv 10 ore și 30 minute din momentul confluenței poluantului cu apa. Se observă micșorarea concentrației pe tot sectorul studiat.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 499 de elemente, 1108 noduri (figura 3.75 (a)). A fost verificată calitatea rețelei (figura 3.75 (b)).

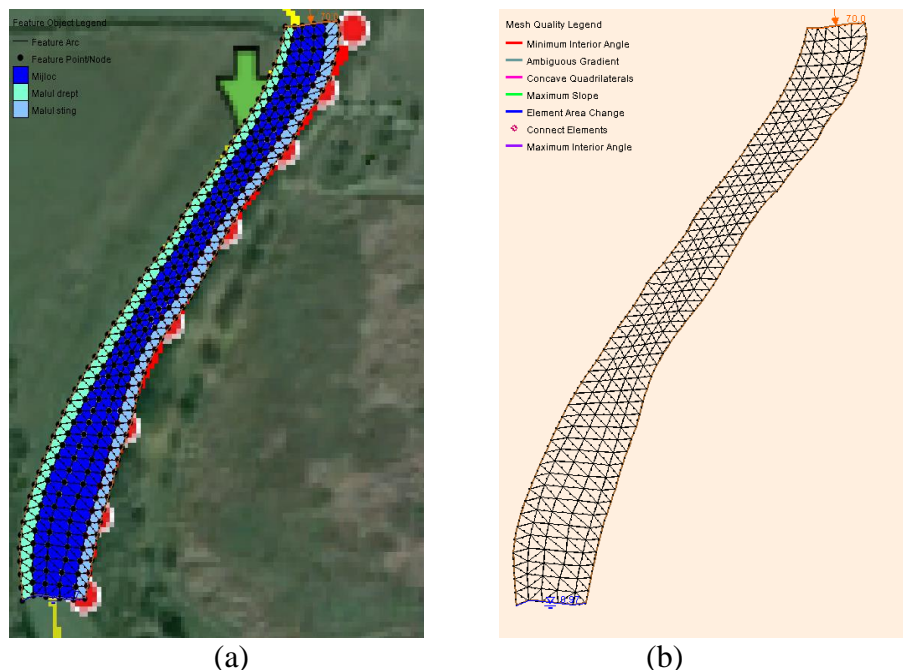


Fig. 3.75. Rețeaua de calcul (a) și calitatea rețelei de calcul (b).

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile 3.76 – 3.77.

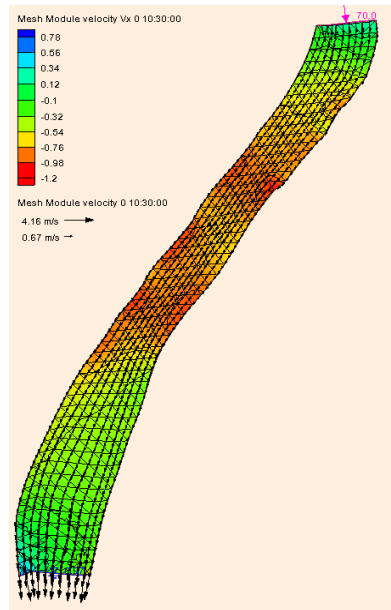
Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.887191
->Maximum	4.864

(a)

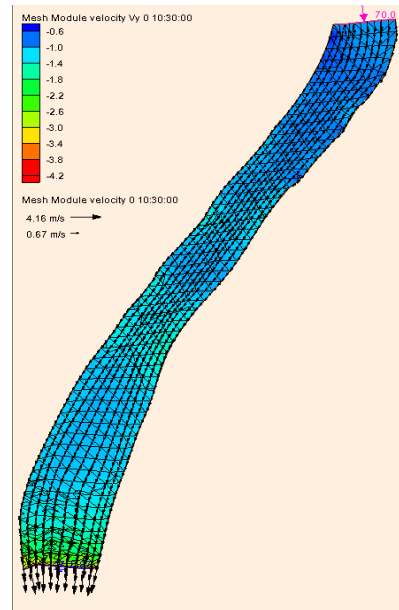
Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.641208
->Maximum	4.30959

(b)

Fig. 3.76. Adâncimea apei (a) și viteza rezultantă (b).



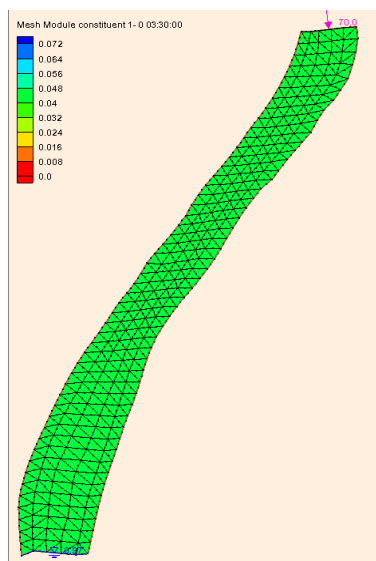
(a)



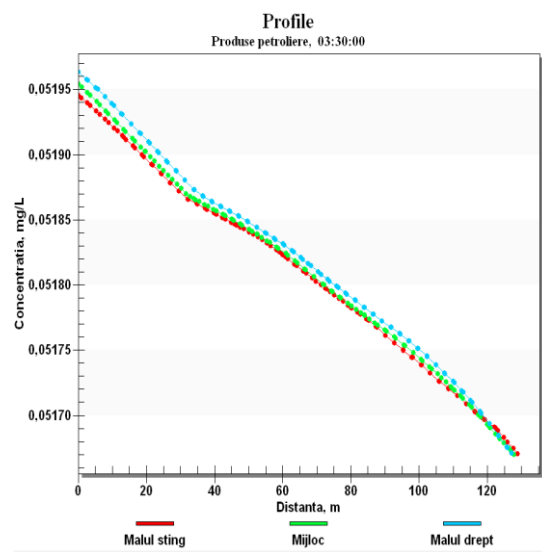
(b)

Fig. 3.77. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Se observă că în direcția x viteza deplasării particulelor apei este mai mare decât în direcția y . Rezultatele aplicării programului RMA4 se prezintă în figurile 3.78 – 3.79.



(a)



(b)

Fig. 3.78. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3,30 ore.

După 3 ore și 30 minute concentrația poluantului s-a redus.

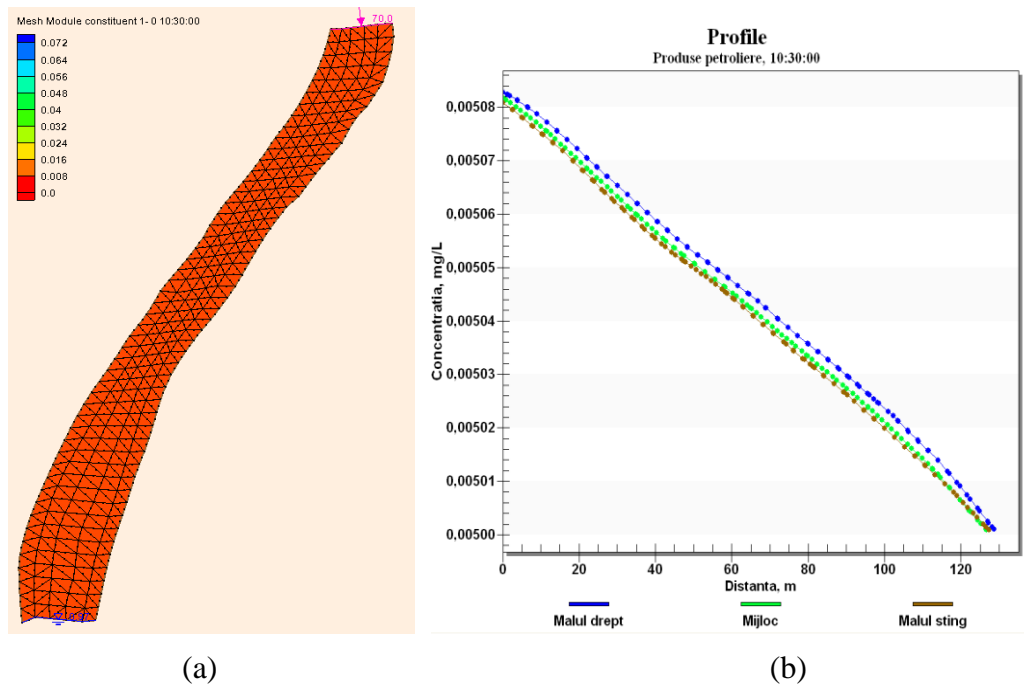


Fig. 3.79. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 10,30 ore.

După 10 ore și 30 minute concentrația s-a redus substantial pe tot sectorul studiat.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura 3.80.

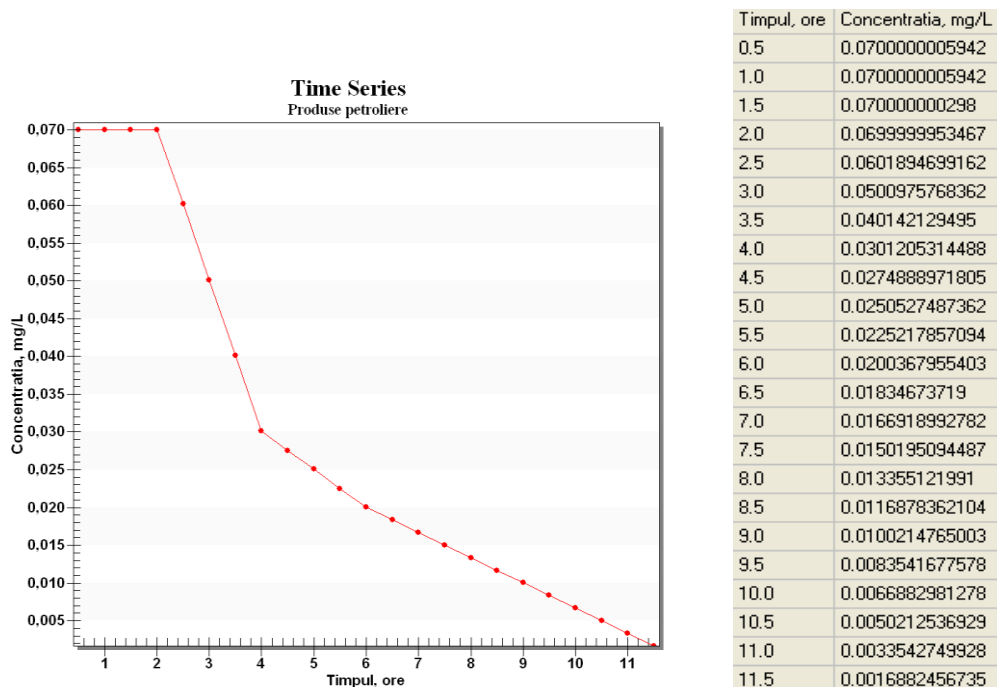


Fig. 3.80. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Peste 3 ore și 30 minute concentrația în punctual de prelevare a probelor s-a micșorat semnificativ.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului se prezintă în Anexa 8.

În figura 3.81 se prezintă erorile modelelor numerice.

Error Summary or: Leova - 25.05.2011		Error Summary or: Leova - 26.10.2012	
Mean Error:	-0,109	Mean Error:	0,056
Mean Abs. Error:	0,109	Mean Abs. Error:	0,065
Root Mean Sq. Error:	0,133	Root Mean Sq. Error:	0,095

Fig. 3.81. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

Au fost comparate datele măsurate cu cele obținute în rezultatul simulării (figura 3.82).

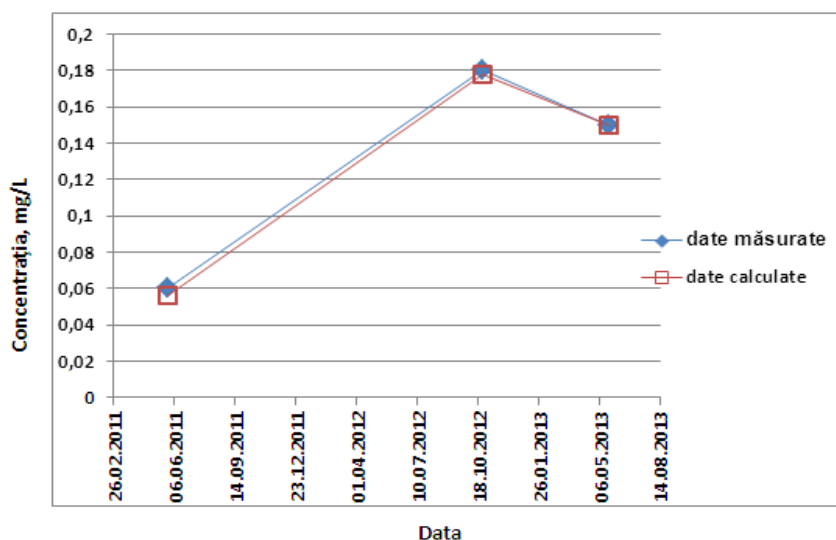


Fig. 3.82. Compararea datelor măsurate cu cele calculate peste 3 ore din momentul confluenței poluantului cu apa.

S-a constatat că valoarea concentrației produselor petroliere scade semnificativ peste 3 ore și 30 minute din momentul confluenței cu apa în punctul de prelevare a probelor și în zona de confluență și atinge o valoare mai mică decât CMA.

3.3.7 Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul or. Cahul

Concentrațiile medii anuale ale probelor prelevate în perioada anilor 2008-2013 se prezintă în figura A9.1. Pe acest sector s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru produse petroliere, nitriți, fenoli (tabelul A9.1). Depășirile cele mai semnificative s-au înregistrat pentru produse petroliere (figura 3.83), din această cauză modelarea numerică s-a realizat pentru produsele petroliere.

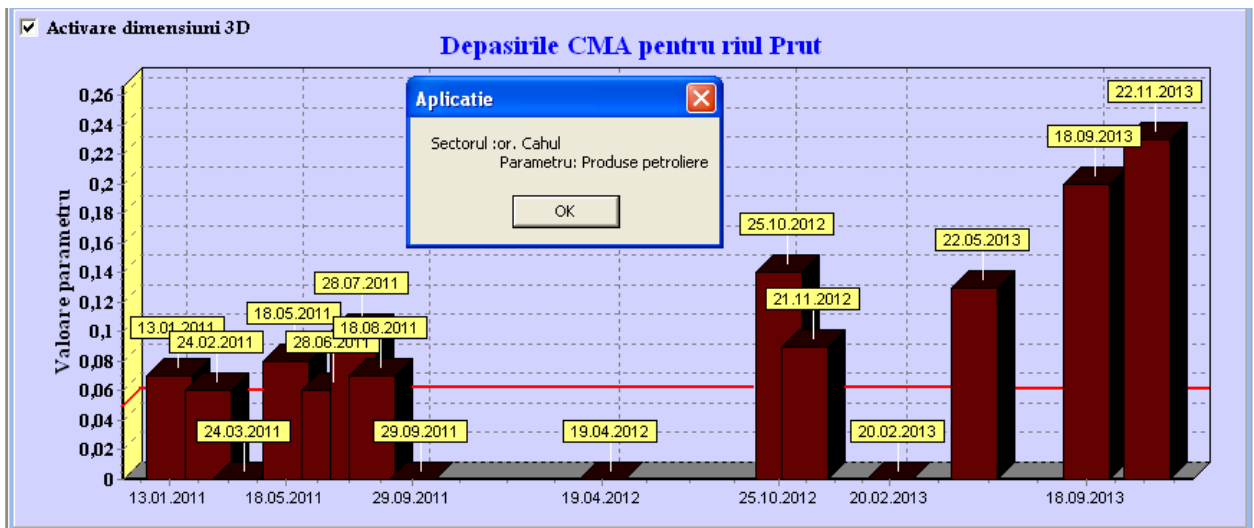


Fig. 3.83. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

În scopul modelării numerice a fost ales un sector al râului Prut din localitatea or. Cahul cu lungimea de 800 m, care a fost discretizat direct în sistemul SMS în elemente finite prin divizarea în 50 de profile transversale din 16 în 16 m, în total 150 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.84.



Fig. 3.84. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

Simulările au fost realizate în regim dinamic, pentru 12 ore, pasul 0.5 ore. Au fost simulate situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este un sector al malului stâng.

A fost simulat următorul scenariu:

- data prelevării probei: **13.01.2011**;

- concentrația probei prelevate: **0,07 mg/L**;

- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,15 \text{ m}$.

Pentru a stabili convergența metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 600 de elemente.

În continuare se vor prezenta unele din rezultate obținute cu ajutorul rețelelor de calcul.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 250 de elemente, 657 noduri. În figurile A9.2 (a) – A9.2 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 2 ore, respectiv 5 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. După 2 ore, respectiv 5 ore din momentul confluenței poluantului cu apa, se observă micșorarea concentrației.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 384 elemente, 877 noduri. În figurile A9.3 (a) – A9.3 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 2 ore, respectiv 5 ore din momentul confluenței poluantului cu apa.

Se observă reducerea concentrației poluantului pe sectorul studiat.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 500 de elemente, 1140 noduri (figura 4.79 (a)). A fost verificată calitatea rețelei (figura 4.79 (b)).

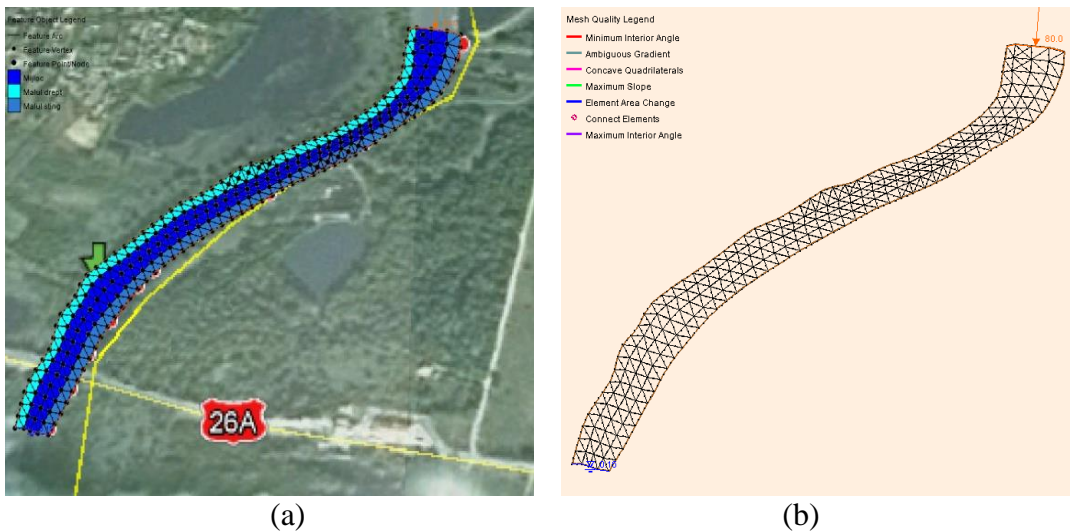


Fig. 3.85. Rețeaua de calcul (a) și calitatea rețelei de calcul (b).

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile 3.86 – 3.87.

Name	water depth	Name	velocity mag
Number of time steps	25	Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00	Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00	Ending time	0 12:00:00
All time steps		All time steps	
->Minimum	1.70243	->Minimum	0.150627
->Maximum	15.3742	->Maximum	2.53978

Fig. 3.86. Adâncimea apei (a) și viteza rezultantă (b)

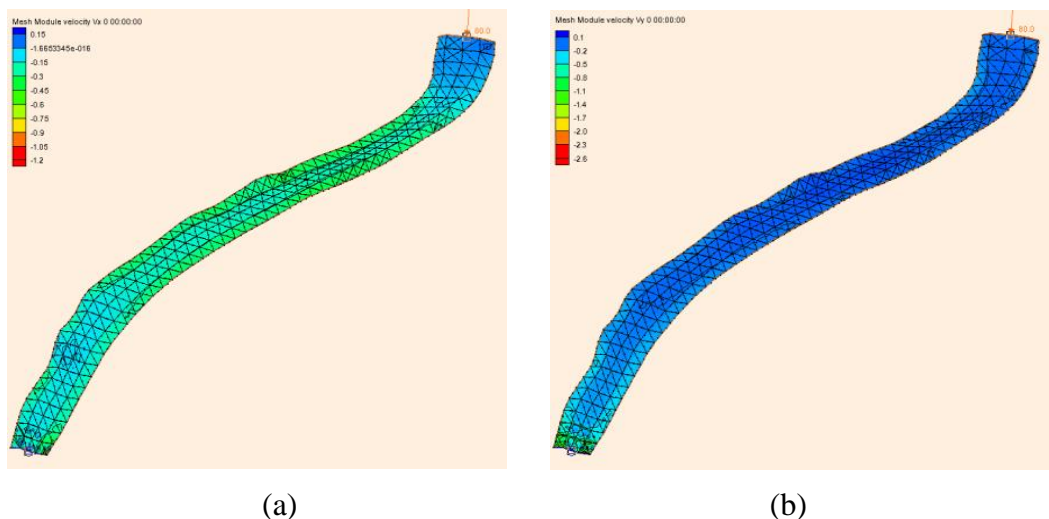


Fig. 3.87. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

S-a constatat că în direcția x viteza particulelor apei este mai mare decât în direcția y . Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile 3.88 – 3.89.

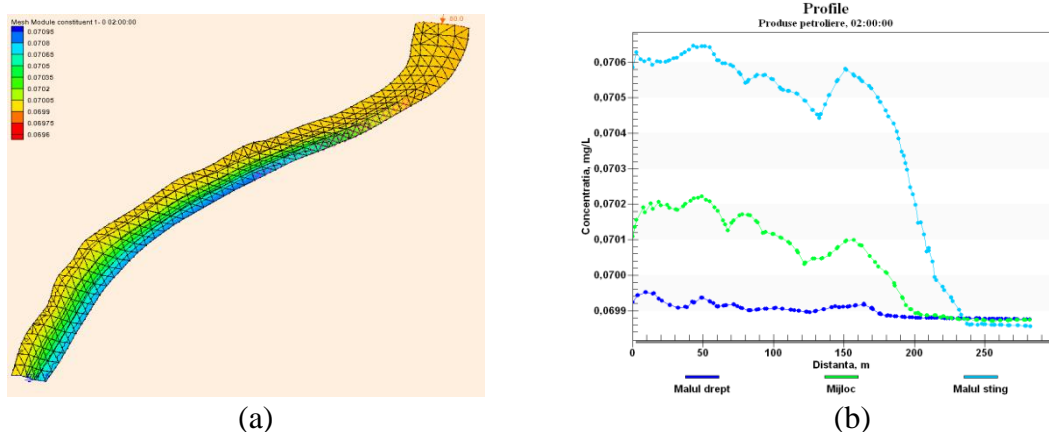


Fig. 3.88. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 2 ore.

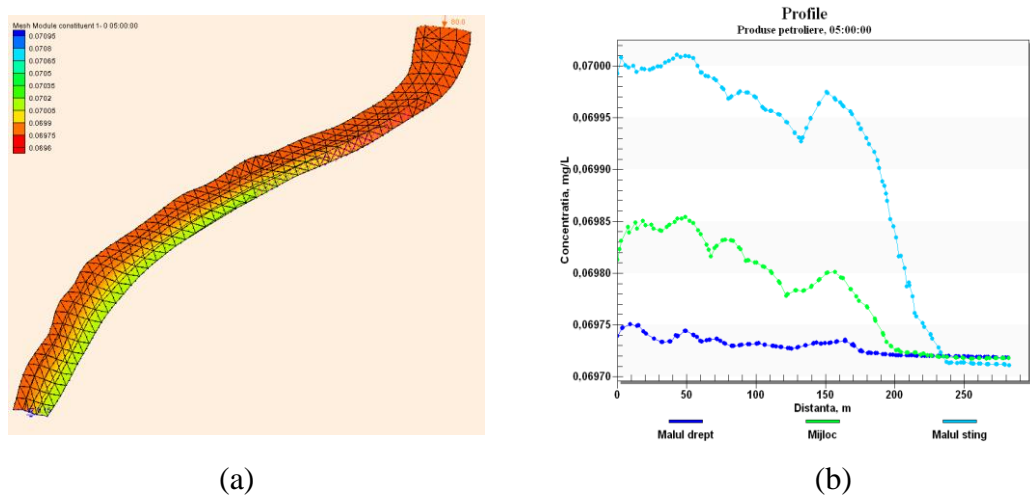


Fig. 3.89. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 5 ore.

După 2 ore concentrația poluantului s-a redus pe partea majoră a sectorului studiat. Se observă că cea mai mare concentrație a poluantului se menține la malul stîng.

După 5 ore concentrația poluantului s-a micșorat semnificativ pe cea mai mare parte a sectorului studiat. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura 3.90.

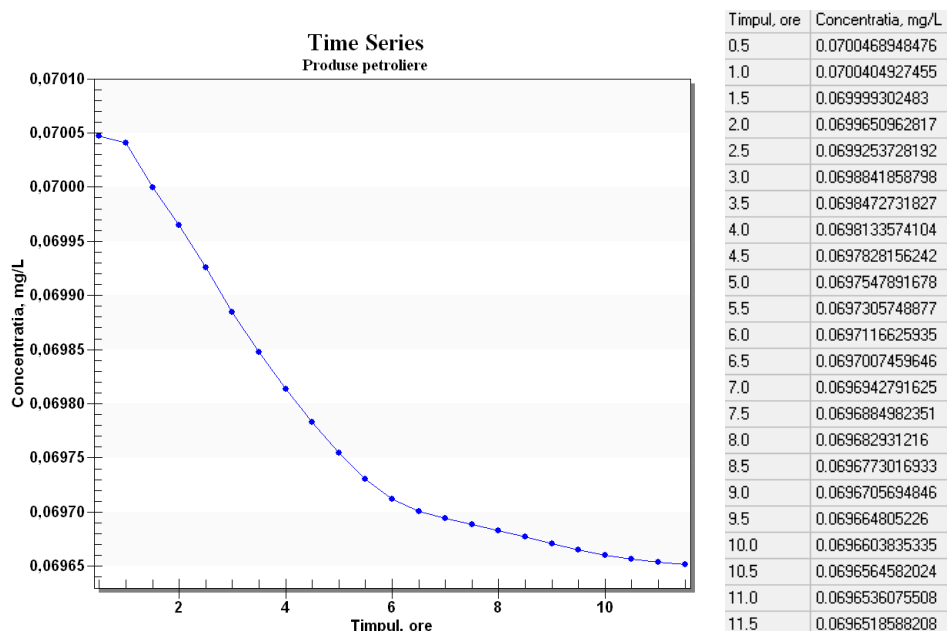


Fig. 3.90. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

S-a stabilit că procesul de transport și dispersie a produselor petroliere este foarte lent.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului se prezintă în Anexa 9.

Analiza erorilor în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere se prezintă în figura 3.91.



Fig. 3.91. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

Rezultatul comparării datelor măsurate cu cele calculate se prezintă în figura 3.92.

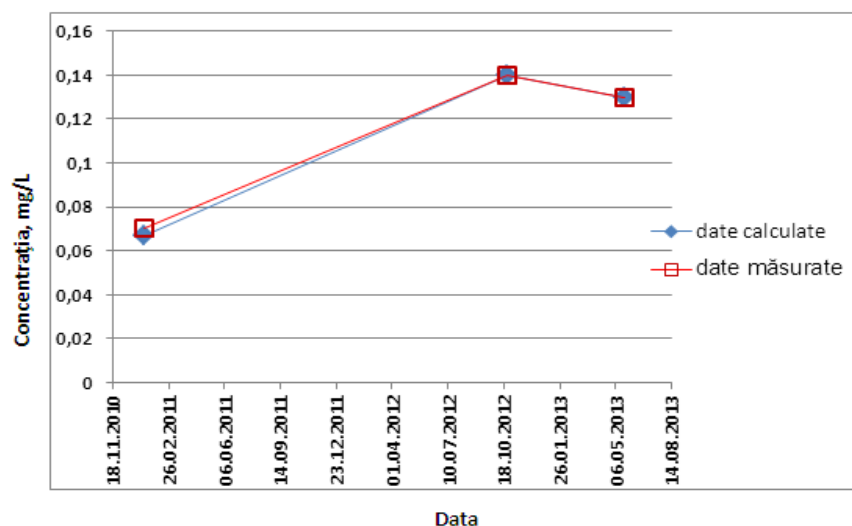


Fig. 3.92. Compararea datelor măsurate cu cele calculate peste 2 ore din momentul confluenței poluantului cu apa.

3.3.8 Rezultatele simulărilor numerice pentru râul Prut pe sectorul s. Giurgiuleşti

Concentrațiile medii anuale ale probelor prelevate în perioada anilor 2008-2013 se prezintă în figura A10.1. Din analiza datelor prelevate s-a constatat că în perioada 2008-2013 s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru produse petroliere, nitriți, compușii cuprului, ioni de amoniu, fenoli (tabelul A10.1).

Cele mai mari depășiri CMA au fost înregistrate pentru produse petroliere (figura 3.93). Pentru modelarea numerică s-au ales scenarii cu depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

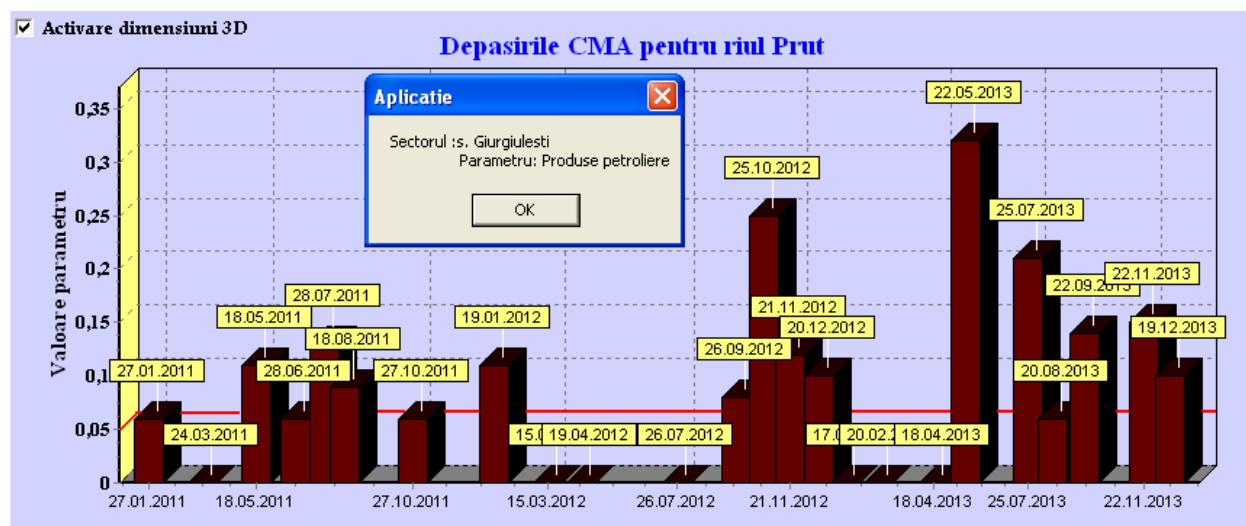


Fig. 3.93. Depășiri ale CMA pentru produse petroliere.

Distanța de modelare al sectorului studiat a constituit 885 m. În sistemul SMS acest sector a fost discretizat în elemente finite prin divizarea în 59 de profile transversale din 15 în 15 m, în

total 177 de poligoane. Geometria domeniului, precum și punctul de prelevare a probelor, se prezintă în figura 3.94.

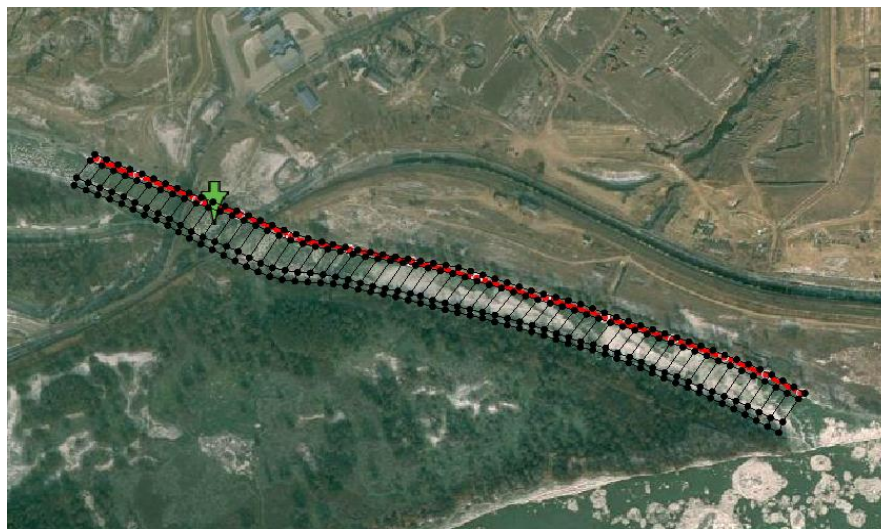


Fig 3.94. Reprezentarea geometriei în 2D (săgeata verde – punctul de prelevare a probelor).

Simulările cu privire la modelarea, calibrarea și validarea produselor petroliere au fost realizate în regim dinamic, pentru 12 ore, cu pasul 0,5 ore.

Au fost simulate situațiile când zona de confluență a poluantului cu apa este amonte al sectorului studiat.

Scenariul simulat:

- data prelevării probei: **28.07.2011**;
- concentrația probei prelevate: **0,13 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 260 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 3,32 \text{ m}$.

Pentru a stabili convergența metodei numerice au fost construite trei rețele de calcul. S-a observat că metoda converge pentru rețeaua compusă din 600 de elemente.

În continuare se vor prezenta unele din rezultate obținute cu ajutorul rețelelor de calcul.

Prima simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 295 elemente, 774 noduri. În figurile A10.2 (a) – A10.2 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 minute, respectiv 6 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. S-a constatat că valoarea concentrației poluantului se reduce pe tot sectorul de râu studiat.

A doua simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 472 elemente, 1045 noduri. În figurile A10.3 (a) – A10.3 (b) se prezintă câmpul de concentrații obținut peste 3 ore și 30 minute, respectiv 6 ore din momentul confluenței poluantului cu apa. Se observă micșorarea concentrației poluantului pe tot sectorul studiat.

A treia simulare numerică a fost realizată pe o rețea de calcul compusă din 600 de elemente, 1329 noduri (figura 3.95 (a)). Calitatea rețelei se prezintă în figura 3.95 (b).

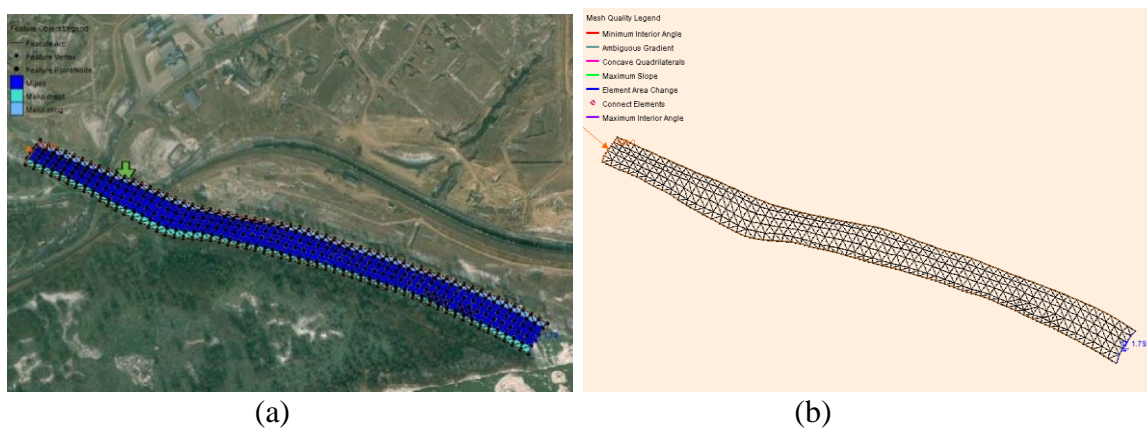


Fig. 3.95. Rețeaua de calcul (a) și calitatea rețelei de calcul (b).

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile 3.96 – 3.97.

Name	water depth	Name	velocity mag
Number of time steps	25	Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00	Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00	Ending time	0 12:00:00
All time steps		All time steps	
->Minimum	1.78314	->Minimum	0.792914
->Maximum	3.78747	->Maximum	1.99866

Fig. 3.96. Adâncimea apei (a) și viteza rezultantă (b).

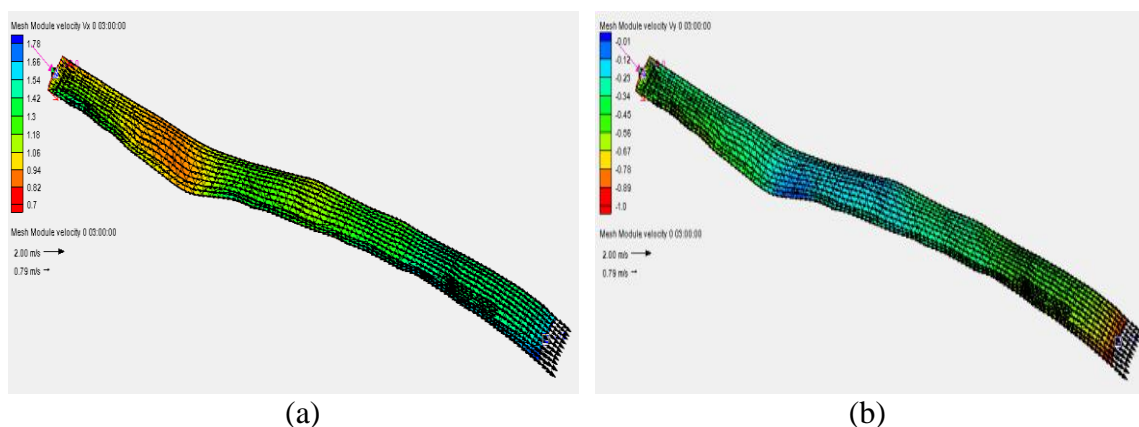


Fig. 3.97. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Se observă că în direcția x viteza deplasării particulelor este mai mare decât în direcția y . În continuare a fost folosit programul RMA4. Rezultatele se prezintă în figurile 3.98 – 3.99.

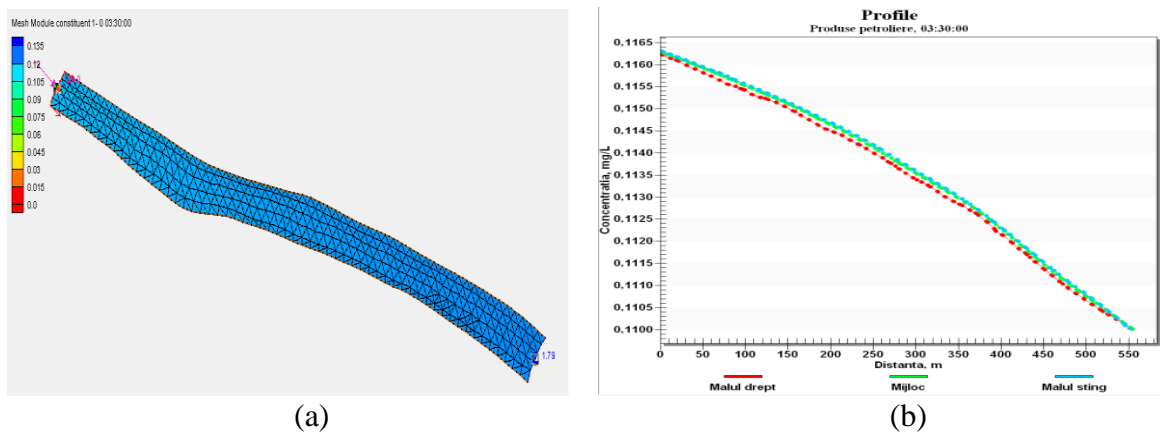


Fig. 3.98. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3.30 ore.

După 3 ore și 30 minute concentrația poluantului s-a redus pe tot sectorul studiat.

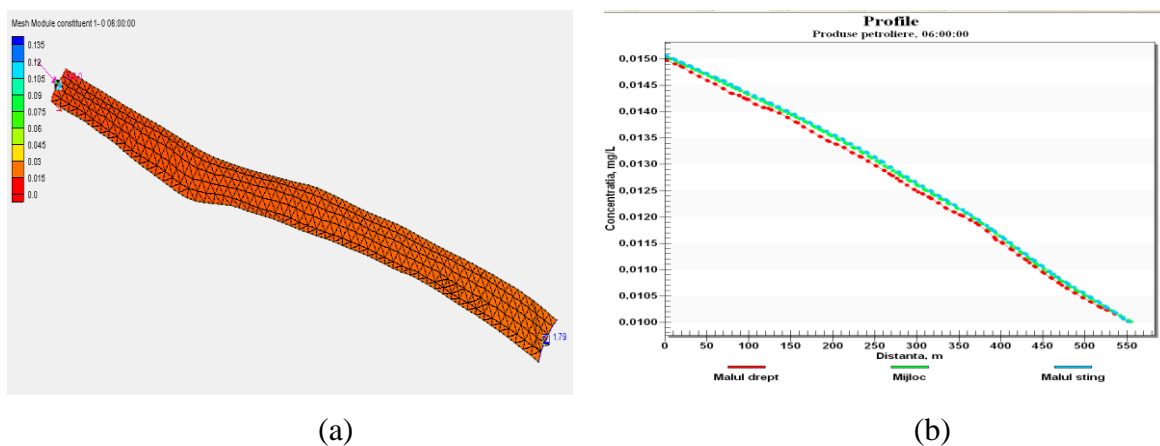


Fig. 3.99. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

După 6 ore concentrația poluantului s-a redus substanțial pe tot sectorul studiat.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura 3.100.

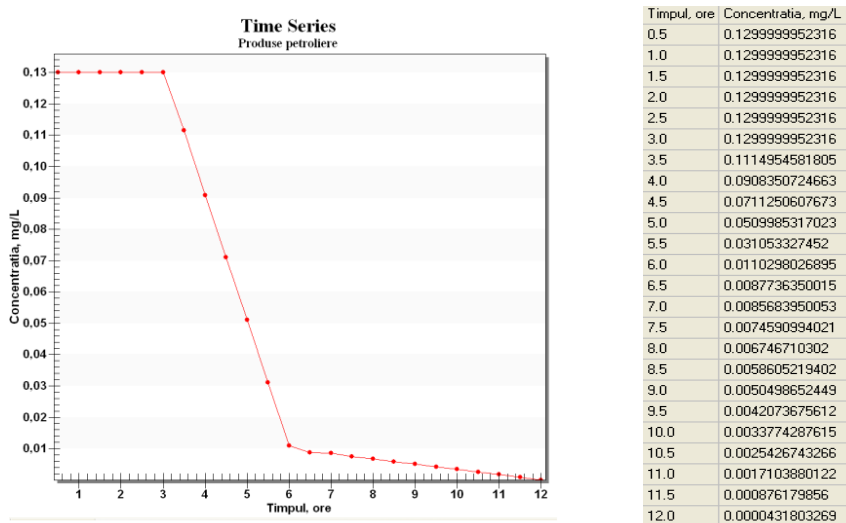


Fig. 3.100. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariile cu privire la calibrarea și validarea modelului se prezintă în Anexa 10.

Erorile modelelor numerice se prezintă în figura 3.101.

Error Summary		Error Summary	
s. Giurgulesti - 28.07.2011		s. Giurgulesti - 21.11.2012	
Mean Error:	-0,037	Mean Error:	-0,027
Mean Abs. Error:	0,037	Mean Abs. Error:	0,027
Root Mean Sq. Error:	0,050	Root Mean Sq. Error:	0,044

Fig. 3.101. Erorile în modelele numerice cu privire la simularea produselor petroliere pînă și după calibrarea modelului.

Au fost comparate datele măsurate cu cele obținute în rezultatul simulării (figura 3.102).

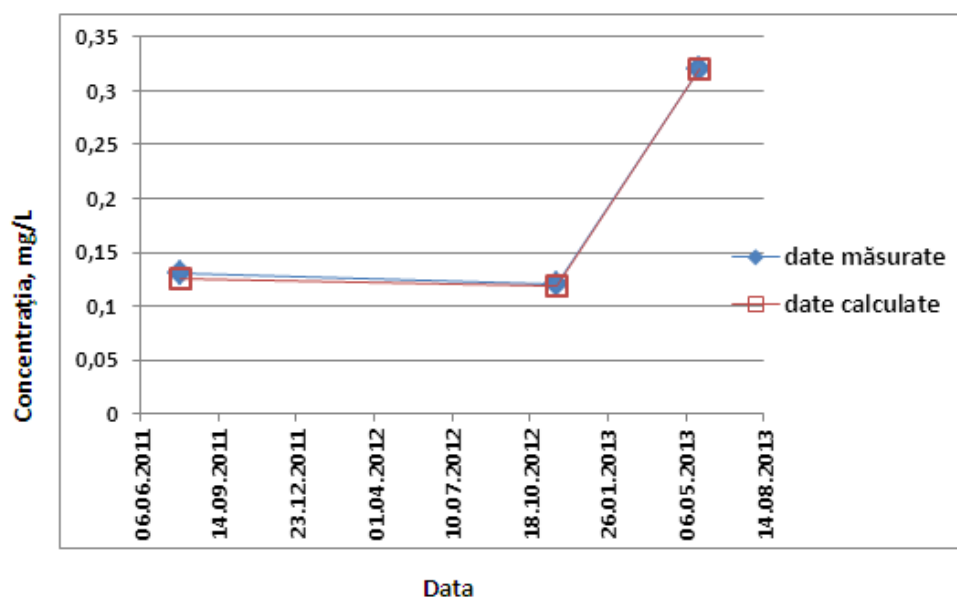


Fig. 3.102. Compararea datelor măsurate cu cele calculate.

S-a constatat că valoarea concentrației produselor petroliere se micșorează semnificativ în punctul de prelevare a probelor și în zona de confluență peste 5 ore și 30 minute din momentul confluenței cu apa.

POLUARE ACCIDENTALĂ

Accident în legătură cu transportul produselor petroliere

În baza modelului numeric obținut a fost simulat un scenariu de poluare accidentală cu concentrația produselor petroliere de 0,7 mg/L, care a depășit valoarea CMA de 14 ori. Confluența poluantului cu apa a avut loc la mijlocul sectorului studiat (figura 3.103).

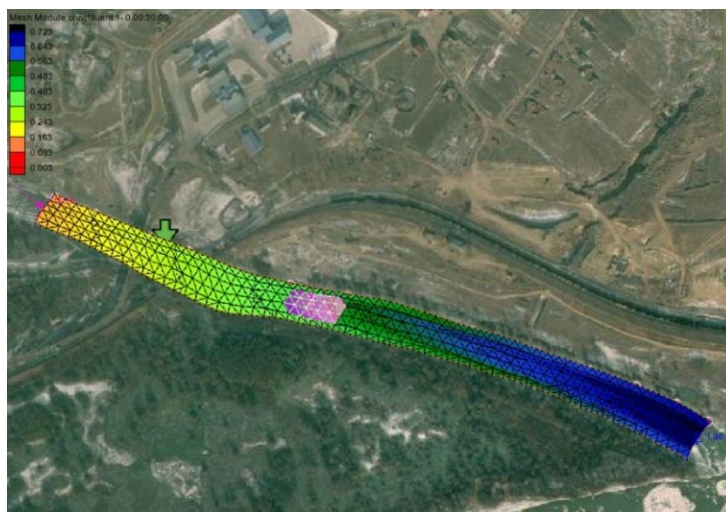
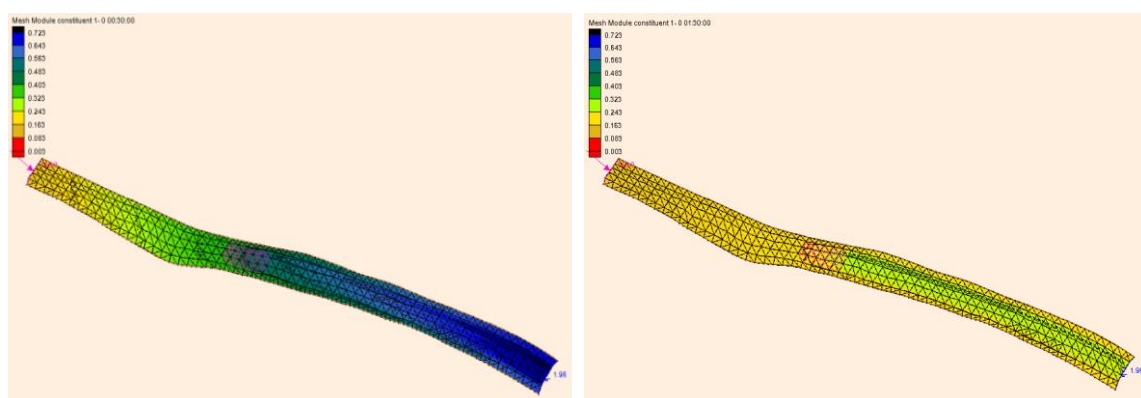


Fig. 3.103. Confluența poluantului cu apa.

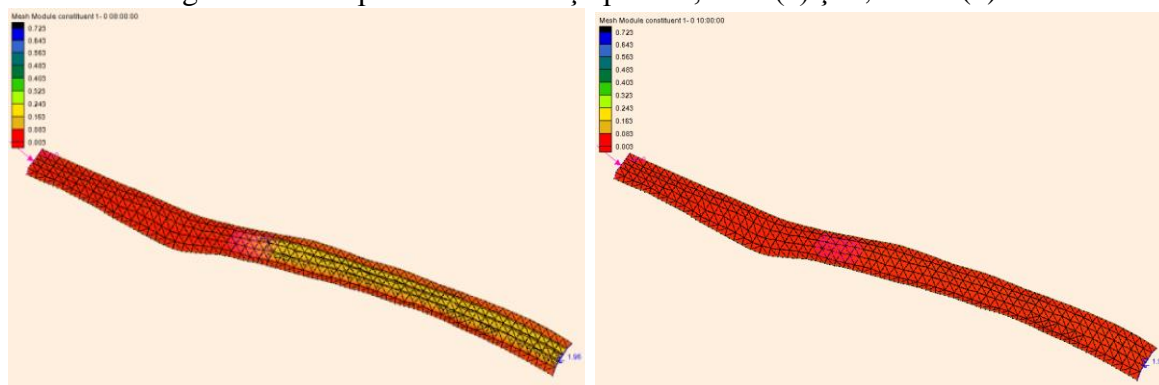
Rezultatele obținute cu privire la dispersia produselor petroliere (figurile 3.104 – 3.107).



(a)

(b)

Fig. 3.104. Cîmpul de concentrații peste 0,5 ore (a) și 1,30 ore (b).



(a)

(b)

Fig. 3.105. Cîmpul de concentrații peste 8 ore (a) și 10 ore (b).

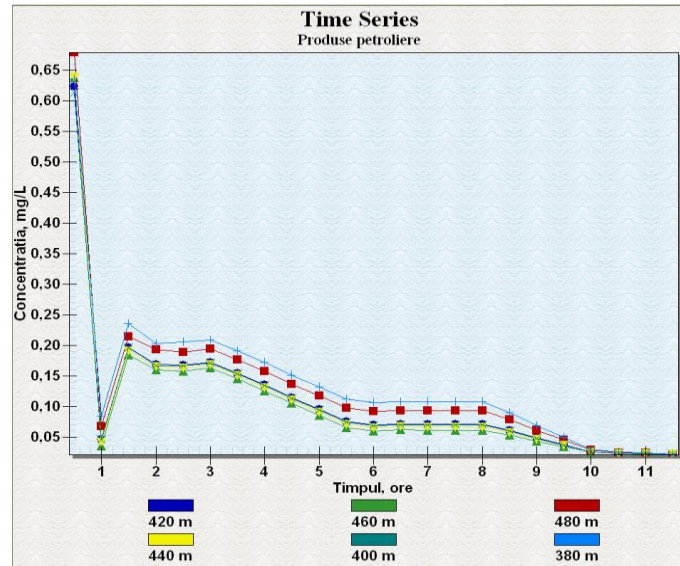


Fig. 3.106. Evoluția spațio-temporală a concentrației poluantului în aval față de zona de confluență la mijlocul râului.

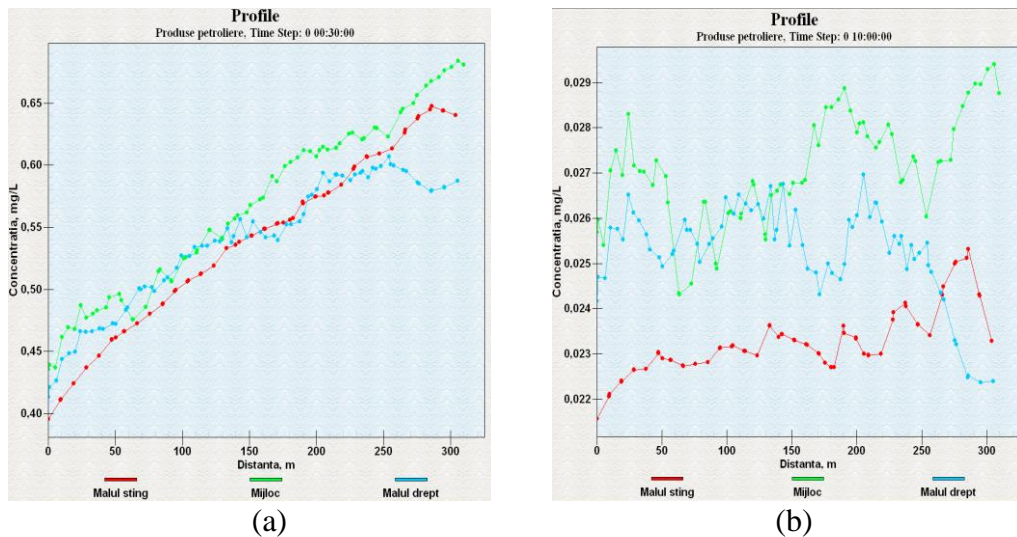


Fig. 3.107. Concentrația poluantului în aval față de zona de confluență peste 0,30 ore (a) și 10 ore (b).

În baza simulărilor CFD pe sectorul râului Prut din localitatea Giurgiu-lești s-a stabilit:

- peste 4 ore din momentul confluenței cu apa concentrația poluantului cu valoarea de 0,7 mg/L în zona de confluență a devenit 0,16 mg/L; peste 7 ore – 0,09 mg/L; peste 9 ore – 0,06 mg/L; peste 10 ore – 0,03 mg/L.
- concentrația poluantului rămîne pronunțată timp de 9 ore în aval față de zona de confluență a poluantului cu apa;
- după 10 ore din momentul confluenței cu apa valoarea concentrației produselor petroliere a devenit mai mică față de CMA pe tot sectorul studiat.

3.4. Concluzii la capitolul 3

1. A fost efectuat un studiu cu privire la calitatea apei în perioada 2008-2013 pentru opt sectoare ale râului Prut: s. Criva, s. Șirăuți, s. Braniște, or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești în baza informațiilor oferite de către SHS cu privire la concentrațiile medii anuale ale parametrilor fizico-chimici, indicelui de poluare a apei (IPA) și depășirile CMA.

2. În baza valorilor IPA a fost creat un program în limbajul de programare Java, care permite determinarea calității apei în fiecare sector examinat al râului Prut în parte și la general.

3. Din analiza concentrațiilor medii anuale ale parametrilor fizico-chimici, s-a constatat că în perioada studiată în majoritatea sectoarelor calitatea apei se încadrează în clasa a II-a – curată, iar în unele cazuri în clasa a III-a – moderat poluată.

4. Au fost depistați cei mai frecvenți poluanți în sectoarele studiate, reieșind din analiza buletinelor lunare ale SHS privind calitatea mediului ambiant pe teritoriul Republicii Moldova:

- s. Criva: produse petroliere, nitriți, fenoli și ioni de amoniu;
- s. Șirăuți: produse petroliere, nitriți, fenoli și ioni de amoniu;
- s. Braniște: produse petroliere, fenoli și nitriți;
- or. Ungheni: produse petroliere, compușii cuprului și fenoli;
- s. Valea Mare: nitriți, compușii cuprului, produse petroliere, fenoli;
- or. Leova: produse petroliere, fenoli și nitriți;
- or. Cahul: produse petroliere, nitriți, fenoli;
- s. Giurgiulești: produse petroliere, nitriți, compușii cuprului, ioni de amoniu, fenoli.

5. În baza rezultatelor obținute a fost creată o bază de date cu posibilitatea de a extrage informația necesară într-o formă comodă (tabelară și grafică).

6. S-a constatat că cel mai frecvent poluant îl reprezintă produsele petroliere. Ca urmare, s-a decis de a simula procesele de transport și dispersie a poluantului menționat.

7. A fost ales pachetul de programe SMS, în special modulele RMA2 și RMA4, care pot soluționa problemele de curgere a apei și a transportului de poluanți în sistemele de tip râu.

8. Cu ajutorul pachetului de programe menționat au fost generate modele numerice în scopul estimării evoluției spațio-temporale a dispersiei produselor petroliere în sectoarele studiate.

9. Folosind numărul Froude, a fost verificată stabilitatea numerică a programului RMA2. S-a constatat că pentru toate modelele numerice numărul Froude nu depășește valoarea de 0,6.

10. În baza simulărilor numerice CFD a curgerii apei în sectoarele studiate s-a stabilit:

- adâncimea apei variază de la 0,5 m în sectorul râului Prut din localitatea s. Valea Mare până la 4,8 m din localitatea or. Leova;

- viteza deplasării particulelor apei în direcția x este mai mare decât în direcția y ;
- viteza rezultantă variază de la 0,07 m/s până la 4,31 m/s.

11. În baza simulărilor numerice CFD a transportului și dispersiei produselor petroliere a fost estimată concentrația în timp și spațiu a poluantului menționat după, cum urmează:

- pentru sectorul râului Prut din localitatea s. Criva poluantul este preluat de curentul principal al râului și în primele 3 ore din momentul confluenței cu apa în punctul de prelevare a probelor concentrația poluantului cu valoarea de 0,08 mg/L s-a micșorat nesemnificativ până la 0,079 mg/L; peste 5 ore a atins valoarea de 0,03 mg/L, iar peste 12 ore s-a micșorat substanțial până la 0,00081 mg/L. Valoarea concentrației s-a micșorat semnificativ pe tot sectorul studiat și nu mai depășește CMA după 5 ore din momentul confluenței produselor petroliere cu apa;
- pentru sectorul râului Prut din localitatea s. Șirăuți în primele 3 ore din momentul confluenței cu apa poluantul se menține la malul stîng. Peste 4 ore concentrația poluantului cu valoarea de 0,13 mg/L în punctul de prelevare a probelor a devenit 0,062 mg/L; peste 8 ore – 0,026 mg/L, iar peste 12 ore – 0,0241 mg/L. După 5 ore și 30 minute din momentul confluenței cu apa valoarea concentrației produselor petroliere a devenit mai mică față de CMA pe tot sectorul studiat.
- pentru sectorul râului Prut din localitatea s. Braniște în primele 2 ore din momentul confluenței cu apa poluantul se menține preponderent la malul stîng. Concentrația poluantului cu valoarea de 0,16 mg/L în punctul de prelevare a probelor peste 3 ore s-a micșorat până la 0,09 mg/L; peste 6 ore și 30 minute până la 0,043 mg/L, iar peste 12 ore a atins valoarea de 0,031 mg/L. Valoarea concentrației poluantului atinge valoarea mai mică de CMA peste 6 ore și 30 minute din momentul confluenței cu apa;
- pentru sectorul râului Prut din localitatea or. Ungheni poluantul se menține la malul stîng în primele 2 ore din momentul confluenței cu apa. Concentrația poluantului cu valoarea de 0,06 mg/L în punctul de prelevare a probelor peste 3 ore a atins valoarea de 0,051 mg/L; peste 5 ore – 0,047 mg/L, iar peste 12 ore – 0,046 mg/L. Procesul de dispersie a produselor petroliere este foarte lent;
- pentru sectorul râului Prut din localitatea s. Valea Mare poluantul este preluat de curentul principal al râului și în primele 3 ore din momentul confluenței cu apa concentrația poluantului s-a păstrat valoarea de 0,1 mg/L; după 5 ore în punctul de prelevare a probelor a devenit 0,041 mg/L, iar peste 12 ore – 0,0008 mg/L. Valoarea concentrației poluantului atinge valoarea mai mică de CMA pe tot sectorul studiat peste 5 ore din momentul confluenței cu apa;

- pentru sectorul râului Prut din localitatea or. Leova în zona de confluență cu apa poluantul este preluat de curentul principal al râului. În punctul de prelevare a probelor concentrația poluantului timp de o oră și 30 minute din momentul confluenței cu apa și-a păstrat valoarea de 0,07 mg/L; peste 3 ore și 30 minute a devenit 0,04 mg/L, peste 12 ore – 0,0008 mg/L. Peste 3 ore și 30 minute concentrația poluantului atinge valoarea mai mică de CMA pe tot sectorul.
- pentru sectorul râului Prut din localitatea or. Cahul poluantul se menține preponderent la malul stîng. În punctul de prelevare a probelor concentrația poluantului de 0,07 mg/L s-a păstrat timp de o oră, peste 7 ore a devenit 0,0696 mg/L, iar peste 12 ore – 0,0692 mg/L. Procesul de transport și dispersie a produselor petroliere este foarte lent;
- pentru sectorul râului Prut din localitatea s. Giurgiulești poluantul este preluat de curentul principal al râului și peste 3 ore din momentul confluenței cu apa în punctul de prelevare a probelor concentrația poluantului de 0,13 mg/L s-a micșorat pînă la 0,129 mg/L; peste 5 ore și 30 minute pînă la 0,031 mg/L, iar peste 12 ore a atins valoarea de 0,00004 mg/L. Concentrația produselor petroliere se micșorează semnificativ în punctul de prelevare a probelor și pe tot sectorul studiat peste 5 ore și 30 minute din momentul confluenței cu apa;
- în cazul cînd zona de confluență a poluantului cu apa este amonte al sectorului studiat procesul de transport și dispersie a poluanților este mai rapid, și mai lent în cazul cînd confluența poluantului cu apa este un sector al malului stîng;
- pentru același poluant procesul de transport și dispersie diferă de la un sector la altul și depinde de proprietățile fiecărui sector în parte.

11. Pentru prima dată au fost simulate situațiile de alertă în sectoarele de râu studiate, cu valori ale concentrațiilor poluanților depășind CMA, fiind stabilite:

- variația adîncimii apei în limitele 0,5 m – 4,8 m;
- variația vitezei rezultante în limitele 0,07 m/s – 4,31 m/s;
- cîmpul de viteze în direcțiile x și y ;
- cîmpul de concentrații în timp și spațiu;

12. Modelele numerice au fost calibrate și validate în baza datelor reale din teren. A fost elaborată o nouă metodă de calibrare a modelelor numerice în baza coeficienților de difuzie turbulentă, reieșind din valoarea optimă a numărului Peclet, care a fost stabilit pentru fiecare sector studiat.

13. A fost efectuată analiza erorilor în modelele numerice pînă și după calibrare. În urma calibrării modelelor numerice, erorile s-au micșorat semnificativ.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Prin lucrarea de față autorul și-a propus să aducă partea sa de contribuție la investigarea ecosistemelor de tip râu și a evoluției spațio-temporale a proceselor de transport și dispersie a poluanților în sistemele respective, implicit în opt sectoare ale râului Prut – acest fluviu ocupă un sfert din suprafața rețelei hidrografice a Republicii Moldova și reprezintă principală sursă de asigurare a populației cu apă potabilă.

Făcând lumină asupra celor mai semnificative aspecte ale cercetărilor sale în acest sens, autorul propune un set de recomandări și soluții originale pe care le-a identificat și implementat în propriile estimări ale parametrilor calității apei și pe care le recomandă spre implementare în cercetările ulterioare în domeniu, în baza acestora urmînd a fi elaborate rețele de calcul și pentru alte sectoare ale râului Prut, precum și pentru alte râuri.

Principalele concluzii:

1. Pe parcursul investigațiilor efectuate au fost identificate și argumentate modele matematice, metode numerice și tehnologii CFD, printre care:
 - sistemul de ecuații Navier-Stokes sub forma Reynolds;
 - ecuația fundamentală de advecție-dispersie;
 - metoda RANS pentru rezolvarea numerică a ecuațiilor Navier-Stokes;
 - metoda elementelor finite;
 - pachetul de programe specializat SMS,care au fost aplicate pentru simularea numerică a curgerii turbulente și a proceselor de transport și dispersie a poluanților în sistemele de tip râu.
2. În rezultatul cercetărilor cu privire la calitatea apei râului Prut pentru perioada anilor 2008-2013, bazate pe analiza concentrațiilor medii anuale a parametrilor fizico-chimici și a valorilor indicelui de poluare a apei (IPA), precum și a depășirilor CMA, s-au depistat cei mai frecvenți poluanți pentru opt sectoare ale râului Prut: s. Criva, s. Șirăuți, s. Braniște, or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești.
3. Analiza depășirilor CMA în cele opt sectoare cercetate ale râului Prut a arătat că cel mai des întâlnit poluant îl reprezintă produsele petroliere.
4. A fost elaborat un program în limbajul Java pentru determinarea calității apei, care a permis determinarea și vizualizarea calității apei în fiecare sector studiat, precum și în ansamblu pe râul Prut.
5. A fost creată o bază de date cu ajutorul aplicației Microsoft Access în scopul prelucrării informațiilor cu privire la parametrii de calitate și de poluare a apei râului Prut.

6. Pentru analiza informațiilor din baza de date a fost elaborat un program în C++ Builder, ceea ce a condus la vizualizarea și prelucrarea informațiilor într-o formă comodă – tabelară și grafică.
7. Au fost elaborate geometria și rețelele de calcul pentru toate sectoarele studiate.
8. În baza simulărilor numerice a mișcării apei în râuri și a proceselor de transport și dispersie a poluanților s-a stabilit:
 - câmpul de viteze și câmpul cu privire la adâncimea apei;
 - câmpul de concentrații în timp și spațiu, în baza căruia a fost estimată concentrația produselor petroliere în toate sectoarele de râu studiate;
 - procesul de transport și dispersie a poluanților s-a dovedit a fi mai rapid în cazul în care zona de confluență a poluantului cu apa este amonte al sectorului studiat, și mult mai lent dacă confluența poluantului cu apa este un sector al malului stîng, ceea ce se explică prin faptul că viteza particulelor apei este mai mare la mijlocul râului decît la maluri.
 - procesul de dispersie a poluanților diferă de la un sector la altul chiar și pentru același poluant și depinde de proprietățile fiecărui sector în parte. Această constatare se explică prin complexitatea fenomenelor fizico-chimice, care au loc în sistemele de tip râu.
9. Simulările numerice au fost realizate în baza datelor reale din teren. Discretizarea a fost realizată cu un număr suficient de mare de elemente finite, asigurînd astfel o eroare de calcul acceptabilă.
10. În premieră, au fost obținute modele numerice pentru opt sectoare ale râului Prut, care asigură posibilitatea simulării atît a poluării obișnuite, cît și a celei accidentale (referitoare la evoluția spațio-temporală a transportului și a dispersiei poluanților). Modelele obținute permit estimarea calității apei în fiecare element finit al sectorului studiat, și nu doar într-un singur punct de prelevare a probelor, cum se determina pînă acum de către *Serviciul Hidrometeorologic de Stat*.
11. Pentru prima dată, în sectoarele de râu studiate au fost simulate situații de alertă cu valori ale concentrațiilor poluanților depășind CMA, ceea ce a condus la cunoașterea procesului de împrăștiere a poluantului în timp și spațiu, precum și posibilitatea de a elabora scenarii de predicție a poluării apei.
12. Efectuînd numeroase simulări numerice, modelele obținute au fost calibrate pe un set de date reale prelevate în anul 2012 și validate pe un set de date prelevate în anul 2013.
13. A fost elaborată o nouă metodă de calibrare a modelelor numerice obținute în baza valorilor optime ale numărului Peclet pentru fiecare sector studiat, ceea ce permite

determinarea calității apei cu o exactitate mai mare față de modelele numerice calibrate în baza formulelor empirice.

14. A fost demonstrată corectitudinea modelului matematic prin obținerea rezultatelor simulărilor numerice cu erori minime față de datele măsurate în teren.
15. Simulările numerice au demonstrat o bună capacitate a modelului matematic de a reproduce fidel procesele reale în sistemele acvatice de tip râu, fapt confirmat prin compararea datelor reale, prelevate în situ, cu datele obținute prin intermediul modelelor numerice elaborate.
16. În baza rezultatelor simulărilor numerice, s-a stabilit că modelele numerice obținute, calibrate și validate, pot fi utilizate direct pentru orice scenariu de poluare în sectoarele studiate, în situații de urgență și accidentale, dovadă fiind simularea unui scenariu de poluare accidentală în sectorul râului Prut din localitatea Giurgiulești.
17. Rezultatele cercetării sunt, de asemenea, utile pentru evaluarea evoluției calității apei râului Prut, precum și pentru alte râuri. În baza metodologiei propuse pot fi elaborate modele pentru oricare alt râu, folosind metoda de calibrare recomandată în teză.
18. A fost elaborat un nucleu pentru crearea unei platforme integrate cu posibilitatea de a urmări și a estima în timp real parametrii de calitate ai apelor, precum și managementul riscului de poluare a apei.
19. Rezultatele obținute au fost implementate în cadrul *Direcției Monitoring al Calității Mediului al Serviciului Hidrometeorologic de Stat* al Republicii Moldova, firmei *S.C. Software și Sisteme Informatice Bucovina S.A.* din Suceava, România, precum și în cadrul *Sistemului de Gospodărire a Apelor Iași*, România.

Direcții de cercetare pentru viitor:

1. Extinderea rezultatelor simulării numerice ale fenomenelor de transport al poluanților pentru alte sectoare ale râului Prut, care trece prin diferite regiuni cu diverse caracteristici de curgere.
2. Crearea unei platforme integrate pentru a putea realiza un management adecvat al calității apei, în baza estimării în timp real al parametrilor legați de impactul poluanților, precum și un management al riscului de poluare a apei.
3. Determinarea teoretică și experimentală a coeficienților ecuației de dispersie în funcție de viteză și de regimul de curgere pentru estimarea cantitativă a distribuției concentrațiilor poluantului în cazul schemei tridimensionale.
4. Extinderea rezultatelor simulării numerice ale fenomenelor de transport al poluanților pentru sectoarele de apă freatică de pe teritoriul Republicii Moldova, utilizând în acest scop sistemul care face obiectul propunerii de brevet de invenție A 00922/03.12.2012.

BIBLIOGRAFIE

a) în limba română

1. Andrei L. Dispersia poluanților în cursurile naturale. În: Materialele Conferinței Științifice Anuale al Institutului Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, România, 2011, p. 417-430.
2. Ani E. Modelarea transportului poluanților în râuri: abordare din perspectiva ingineriei de proces. Autoref. tezei de doctor în Inginerie Chimică. Cluj-Napoca, 2010, 38 p.
3. ANUAR. Starea calității apelor de suprafață conform elementelor hidrobiologice pe teritoriul Republicii Moldova în anul 2012, Chișinău, 2013, 145 p.
http://www.meteo.md/monitor/anuare/2012/anmarhidro_2012.pdf
4. ANUAR. Starea calității apelor de suprafață conform elementelor hidrobiologice pe teritoriul Republicii Moldova în anul 2013, Chișinău, 2014, 145 p.
http://www.meteo.md/monitor/anuare/2013/anmarhidro_2013.pdf
5. Barbu Gh., Miroiu M. Tehnici de simulare. București, 2012. 100 p.
6. Beșliu V., Ciufudean C., Filote C., **Marusic G.**, Moraru V., Ștefănescu B. Modelarea matematică a hidrodinamicii și dispersiei poluanților chimici în râuri. În: Materialele Conferinței Internaționale „Microelectronics and Computer Science ICMCS – 2011”. Chișinău, 2011, vol.I, p. 160 -165.
7. Boian I., Gîlcă G. Rezultatele expediției ecologice complexe „Prut 2011” În: Mediul ambiant, 2011, vol. 4, nr. 58, p. 36–40.
8. Cojocaru C. Modelarea interacțiunilor și dezvoltarea sistemelor integrate de management al apei la nivel de bazin hidrografic. Autoref. tezei de doctor în Inginerie Chimică și Protecția Mediului. Iași, 2011, 54 p.
9. *** Directiva Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene 2000/60/EC de stabilire a unui cadru de politică comunitară în domeniul apei, 2000.
<http://www.justice.gov.md/file/Centrul%20de%20armonizare%20a%20legislatiei/Baza%20de%20date/Materiale%202010/Legislatie/32000L0060-Ro.PDF>
10. Drăgan M. Mecanica fluidelor. Gălați: "Dunărea de Jos", 2007. 115 p.
11. Duca Gh. Managementul apelor în Republica Moldova. Expertiza A.Ș.M. În: Akademos, nr. 2 (17), 2010, p. 26 -27.
12. Duca Gh., Porubin D. Managementul apelor. În: Akademos, nr. 1 (12), 2009, p. 61 - 62.
13. Florescu Iu. Mecanica fluidelor, Bacău: Editura Universității, 2007, 130 p.
14. Gavrilă L. Fenomene de transfer. Vol.I. Bacău: Alma Mater, 2000. 152 p.
15. Georgescu Șt. Contribuții la studiul poluării mediilor acvatice la contactul apelor de suprafață cu apele subterane. Autoref. tezei de doctor în Protecția Mediului. București, 2010, 44 p.

16. Legea apelor. Nr. 272 din 23.12.2011. În: Monitorul Oficial al Republicii Moldova, 26.04.2012. nr.81/264.
17. **Marusic G.** Simularea dinamică a calității apei în sistemele de tip ”râu”. În: *Academos*, 2013, Nr. 3 (30), p. 39-44.
18. **Marusic G.** Moraru V., Modelarea matematică a transportului poluanților pe un sector al râului Prut. În: *Materialele Conferinței Internaționale “Modelare Matematică, Optimizare și Tehnologii Informaționale”*, ediția a III-a, Chișinău, Academia de Transporturi, Informatică și Comunicații, 19 – 23 martie 2012, vol. III, p. 86 – 98.
19. Păun M. Evaluarea calității apelor de suprafață cu ajutorul metodelor statistice. Autoref. tezei de doctor în Știința Mediului. Galați, 2012, 53 p.
20. Popa R. Modelarea calității apei din râuri. București: Ed. *H*G*A*, 1988. 500 p.
21. Programul de activitate pentru anul 2014. Direcția Monitoring al Calității Mediului. SHS.
22. Rădoane M., Rădoane N., Cristea I., Gancevici-Oprea D. Evaluarea modificărilor contemporane ale albiei râului Prut pe granița românească. În: *Revista de geomorfologie*, 2008, vol. 10, p. 57-71.
23. Sandu M., Tăriță. A. ș. a. Indicatorii de calitate și capacitatea de autoepurare a apei afluenților de stânga ai râului Prut. În: *Mediul Ambient*, 2008, Nr. 4(40), p. 20 – 23.
24. Starea mediului în Republica Moldova (Raport popular), 2004. Chișinău, 2004. http://cim.mediu.gov.md/raport2004/ro/firstprobl/apa/apa_ro2.htm
25. Starea mediului în Republica Moldova în 2007-2010 (Raport Național). Chișinău, 2011, 194 p.
26. Tertișco M., Găgescu R., Junie P., Eremia C. Asigurarea utilizării durabile a apei pe TERRA prin informatizarea monitorizării mediului. În: *Revista Română de Informatică și Automatică*, 2011, vol. 21, Nr. 3, p. 5-12.
27. Vartolomei F. Bazinul Prutului-Studiu de hidrologie. Autoref. tezei de doctor în Geografie. București, 2008, 58 p.
28. Vieru P. Calitatea râului Prut în sectorul Oroftiana apreciată după indicatori biologici. În: *Lucrările Seminarului Geografic „D. Cantemir”*, nr. 25, 2005, p. 203-211.

b) în limba rusă

29. Блюмензаат Й., Трэнкнер Б., Хельм П. Кребс. Адаптивная схема для оценки влияния разномасштабных факторов на качество воды. В: *Географический вестник*, №8, 2010, 15 с.
30. Брэдшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение. Пер. с англ. под ред. Глушко Г.С. М.: "Мир", 1974. 279 с.
31. Влацкий В.В. Моделирование речного стока с использованием ГИС-технологий. В: *Вестник ОГУ*, №9 (115), 2010, с. 104-109.

32. Волков П. К. О природе движения жидкостей. В: Вестник Югорского государственного университета, №2 (21), 2011, с. 8-28.
33. Козлов А.В. Мониторинг поверхностных вод Амурской области на базе геоинформационных систем. В: Вестник КрасГАУ, №2, 2010, с. 58-62.
34. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса. Докл. АН СССР, Т. 30, № 4, 1941, с. 299-303.
35. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд. 7-е, М.:Наука, 2003. 835 с.
36. Макарьянц Г. М., Прокофьев А. Б. Основы метода конечных элементов. Samara: СГАУ, 2013. 80 с.
37. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Часть 2. М.: Наука, 1967. 155 с.
38. Петров Ю. С., Распопов В. Е. Результаты вычислительных экспериментов при математическом моделировании водных экосистем. В: Вестник Сибирского Государственного университета имени асадемика М.Ф. Решетнева, №1, 2010, с. 29-34.
39. Плетнева Л. А. и др. Информационные технологии и математическое моделирование мониторинга водных ресурсов Орловской области. В: Известия ОрелГТУ, №1-2/269 (544), 2008, с. 163-169.
40. Пушистов П. Ю. и др. Численное моделирование пространственно-временной структуры гидродинамик и характеристик качества воды реки Северная Сосьва. В: Оптика атмосферы и океана, №11, 2006, с. 956-960.
41. Солодов В. Г. Моделирование турбулентных течений. *Монография*. Харьков:ХНАДУ, 2011. 168 с.
42. Темам Р. Уравнения Навье-Стокса. Теория и численный анализ. Москва: Мир, 1981. 408 с. (Пер. с англ. Новикова В. А., Франка А. М.).
43. Федоровский А. С. Моделирование речного стока на высокопроизводительных вычислительных кластерах. В: Информатика и системы управления, №2 (6), 2003. с. 37-47.
44. Фрост У., Моулден Т. Турбулентность: принципы и применения. М.:Мир, 1980, 535 с.
45. Цыденов Б. О., Старченко А. В. Численная модель взаимодействия систем «река-озеро» на примере весеннего термобара в озере Камлупс. В: Вестник ТГУ, №5 (25), 2013, с. 103-115.
46. Чижумов С. Д. Основы гидродинамики. Комсомольск-на-Амуре: АГТУ, 2007. 109 с.
47. Чистяков А.Е. Об аппроксимации граничных условий трехмерной модели движения водной среды. В: Известия ЮФУ, №6, том 107, 2010, с. 66-77.
48. Шишкин А.И., Епифанов А.В. Система мониторинга качества воды в бассейне р. Невы на основе геоинформационных технологий. В: Известия ЮФУ, №12, том 67, 2006, с. 113-118.

49. Юлаева Е.О., Разнополов К.О., Сухарев Ю.И. Обзор программы WASP6 применительно к задаче исследования водной экосистемы «Аргазы - Миасс - Шершни». В: Известия Челябинского научного центра, вып. 2 (28), 2005, с. 89-94.

c) în limba engleză

50. Alam Sarfaraz, Abdul Matin M. Application of 2D morphological model to assess the response of Karnafuli River due to capital dredging. In: Journal of Water Resources and Ocean Science, 2013, Vol. 2, Issue 3, pp. 40-48.
51. Amara M., Capatina-Papaghiuc D., Trujillo D. Hydrodynamical modelling and multidimensional approximation of estuarine river flows. In: Computing and Visualization in Science, 2004, Vol. 6, Issue 2-3, pp. 39-46.
52. Ania E., Wallisc S., Kraslawskia A., Serban P. Development, calibration and evaluation of two mathematical models for pollutant transport in a small river. In: Environmental Modelling & Software, 2009, Vol. 24, Issue 10, pp. 1139-1152.
53. Anderson. Computational Fluid Dynamics for Engineers. Cambridge:University Press, 2012. 2012 p.
54. Berselli L., Iliescu T., Layton W. Mathematics of LES of Turbulent Flows. SC, Springer, 2005. 356 p.
55. Blazek J. Computational Fluid Dynamics for Engineers: Principles and Applications. Elsevier Science, 2005. 496 p.
56. Boussinesq, J. Theorie de l'Ecoulement Tourbillant. Mem. Presentes par Divers Savants Acad. Sci. Inst. Ft., 1877. Vol. 23, pp. 46-50.
57. Buzduga C., Benabou A., Beşliu V., **Marusic G.**, Filote C., Ciufudean C. Comportarea ferofluidelor în câmpuri magnetice de joasă intensitate. In: Proceedings of the 7th International Conference on Microelectronics and Computer Science ICMCS – 2011. Chişinău, vol.I, p. 15 -18.
58. Chapman D. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition. Cambridge:University Press, 1996. 609 p. http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqabegin.pdf (vizitat xxxx).
59. Chung T. J. Computational Fluid Dynamics, Second edition. Cambridge:University Press, 2010. 1058 p.
60. Clark R., Ferziger J., Reynolds W., Evaluation of subgrid-scale models using an accurately simulated turbulent flow, In: Journal of Fluid Mechanics, 1979, vol. 91, Issue 01, pp. 1-16.
61. Cristea V., Bagiu E., Agachi P. Simulation and Control of Pollutant Propagation in Some River Using Comsol Multiphysics. In: Proceedings of the 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering– ESCAPE 20, Italy, 2010, pp. 985-991.

62. Cuff D., Goudie A. *Encyclopedia of Global Change: Environmental Change and Human Society*. New York: Oxford University Press, 2002. 1440 p.
63. Ertud K., Mirza I., *Water Quality: Physical, Chemical and Biological Characteristics*. Nova Science Publishers Inc., 2010. 277 p.
64. Fan C., Wang W., Liu K., Yang T. Sensitivity Analysis and Water Quality Modeling of a Tidal River Using a Modified Streeter-Phelps Equation with HEC-RAS-Calculated Hydraulic Characteristics. In: *Environmental Modeling & Assessment*, 2012, Vol. 17, Issue 6, pp. 639-651.
65. Ferziger J., Peric M. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Springer Berlin, 2002. 431 p.
66. Fisher H. et al. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. California: Academic Press, 1979. 497 p.
67. Filote C., Ciufudean C., Alaci S., **Marusic G.**, Cozgarea A. The Spline analysis of parameters and pollutants dispersion in river surface water. In: *Proceedings of the 14th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE '12)*, Sliema, Malta, September 7-9, 2012, pp. 243 – 246.
68. Foias C., Manley O., Rosa R., Temam R., *Navier-Stokes Equations and Turbulence*. Cambridge: University Press, 2004. 364 p.
69. Garde R. J. *River Morphology*. Publisher: New Age International (P), 2006. 502 p.
70. Hakanson L., Boulion V. A general dynamic model to predict biomass and production of phytoplankton in lakes. In: *Ecological Modelling*, 2003, vol. 165, Issue 2-3, pp. 285-301.
71. HEC-RAS River Analysis System. *Hydraulic Reference Manual*. US Army Corps of Engineers, 2010. 411 p.
72. Herold H. *Chemical Fate and Transport in the Environment*. Second edition. California: Academic Press, 2010. 433 p.
73. Ionuș O. Water quality index - assessment method of the Motru River water quality (Oltenia, Romania). In: *University of Craiova, Series Geography*, 2010, vol. 13, pp. 74-83.
74. Kachiashvili K., Gordeziani D., Lazarov R., Melikdzhanian D. Modeling and simulation of pollutants transport in rivers. In: *Applied Mathematical Modelling*, 2007, vol. 31, Issue 7, pp. 1371-1396.
75. Kuzmin D. *A Guide to Numerical Methods for Transport Equations*, Friedrich-Alexander-Universitat, 2010, 226 p.
76. Kuzmin A. (ed.) *Computational Fluid Dynamics 2010*. Springer, 2010. 995 p.
77. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows. In: *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 1974, vol. 3, Issue 2, pp. 269–289.
78. **Marusic G.**, Sandu I., Moraru V., Filote C., Ciufudean C. ș. a. Fluoride Dispersion Modeling for „RIVER-TYPE” Systems. În: *Meridian Ingineresc*, 2012, Nr. 4, pp. 28 – 32.

79. **Marusic G.**, Filote C., Ciufudean C. The spatial - temporal evolution of iron dispersion in "river-type" systems. In: Proceedings of the 17th WSEAS International Conference on Applied Mathematics (AMATH '12), Montreux, Switzerland December 29-31, 2012, pp. 95 – 98.
80. **Marusic G.**, Ciufudean C. Current state of research on water quality of Prut River, În: Proceedings of the 11th International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED '13), Romania, Brasov, June 1-3, 2013, pp. 177 – 180.
81. **Marusic G.**, Sandu I., Moraru V., Vasilache V. ș. a. Software for modeling spatial and temporal evolution of river-type systems. In: Proceedings of the 11th International Conference on Development and Application Systems, Suceava, Romania, May 17-19, 2012, pp. 162 – 165.
82. **Marusic G.**, Sandu I., Filote C., Moraru V. ș. a. The modeling of spacial-temporal evolution of fluoride dispersion in “river-type” systems. In: Book of abstracts, IC-ANMBES 2012 – May 24-27, Brasov, Romania, 2012, p. 46.
83. **Marusic G.**, Sandu I., Filote C. ș. a. Modeling of Spacio–temporal Evolution of Fluoride Dispersion in “River-type” Systems. In: Revista de Chimie, 2015, 66, Nr. 4, pp. 503-506, **cotată ISI**.
84. **Marusic G.** A study on the mathematical modeling of water quality in "river-type" aquatic systems. In: Journal Wseas Transactions on Fluid Mechanics, Issue 2, Volume 8, April 2013, pp. 80 – 89, indexată în **SCOPUS**.
85. **Marusic G.** Study on numerical modeling of water quality in „river-type” systems. In: Meridian Ingineresc, 2013, Nr. 2, pp. 38 – 42.
86. Mannina G. Uncertainty Assessment of a Water-Quality Model for Ephemeral Rivers Using GLUE Analysis. In: Environmental Engineering, 2011, vol. 137, no. 3, pp. 177-186.
87. McDonough J. M. Introductory lectures on turbulence. University of Kentucky, 2007. 179 p.
88. Menter F. K., Kuntz M. Adaptation of eddy-viscosity turbulence models to unsteady separated flow behind vehicles, Proc. Conf. The aerodynamics of heavy vehicles, Asilomar, Ca, 2002, pp. 339-352.
89. Menter F. K., Egorov Y. Scale-adaptive simulation method for unsteady flow predictions, Part 1: Theory and model description, Journal of Flow Turbulence and Combustion, 2010, vol. 85, 1, pp.113-13.
90. Mozejko J., Gniot R., Polish J. Application of Neural Networks for the Prediction of Total Phosphorus Concentrations in Surface Waters. In: Environ. Stud., 2008, vol. 17, no. 3, pp. 363-368.
91. OECD (2011), “Water security”. In: Better Policies for Development: Recommendations for Policy Coherence, OECD Publishing. 2011, pp. 40-42.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264115958-15-en>
92. Park C. Dictionary of Environment and Conservation. Oxford University Press. 2007.

93. Petrescu V., Sumbasacu O. Comparison between numerical simulation and measurements of the pollutant dispersion in a river. Case study. In: U.P.B. Sci. Bull., Series D, 2010, vol. 72, Issue 3, pp. 157-164.
94. Pope, S. Turbulent Flows. Cambridge: University Press, 2003. 770 p.
95. Shur M. L., Spalart P. R., Strelets M., Travin A. A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modelled LES capabilities, International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 29, 6, 2008, pp.1638-1649.
96. Socolofsky S. A., Jirka G. H. Special Topics in Mixing and Transport Processes in the Environment (5th Ed.). Texas: A&M University, College Station, 2005. 184 p.
97. Socolowski J., Banks C. Principles of Modeling and Simulation. Canada: John Wiley & Sons, 2011. 280 p.
98. *** „SMS Tutorials”, SMS v.10.1.11, AquaVeo, 2011.
99. *** Surface Water Modeling System – RMA2. US Army Engineer Research and Development Center, AquaVeo, USA, 2011.
100. *** Surface Water Modeling System – RMA4. US Army Engineer Research and Development Center, AquaVeo, USA, 2011.
101. Usov A. B. Finite-Difference Method for the Navier–Stokes Equations in a Variable Domain with Curved Boundaries. In: Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2008, Vol. 48, no. 3, pp. 464–476.
102. Water Quality for Ecosystem and Human Health. United Nations Environment Programme, Global Environment Monitoring System (GEMS)/Water Programme, 2nd edition, 2008. 120 p.
103. Wilcox D. Turbulence Modeling for CFD. California: DCW Industries, 1994. 456 p.
104. Yong G. Lai. Theory and User Manual for SRH-W. Version 1.1. Sedimentation and River Hydraulics – Watershed model. Colorado: U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2006. 137 p.
105. Zhang H., Yin Q., Ling Ch. An Integrated Decision Support System for Water Quality Management of Songhua River Basin. In: AIP Conf. Proc., 2010, pp. 400-403.

d) în limba franceză

106. Roussel J. Cours de Mecanique des fluides. C.P.I.2 - Chem.I.St2 : 2005-2006. 69 p.
<http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel>

ANEXE

Anexa 1. Produsul program pentru determinarea calității apei

Utilizînd limbajul de programare Java, a fost elaborat produsul program pentru determinarea clasei de calitate a apei, reieșind din valorile IPA. Fereastra principală a programului este prezentată în figura A 1.1. În partea de sus a ferestrei este situată scara claselor de calitate a apei, conform culorii respective. În partea dreaptă sus se află lista de selectare ce permite alegerea anului, iar în partea stîngă – opt butoane corespunzătoare sectoarelor studiate și un buton cu imaginea hărții râului Prut. În funcție de evenimentul petrecut (schimbarea anului sau a sectorului), se inițializează culoarea sectorului care indică clasa respectivă a calității apei, conform valori IPA

Calitatea apei în sectorul râului Prut din localitatea Valea Mare în anul 2013 se poate vedea din figura A.1.1, iar calitatea apei în râul Prut în anul 2011 – din figura A.1.2.

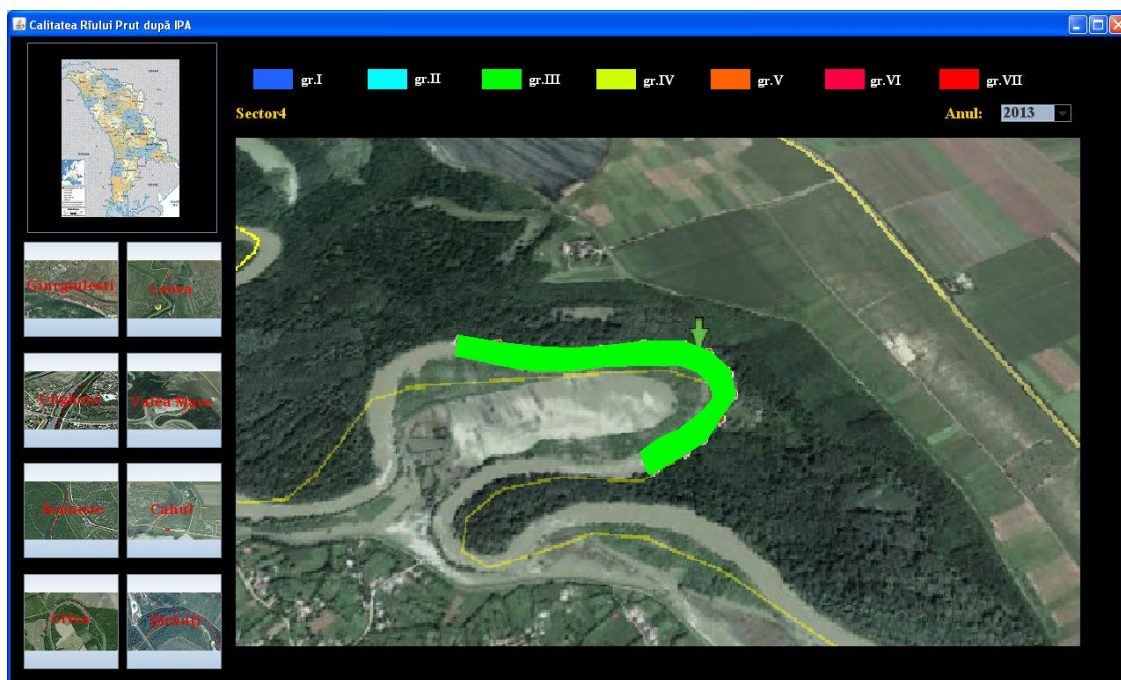


Fig. A1.1. Calitatea apei în sectorul r. Prut din localitatea Valea Mare în anul 2013.

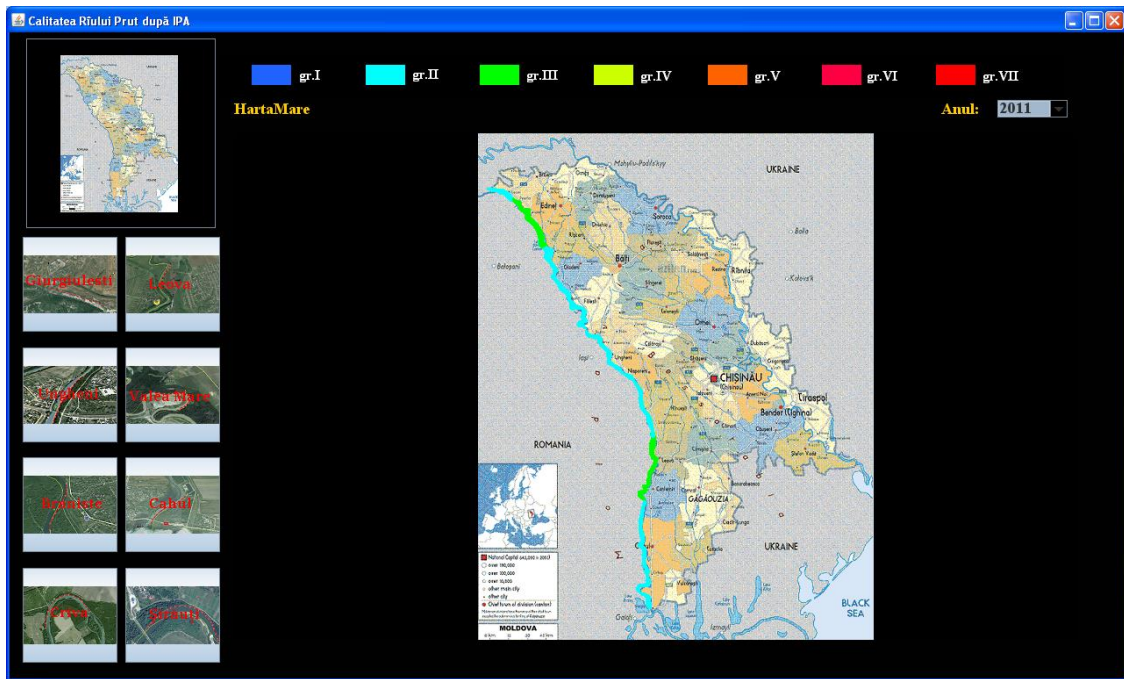


Fig. A1.2. Calitatea apei în rîul Prut în anul 2011.

Metodele claselor din program:

Metoda de prelucrare a evenimentelor:

```

public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    if (e.getSource() == Anul) {
        p.SAnul = Anul.getSelectedItem().toString();
        Panell.numeSector = Panell.sector.toString().substring(22).replace(".png", "");
        p.culoare = p.InitColor();
        p.repaint();
    }
    else {
        Status.setText(e.getActionCommand());
        Panell.sector = new ImageIcon("Files/" + "ImaginiSectoare/" + e.getActionCommand() + ".png");
        Panell.numeSector = e.getActionCommand();
        p.culoare = p.InitColor();
        p.PolySectoare(p.polySector);
        p.InitPolyX("X" + e.getActionCommand() + ".txt");
        p.InitPolyY("Y" + e.getActionCommand() + ".txt");
    }
    p.repaint();
}

```

Metoda principală a programului:

```

public static void main(String[] args) {

```

```

    GUI g=new GUI("Calitatea Rîului Prut după IPA");
}

```

Metoda ce permite inițializarea coordonatelor X a poligonului:

```

public int[] InitPolyX(String numeFisierX){
    String s;
    int i=0;
    try{
        RandomAccessFile XSector1=new RandomAccessFile("Files/"+"Coordonate"+
"/"+numeFisierX, "r");
        s=XSector1.readLine();
        while(s!=""&&s!=null){
            L[++i]=Integer.parseInt(s);
            s=XSector1.readLine();
        }
        Lsize=i;
    }
    catch(Exception e){
        if(!numeFisierX.contains("Harta"))
            JOptionPane.showMessageDialog(null, "File "+"Files/"+"Coordonate"+"/"
+
numeFisierX+" not found!");
    }
    return L;
}

```

Metoda ce permite inițializarea coordonatelor Y a poligonului:

```

public int[] InitPolyY(String numeFisierY){
    String s;
    int i=0;
    try{
        YSector=new RandomAccessFile("Files/"+"Coordonate"+"/"+numeFisierY, "
r");
    }
    catch(Exception e){
        if(!numeFisierY.contains("Harta"))
            JOptionPane.showMessageDialog(null, "File "+"Files/"+"Coordonate"+"/"
+
numeFisierY+" not found!");
    }
}

```

```

try{
    s=YSector.readLine();
    while((s!="") &&(s!=null)){
        h[++i]=Integer.parseInt(s);
        System.out.println("h["+i+"]="+h[i]);
        s=YSector.readLine();
    }
    hsize=i;
}
catch(Exception ex){
    System.out.println("A doua exceptie");
}
return h;
}

```

Metoda ce inițializează culoarea după scară:

```

public int InitColor(){
    int culoare=0xEE;
    float valoare=0;
    try{
        RandomAccessFile colorFile=new RandomAccessFile("Files/IPA/"+SAnul+"/
"+numeSector+".txt", "r");
        valoare=Float.parseFloat(colorFile.readLine());
        colorFile.close();
    }
    catch(Exception e){
        if(!numeSector.contains("Harta"))
            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Fisierul ce contine valoarea CMA
nu a fost gasit!!!"+"Files/IPA/"+SAnul+"/"+numeSector+".txt");
    }
    culoare=(int) (valoare*100);
    if(culoare<=20) return 0x33FF99;
    if((culoare> 20)&&(culoare<=100)) return 0x00FFFF;
    if(culoare> 100&&culoare<=200) return 0x00FF00;
    if(culoare> 200&&culoare<=400) return 0xCCFF00;
    if(culoare> 400&&culoare<=600) return 0xFF9900;
    if(culoare> 600&&culoare<=1000) return 0xFF0066;
    if(culoare> 1000) return 0xFF0000;
    return 0xCCCCCC;
}

```

Metoda ce creează toate poligoanele pentru harta mare:

```

public void PoligonHarta(Polygon poly){

```

```

    for(int i=1; i<6; i++){
        InitPolyX("XSector"+i+".txt");
        InitPolyY("YSector"+i+".txt");
        PolySectoare (poly);
    }
}

```

Metoda ce creează poligonul pentru un sector:

```

public void PolySectoare(Polygon poly) {
    poly.reset();
    for (int i = 1; i <= Lsize; i++){
        poly.addPoint(L[i], h[i]);
    }
}

```

Metoda care desenează pe ecran componentele:

```

public void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    sector.paintIcon(this, g, 0, 0);
    polySector.reset();
    if( numeSector.contains("Harta")) {
        for(int i=1; i<9; i++){
            polySector.reset();
            InitPolyX("s_XSector"+i+".txt");
            InitPolyY("s_YSector"+i+".txt");
            PolySectoare (polySector);
            numeSector="Sector"+i;
            culoare=InitColor();
            g.setColor(new Color(culoare));
            g.fillPolygon(polySector);
        }
    }
    else{
        PolySectoare (polySector);
        g.setColor(new Color(culoare));
        g.fillPolygon (polySector);
    }
}

```

Anexa 2. Baza de date și produsul program pentru analiza informațiilor

Pentru a stoca informațiile cu privire la parametrii de calitate și de poluare a apei râului Prut a fost creată o bază de date cu ajutorul aplicației *Microsoft Access*, compusă din 4 tabele: concentrațiile, depășiri, parametru, sectoare (figurile A2.1 – A2.3).

Concentrațiile									
Id_Concentri	Id_Sector	Anul	Azot_de_an	Nitrati	Nitriti	Ca++	CBO5	CCOcr	
1	1	2008	0,08	1,08	0,016	46,5	2,51	15,22	
2	1	2009	0,06	1,36	0,021	64,59	2,49	15,88	
3	1	2010	0,14	0,96	0,016	64,43	2,34	16,1	
4	1	2011	0,08	1	0,011	68,33	2,27	15,23	
5	1	2012	0,08	0,89	0,009	57,86	2,12	17,73	
6	1	2013	0,09	1,27	0,02	59,7	2,08	19,68	
7	2	2008	0,1	1,06	0,018	49,61	2,32	14,98	
8	2	2009	0,2	1,43	0,022	66,02	2,54	15,54	
9	2	2010	0,13	0,99	0,019	66,15	2,25	16,38	
10	2	2011	0,07	1,04	0,013	69,39	2,13	13,22	
11	2	2012	0,11	1	0,014	60,94	2,09	14,2	
12	2	2013	0,12	1,4	0,02	61,27	2,08	16,33	
13	3	2008	0,05	0,99	0,024	54,82	2,25	13,84	
14	3	2009	0,09	1,28	0,008	60,94	2,04	11,69	
15	3	2010	0,06	0,89	0,008	59,97	2,1	14,27	
16	3	2011	0,03	0,8	0,01	55,88	2,03	12,03	
17	3	2012	0,03	0,52	0,007	54,93	1,9	11,63	
18	3	2013	0,11	0,78	0,01	59,1	2,25	12,5	
19	4	2008	0,19	1,13	0,022	58,44	2,79	16,18	
20	4	2009	0,33	1,46	0,022	66,55	2,6	12,79	
21	4	2010	0,29	1,14	0,02	62,82	3,12	16,65	
22	4	2011	0,1	1,15	0,015	56,73	2,56	14,87	
23	4	2012	0,07	1,43	0,013	58,62	2,66	15,46	
24	4	2013	0,19	1,47	0,02	61,28	2,91	16,02	
25	5	2008	0,05	0,89	0,014	44,63	2,01	13,51	
26	5	2009	0,08	1,09	0,016	59,61	1,96	14,11	
27	5	2010	0,07	0,81	0,015	64,39	2,24	16,34	
28	5	2011	0,05	0,72	0,01	63,74	1,66	13,63	
29	5	2012	0,03	0,49	0,011	58,61	1,94	11,89	
30	5	2013	0,09	0,82	0,01	56,93	2,09	14,66	
31	6	2010	0,23	0,74	0,021	69,23	3,21	12,83	
32	6	2011	0,09	0,45	0,025	61,6	1,91	11,2	

Fig. A.2.1. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Depasiri				
Id_Depasiri	Id_Sector	Id_Parametru	Valoare	Data
1	1	1	0,07	13.01.2011
2	1	2	0	13.01.2011
3	1	3	0	13.01.2011
4	1	4	0	13.01.2011
5	1	5	0	13.01.2011
6	1	6	0	13.01.2011
7	1	7	0	13.01.2011
9	1	1	0,06	24.02.2011
10	1	2	0	24.02.2011
11	1	3	0	24.02.2011
12	1	4	0	24.02.2011
13	1	5	0	24.02.2011
14	1	6	0	24.02.2011
15	1	7	0	24.02.2011
16	1	1	0	24.03.2011
17	1	2	0,027	24.03.2011
18	1	3	0	24.03.2011
19	1	4	0	24.03.2011
20	1	5	0	24.03.2011
21	1	6	0	24.03.2011
22	1	7	0	24.03.2011
23	1	1	0,08	18.05.2011
24	1	2	0	18.05.2011
25	1	3	0	18.05.2011
26	1	4	0	18.05.2011
27	1	5	0	18.05.2011
28	1	6	0	18.05.2011
29	1	7	0	18.05.2011

Fig. A.2.2. Depășiri ale CMA.

Parametru				Sectoare	
Id_Parametru	Parametru	Valoare_CMA	Id_Sector	Sector	
1	Produse petroliere	0,05	1	or. Cahul	
2	Nitriti(n-NO2)	0,02	2	or. Leova	
3	Fenoli	0,001	3	or. Ungheni	
4	Compusii_Zincului	0,01	4	s. Valea Mare	
5	Compusii_Cuprului	0,001	5	s. Braniste	
6	CBO5	3	6	s. Criva	
7	Ioni_de_Amoniu	0,39	7	s. Giurgiulesti	
			8	s. Sirauti	

(a)

(b)

Fig. A.2.3. Parametru (a) și sectoare (b).

În scopul vizualizării și analizei datelor din baza de date a fost elaborat un program Apele Prut în mediul de programare C++ Builder. La alegerea acțiunii se apelează funcția care crează interogarea SQL cu baza de date și afișează rezultatele din BD prin intermediul celor opt formulare create (figurile A2.4 – A2.11). Interfața aplicației în momentul lansării (figura A2.4).

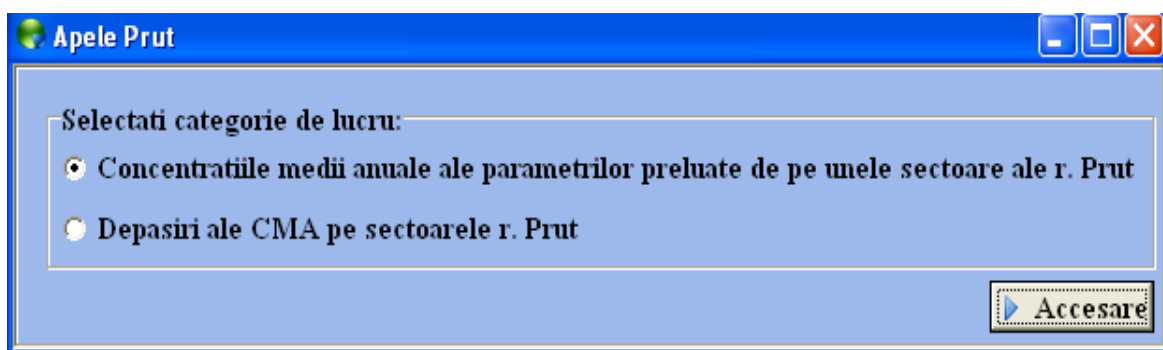


Fig. A2.4. Lansarea aplicației.

Din momentul lansării aplicației utilizatorul poate accesa o opțiune din cele două expuse. Prima opțiune a aplicației permite vizualizarea concentrațiilor medii anuale ale parametrilor calității apei pentru perioada 2008-2013. Executând click dreapta pe suprafața tabelului de afișare a datelor ușor se poate vizualiza opțiuni adăugătoare de lucru (figura A2.5).

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut						
Selectati sector:						
Sector: or. Cahul						
Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,08	0,06	0,14	0,08	0,08	0,09
Nitrați	1,08	1,36	0,96	1	0,89	1,27
Nitriti	0,016	0,021	0,016	0,011	0,009	0,02
Ca ⁺⁺	46,5	64,59	64,43			59,7
CBO ₅	2,51	2,49	2,34			2,08
CCO _{cr}	15,22	15,88	16,1			19,68
Cloruri	23,52	34,37	27,93			32,28
CO ₂	1,76	0,29	1,32	0,44	0	0
CO ₃ ⁻	1	1,42	0,75	1,38	1,5	0
Cu ⁺⁺	0,009	0,005	0,001	0,003	0,003	0
Detergenti	0	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Duritatea	3,9	4,89	5	5,3	4,39	4,68
Fe	0,073	0,053	0,097	0,14	0,111	0,07
Fenoli	0	0	0	0,001	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05
Fosfor total	0,08	0,16	0,08	0,08	0,07	0,06
HCO ₃	189,4	215,86	239,23	240,4	200,13	205,8
Temperatura	14,23	13,19	12,7	12,24	12,74	15
Transparenta	4	7,99	10,53	7	10,25	8,24
Mg ⁺⁺	19,16	20,3	21,66	23	18,26	20,68
Mineralizarea	395,8	491,86	523,04	551,9	453,75	491
Na ⁺⁺ K ⁺	37,99	47,3	53,42	56,89	46,49	58,96
Oxygen	7,67	9,52	8,98	9,63	9,36	9,15
pH	8,06	8,26	7,98	8,39	8,33	8,34
Produse petroliere	0,04	0,02	0,02	0,06	0,06	0,08
Saturatia	73	87,44	81,58	88,33	85,75	89,08
Sulfati	79,18	109,51	116,37	131,04	97,5	132,36
Suspensii	73	110,11	101,67	160,08	53,63	106,4
Zn ⁺⁺	0,004	0,002	0,003	0,011	0,002	0,002

Fig. A2.5. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor calității apei.

Introducerea datelor se realizează cu ajutorul formularului din figura A.2.6, în care se selectează sectorul, anul și se introduc datele fiecărui parametru în parte.

Parametru	Valoare	Parametru	Valoare	Parametru	Valoare
Azot de amoniu	0,08	Detergenti	0	Mineralizarea	395,8
Nitrati	1,08	Duritatea	3,9	Na++K+	37,99
Nitriti	0,016	Fe	0,073	Oxigen	7,67
Ca++	46,5	Fenoli	0	pH	8,06
CBO5	2,51	Fosfor mineral	0,05	Produse petroliere	0,04
CCOcr	15,22	Fosfor total	0,08	Saturatia	73
Cloruri	23,52	HCO3	189,4	Sulfati	79,18
CO2	1,76	Temperatura	14,23	Suspensii	73
CO3-	1	Transparenta	4	Zn++	0,004
Cu++	0,009	Mg++	19,16		

Figura A.2.6. Introducerea unei noi concentrații.

Datele pot fi prezentate și în forma grafică, accesînd opțiunea respectivă (figura A.2.7).

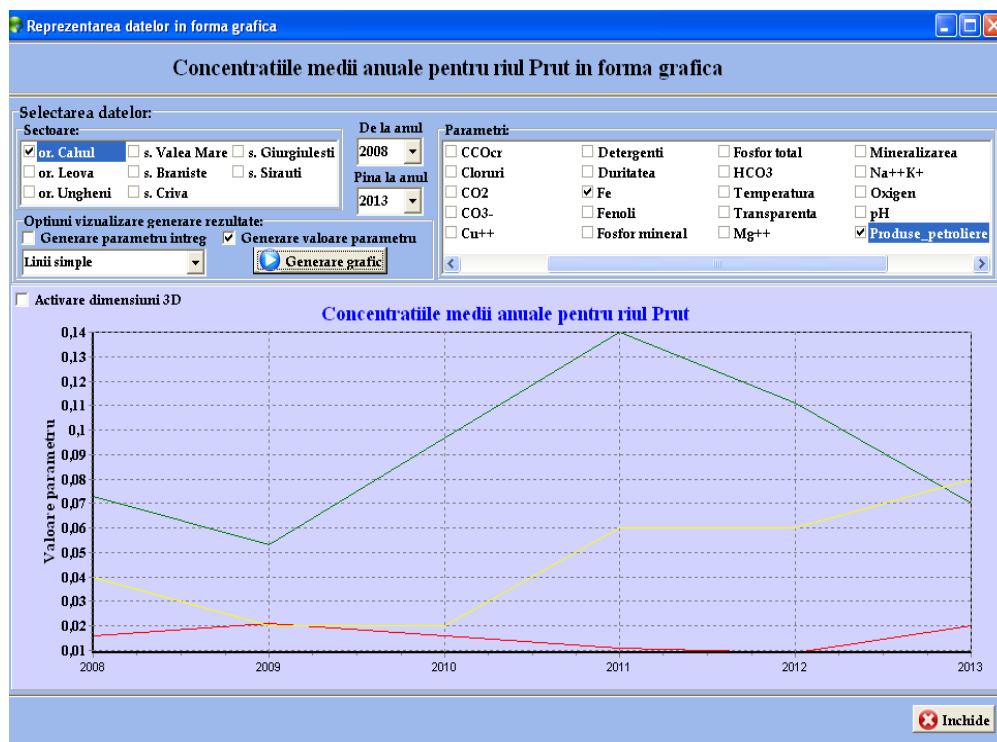


Fig. A.2.7. Reprezentarea datelor în formă grafică.

Din figură se observă unele opțiuni, cum ar fi: generare parametru întreg, generare valoare parametru, tip generare grafic și activare dimensiuni 3D.

Generarea parametrilor întreg – dacă se va selecta opțiunea dată, la fiecare pas al reprezentării datelor grafic se va afișa mesaj cu datele despre parametrul respectiv.

Generarea valorilor parametrilor – din momentul în care s-a ales opțiunea dată, la fiecare reprezentare a valorii parametrului se va afișa date despre parametru și valorile acestuia.

Selectând a doua opțiune a aplicației pot fi vizualizate depășirile CMA (figura A.2.8).

Parametru	Valoarea CMA	02.01.2013	03.01.2013	04.01.2013	05.01.2013	06.01.2013	07.01.2013
Produse petroliere	0.25	0.005	0.11			1	1.6
Nitriti(N-NO2)	2.1231	0.148	2.23			23	0.2
Fenoli	0.225	0.211	0.34			36	0.04
Compusii_Zincului	0.53	0.434	0.311	0.103	0.33	0.21	1.023
Compusii_Cuprului	0.255	0.23	3.25	0.802	0.11	1.202	0.9
CBO5	8.4	0.2	0.44	0.72	1	0.58	0.25
Ioni_de_Amoniu	0.0058	0.54	0.12	0.625	0.92	0.5	0.2

Fig. A.2.8. Vizulizarea datelor depășirilor CMA.

Pentru a introduce sau adăuga o nouă depășire se utilizează formularul din figura A.2.9. Introducerea unei noi depășiri duce la selectarea sectorului asupra căreia se face adăugarea, selectarea sau introducerea datei.

Introducere depasire

Sector:

Data:

Parametri:

Produse petroliere

Nitriti(n-NO2)

Fenoli

Compusii zincului

Compusii cuprului

CBO5

Ioni de amoniu

Salvare Anulare

Fig. A.2.9. Introducerea unei noi depășiri.

Reprezentarea depășirilor CMA poate fi realizată și în formă grafică (figura A.2.10).

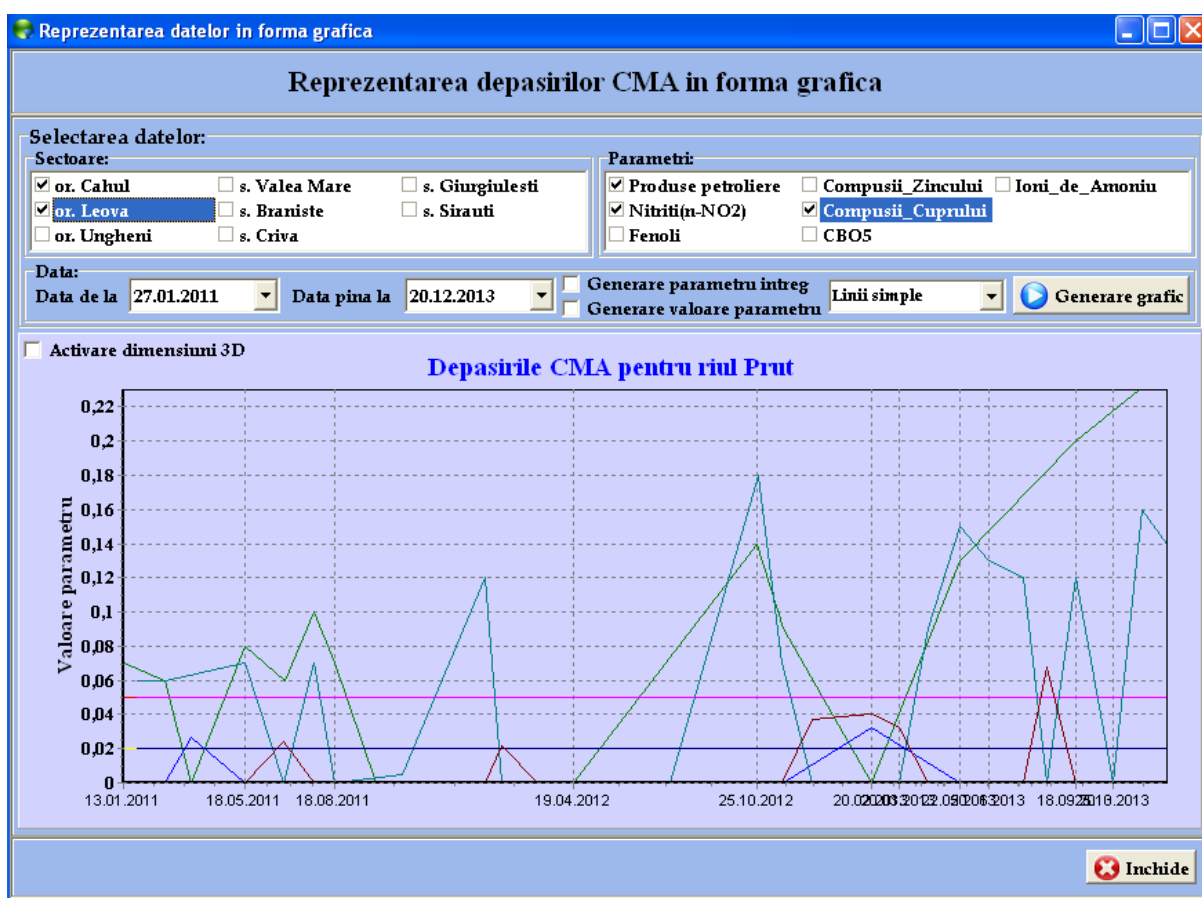


Fig. A.2.10. Reprezentarea depășirilor CMA în formă grafică.

În formularul ce urmează se pot modifica valorile CMA ale parametrilor.

Modificare Valoare CMA a parametrilor

Produse petroliere	0,05	Compusii cuprului	0,001
Nitriti(n-NO2)	0,02	CBO5	3
Fenoli	0,001	Ioni de amoniu	0,39
Compusii zincului	0,01		

Salvare Anulare

Fig. A.2.11. Modificarea valorilor CMA ale parametrilor.

În continuare se va prezenta codul sursă care afișează rezultatele din BD prin intermediul celor opt formulare menționate:

*Anexa 2a. Codul sursă al
programului Apele Prut*

```
#include <vcl.h>
#include <iostream.h>
#include <fstream.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit1.h"
#include "Unit2.h"
#include "Unit3.h"
#include "Unit4.h"
#include "Unit6.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner): TForm(Owner){ }
//-----
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
    ComboBox1-> Items-> Clear();
    AnsiString s;
    s = "SELECT sectoare.Sector FROM sectoare";
    ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    ADOQuery1-> Active=true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();

    ComboBox1-> Clear();
    ComboBox1-> Text="Optiune";

    ADOQuery1-> Open();
    while(!ADOQuery1-> Eof)
    {
        ComboBox1-> Items-> Add(ADOQuery1-> FieldValues["Sector"]);
        ADOQuery1-> Next() ;
    }
    StringGrid1-> Rows[0]-> Text = "Parametri \ Anii";
    StringGrid1-> RowCount = 30;
    StringGrid1-> Rows[1]-> Text = "Azot de amoniu";
    StringGrid1-> Rows[2]-> Text = "Nitrati";
```

```

StringGrid1-> Rows[3]-> Text = "Nitriti";
StringGrid1-> Rows[4]-> Text = "Ca++";
StringGrid1-> Rows[5]-> Text = "CBO5";
StringGrid1-> Rows[6]-> Text = "CCOcr";
StringGrid1-> Rows[7]-> Text = "Cloruri";
StringGrid1-> Rows[8]-> Text = "CO2";
StringGrid1-> Rows[9]-> Text = "CO3-";
StringGrid1-> Rows[10]-> Text = "Cu++";
StringGrid1-> Rows[11]-> Text = "Detergenti";
StringGrid1-> Rows[12]-> Text = "Duritatea";
StringGrid1-> Rows[13]-> Text = "Fe";
StringGrid1-> Rows[14]-> Text = "Fenoli";
StringGrid1-> Rows[15]-> Text = "Fosfor mineral";
StringGrid1-> Rows[16]-> Text = "Fosfor total";
StringGrid1-> Rows[17]-> Text = "HCO3";
StringGrid1-> Rows[18]-> Text = "Temperatura";
StringGrid1-> Rows[19]-> Text = "Transparenta";
StringGrid1-> Rows[20]-> Text = "Mg++";
StringGrid1-> Rows[21]-> Text = "Mineralizarea";
StringGrid1-> Rows[22]-> Text = "Na++K+";
StringGrid1-> Rows[23]-> Text = "Oxigen";
StringGrid1-> Rows[24]-> Text = "pH";
StringGrid1-> Rows[25]-> Text = "Produse petroliere";
StringGrid1-> Rows[26]-> Text = "Saturatia";
StringGrid1-> Rows[27]-> Text = "Sulfati";
StringGrid1-> Rows[28]-> Text = "Suspensii";
StringGrid1-> Rows[29]-> Text = "Zn++";
}
//-----
void __fastcall TForm1::ComboBox1Change(TObject *Sender)
{
    AnsiString combo = ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1-> ItemIndex];
    AnsiString s;    int k = 0;
    s = "SELECT Anul FROM Sectoare INNER JOIN Concentratiile ON Sectoare.Id_
Sector = Concentratiile.Id_Sector WHERE ((Sectoare.Sector)='" + combo + "')";
    ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    ADOQuery1-> Active = true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();
    k = ADOQuery1-> RecordCount;
    if(k > 0)

```

```

{
    StringGrid1-> ColCount = k + 1;
    Label2->
Caption = "Concentratiile medii anuale pentru riul Prut " + combo;
    int i = 1;
    while(!ADOQuery1-> Eof)
    {
        StringGrid1-> Cols[i]-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Anul"];
        ADOQuery1-> Next() ;
        i++;
    }
    for(i = 1; i < k+1; i++)
    {
        s = "SELECT Concentratiile.Anul, Concentratiile.Azot_de_amoniu,
Concentratiile.Nitrati, Concentratiile.Nitriti, Concentratiile.[Ca++], Concen
tratiile.[CB05], Concentratiile.[CCOcr], Concentratiile.[Cloruri], Concentrat
iile.[CO2], Concentratiile.[CO3], Concentratiile.[Cu++], Concentratiile.[Dete
rgenti], Concentratiile.[Duritatea], Concentratiile.[Fe], Concentratiile.[Fen
oli], Concentratiile.[Fosfor mineral], Concentratiile.[Fosfor total], Concen
tratiile.[HCO3], Concentratiile.[Temperatura], Concentratiile.[Transparenta],
Concentratiile.[Mg++], Concentratiile.[Mineralizarea], Concentratiile.[Na++K+
], Concentratiile.[Oxygen], Concentratiile.[pH], Concentratiile.[Produce_petr
oliere], Concentratiile.[Saturatia], Concentratiile.[Sulfati], Concentratiile
.[Suspensii], Concentratiile.[Zn++] FROM Sectoare INNER JOIN Concentratiile O
N Sectoare.Id_Sector = Concentratiile.Id_Sector WHERE ((Concentratiile.Anul)
=" + StringGrid1-> Cols[i]->
Text + ") AND ((Sectoare.Sector)='" + combo + "')";
        ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
        ADOQuery1-> Active=true;
        ADOQuery1-> ExecSQL();
        ADOQuery1-> Open();
        while(!ADOQuery1-> Eof)
        {
            StringGrid1-> Cells[i][1] = ADOQuery1->
FieldValues["Azot_de_amoniu"];
            StringGrid1-> Cells[i][2] = ADOQuery1->
FieldValues["Nitrati"];
            StringGrid1-> Cells[i][3] = ADOQuery1->
FieldValues["Nitriti"];
            StringGrid1-> Cells[i][4] = ADOQuery1-> FieldValues["Ca++"];
            StringGrid1-> Cells[i][5] = ADOQuery1-> FieldValues["CB05"];

```

```

        StringGrid1-> Cells[i][6] = ADOQuery1-> FieldValues["CCOcr"];
        StringGrid1-> Cells[i][7] = ADOQuery1->
FieldValues["Cloruri"];
        StringGrid1-> Cells[i][8] = ADOQuery1-> FieldValues["CO2"];
        StringGrid1-> Cells[i][9] = ADOQuery1-> FieldValues["CO3-"];
        StringGrid1-> Cells[i][10] = ADOQuery1-> FieldValues["Cu++"];
        StringGrid1-> Cells[i][11] = ADOQuery1->
FieldValues["Detergenti"];
        StringGrid1-> Cells[i][12] = ADOQuery1->
FieldValues["Duritatea"];
        StringGrid1-> Cells[i][13] = ADOQuery1-> FieldValues["Fe"];
        StringGrid1-> Cells[i][14] = ADOQuery1->
FieldValues["Fenoli"];
        StringGrid1-> Cells[i][15] = ADOQuery1->
FieldValues["Fosfor mineral"];
        StringGrid1-> Cells[i][16] = ADOQuery1->
FieldValues["Fosfor total"];
        StringGrid1-> Cells[i][17] = ADOQuery1-> FieldValues["HCO3"];
        StringGrid1-> Cells[i][18] = ADOQuery1->
FieldValues["Temperatura"];
        StringGrid1-> Cells[i][19] = ADOQuery1->
FieldValues["Transparenta"];
        StringGrid1-> Cells[i][20] = ADOQuery1-> FieldValues["Mg++"];
        StringGrid1-> Cells[i][21] = ADOQuery1->
FieldValues["Mineralizarea"];
        StringGrid1-> Cells[i][22] = ADOQuery1->
FieldValues["Na++K+"];
        StringGrid1-> Cells[i][23] = ADOQuery1->
FieldValues["Oxigen"];
        StringGrid1-> Cells[i][24] = ADOQuery1-> FieldValues["pH"];
        StringGrid1-> Cells[i][25] = ADOQuery1->
FieldValues["Produce_petroliere"];
        StringGrid1-> Cells[i][26] = ADOQuery1->
FieldValues["Saturatia"];
        StringGrid1-> Cells[i][27] = ADOQuery1->
FieldValues["Sulfati"];
        StringGrid1-> Cells[i][28] = ADOQuery1->
FieldValues["Suspensii"];
        StringGrid1-> Cells[i][29] = ADOQuery1-> FieldValues["Zn++"];
        ADOQuery1-> Next() ;
    }

```

```

        }
    }
    else
    {
        for(int i = 0; i < StringGrid1-> RowCount; i++) StringGrid1->
Cells[1][i]= "";
        StringGrid1-> ColCount = 2;
        Application->
MessageBox("Sectorul dat nu contine date.", "Aplicatie", MB_OK);
    }
}
//-----
void __fastcall TForm1::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    Form2-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm1::TrecilalClick(TObject *Sender)
{
    Form1-> Hide();
    Form3-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm1::Adaugaredate1Click(TObject *Sender)
{
    Form1-> Hide();
    Form4-> Show();
    AnsiString s;
    Form4-> ComboBox1-> Items-> Clear();
    Form4-> ComboBox1-> Text = "Sector";
    s = "SELECT sectoare.Sector FROM sectoare";
    Form4-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    Form4-> ADOQuery1-> Active=true;
    Form4-> ADOQuery1-> ExecSQL();
    Form4-> ADOQuery1-> Open();
    while(!Form4-> ADOQuery1-> Eof)
    {
        Form4-> ComboBox1-> Items-> Add(Form4-> ADOQuery1->
FieldValues["Sector"]);
        Form4-> ADOQuery1-> Next();
    }
}

```



```

Form4-> ADOTable1-> Insert();
Form4-> Edit1-> Text = 1;
}
//-----
void __fastcall TForm1::StringGrid1DblClick(TObject *Sender)
{
Form4-> ComboBox1-> Items-> Clear();
if(ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1-> ItemIndex] != "")
{
if(((int)StringGrid1-> Col) >= 1 && ((int)StringGrid1-> Row) >= 1)
{
Form4-> Show();
AnsiString s;
Form4-> ComboBox1-> Text = "Sector";
s = "SELECT sectoare.Sector FROM sectoare";
Form4-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
Form4-> ADOQuery1-> Active=true;
Form4-> ADOQuery1-> ExecSQL();
Form4-> ADOQuery1-> Open();
while(!Form4-> ADOQuery1-> Eof)
{
Form4-> ComboBox1-> Items-> Add(Form4-> ADOQuery1->
FieldValues["Sector"]);
Form4-> ADOQuery1-> Next();
}
AnsiString sector = ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex];
double an = StringGrid1-> Cells[StringGrid1-> Col][0].ToInt();
int valcombo = ComboBox1-> ItemIndex + 1;
Form4-> ComboBox1-> Text = sector;
Form4-> CSpinEdit1-> Value = an;
Form4-> ADOTable1-> Active = false; Form4-> ADOTable1->
Active = true;
Form4-> ADOTable1-> First();
while(!Form4-> ADOTable1-> Eof)
{
if(Form4-> ADOTable1-> FieldValues["Anul"] == an && Form4->
ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] == valcombo) break;
Form4-> ADOTable1-> Next();
}
Form4-> ADOTable1-> Edit();
}
}

```

```

Form4-> Edit1-> Text = 2;
//color
if(String(StringGrid1-> Row) == 1) Form4-> DBEdit1->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 2) Form4-> DBEdit2->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 3) Form4-> DBEdit3->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 4) Form4-> DBEdit4->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 5) Form4-> DBEdit5->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 6) Form4-> DBEdit6->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 7) Form4-> DBEdit7->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 8) Form4-> DBEdit8->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 9) Form4-> DBEdit9->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 10) Form4-> DBEdit10->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 11) Form4-> DBEdit11->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 12) Form4-> DBEdit12->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 13) Form4-> DBEdit13->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 14) Form4-> DBEdit14->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 15) Form4-> DBEdit15->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 16) Form4-> DBEdit16->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 17) Form4-> DBEdit17->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 18) Form4-> DBEdit18->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 19) Form4-> DBEdit19->
Color = clGreen;
else if(String(StringGrid1-> Row) == 20) Form4-> DBEdit20->

```

```

Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 21) Form4-> DBEdit21->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 22) Form4-> DBEdit22->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 23) Form4-> DBEdit23->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 24) Form4-> DBEdit24->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 25) Form4-> DBEdit25->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 26) Form4-> DBEdit26->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 27) Form4-> DBEdit27->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 28) Form4-> DBEdit28->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 29) Form4-> DBEdit29->
Color = clGreen;
        //color
    }
}
}
//-----

```

```

void __fastcall TForm1::ReprezentaregraficalClick(TObject *Sender)
{
    Form6-> Show();
    Form6-> CheckListBox1-> Items-> Clear();
    AnsiString s;
    s = "SELECT sectoare.Sector FROM sectoare";
    Form6-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    Form6-> ADOQuery1-> Active=true;
    Form6-> ADOQuery1-> ExecSQL();
    Form6-> ADOQuery1-> Open();
    while(!Form6-> ADOQuery1-> Eof)
    {
        Form6-> CheckListBox1-> Items-> Add(Form6-> ADOQuery1->
FieldValues["Sector"]);
        Form6-> ADOQuery1-> Next();
    }
    // sector
}

```

```

// parametru
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Clear();
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Azot_de_amoniu");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Nitrati");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Nitriti");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Ca++");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("CBO5");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("CCOcr");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Cloruri");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("CO2");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("CO3-");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Cu++");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Detergenti");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Duritatea");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Fe");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Fenoli");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Fosfor mineral");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Fosfor total");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("HCO3");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Temperatura");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Transparenta");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Mg++");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Mineralizarea");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Na++K+");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Oxigen");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("pH");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Produse_petroliere");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Saturatia");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Sulfati");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Suspensii");
Form6-> CheckListBox2-> Items-> Add("Zn++");
// parametru
// anul
Form6-> ComboBox1-> Items-> Clear();
Form6-> ComboBox2-> Items-> Clear();
s = "SELECT DISTINCT(Concentratiile.Anul) FROM Concentratiile";
Form6-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
Form6-> ADOQuery1-> Active=true;
Form6-> ADOQuery1-> ExecSQL();
Form6-> ADOQuery1-> Open();
Form6-> ComboBox1-> Text = "Anul";

```

```

Form6-> ComboBox2-> Text = "Anul";
while(!Form6-> ADOQuery1-> Eof)
{
    Form6-> ComboBox1-> Items-> Add(Form6-> ADOQuery1->
FieldValues["Anul"]);
    Form6-> ComboBox2-> Items-> Add(Form6-> ADOQuery1->
FieldValues["Anul"]);
    Form6-> ADOQuery1-> Next() ;
}
// anul
}
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit2.h"
#include "Unit1.h"
#include "Unit3.h"
#include "Unit4.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm2 *Form2;
//-----
__fastcall TForm2::TForm2(TComponent* Owner): TForm(Owner){ }
//-----
void __fastcall TForm2::BitBtn1Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioGroup1-> ItemIndex == 0)
    {
        Form2-> Hide();
        Form1-> Show();
    }
    else if(RadioGroup1-> ItemIndex == 1)
    {
        Form2-> Hide();
        Form3-> Show();
    }
}
//-----
#include <vcl.h>
#include <string.h>

```

```

#pragma hdrstop
#include "Unit3.h"
#include "Unit2.h"
#include "Unit1.h"
#include "Unit5.h"
#include "Unit7.h"
#include "Unit8.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm3 *Form3;
int idSector = 0;
//-----
__fastcall TForm3::TForm3(TComponent* Owner) : TForm(Owner){ }
//-----
void __fastcall TForm3::FormCreate(TObject *Sender)
{
    Form3-> ComboBox1-> Items-> Clear();
    AnsiString combo = ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1-> ItemIndex];
    AnsiString s;
    s = "SELECT sectoare.Sector FROM sectoare";
    ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    ADOQuery1-> Active=true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();
    ComboBox1-> Clear();
    ComboBox1-> Text="Optiune";
    ADOQuery1-> Open();
    while(!ADOQuery1-> Eof)
    {
        ComboBox1-> Items-> Add(ADOQuery1-> FieldValues["Sector"]);
        ADOQuery1-> Next() ;
    }
    StringGrid1-> Cols[0]-> Text = "Parametru";
    StringGrid1-> Cols[1]-> Text = "Valoarea CMA";
    //-----rows
    StringGrid1-> RowCount = 8;
    StringGrid1-> Rows[1]-> Text = "Produce petroliere";
    StringGrid1-> Rows[2]-> Text = "Nitriti (N-NO2)";
    StringGrid1-> Rows[3]-> Text = "Fenoli";
    StringGrid1-> Rows[4]-> Text = "Compusii_Zincului";
}

```

```

StringGrid1-> Rows[5]-> Text = "Compusii_Cuprului";
StringGrid1-> Rows[6]-> Text = "CBO5";
StringGrid1-> Rows[7]-> Text = "Ioni_de_Amoniu";
//-----rows
}
//-----
void __fastcall TForm3::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    Form2-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm3::ComboBox1Change(TObject *Sender)
{
    AnsiString combo = ComboBox1-> Text;
    AnsiString s;    int k = 0;
    s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasiri.Valoare, Param
etru.Valoare_CMA, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INNER JOI
N Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_
Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE (Sectoare.Sector='" + combo + "')";
    ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    ADOQuery1-> Active=true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();
    k = ADOQuery1-> RecordCount;
    if(k > 0)
    {
        Label2->
Caption = "Concentratiile medii anuale pentru riul Prut " + combo;
        AnsiString s;
        int i = 1, l = 0;
        s = "SELECT Parametru.Id_Parametru, Parametru.Parametru, Parametru.Va
loare_CMA FROM Parametru order by Parametru.Id_Parametru";
        ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
        ADOQuery1-> Active=true;
        ADOQuery1-> ExecSQL();
        ADOQuery1-> Open();
        i = 1;
        while(!ADOQuery1-> Eof)
        {
            StringGrid1-> Cells[1][i] = ADOQuery1->
FieldValues["Valoare_CMA"];

```

```

        ADOQuery1-> Next() ;
        i++;
    }
    s = "SELECT distinct(Depasiri.Data) FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INNER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE (Sectoare.Sector = '" + combo + "') order by Depasiri.Data";
    ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    ADOQuery1-> Active=true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();
    l = ADOQuery1-> RecordCount;
    StringGrid1-> ColCount = l + 2;
    i = 2;
    while(!ADOQuery1-> Eof)
    {
        StringGrid1-> Cells[i][0] = ADOQuery1-> FieldValues["Data"];
        ADOQuery1-> Next();
        i++;
    }
    s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasiri.Valoare, Parametru.Valoare_CMA, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INNER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector";
    ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    ADOQuery1-> Active=true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();
    l = ADOQuery1-> RecordCount;
    i = 2;
    int m = 1;
    for(int q=2;q<8;q++)
    for(int w=1;w<l+2;w++)
    StringGrid1-> Cells[q][w] = 0;
    for(int j = 1; j < l+2+1; j++)
    {
        m++;

//AND (Depasiri.Data=" + "02.01.2013" + ")";
//StringGrid1-> Cells[2][i-1]
        s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasiri.Id_Sector,

```



```

Depasiri.Valoare, Parametru.Valoare_CMA, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER J
OIN (Parametru INNER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Pa
rametru) ON Sectoare.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE ((Parametru.Paramet
ru=" + StringGrid1->
Cells[0][j] + "') AND (Sectoare.Sector="' + combo + "') order by Depasiri.Data";
ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
ADOQuery1-> Active=true;
ADOQuery1-> ExecSQL();
ADOQuery1-> Open();
i = 2;
while(!ADOQuery1-> Eof)
{
    StringGrid1-> Cells[i][j] = ADOQuery1->
FieldValues["Valoare"];
    ADOQuery1-> Next() ;
    i++;
}
}
else
{
    StringGrid1-> Cells[2][0] = "";
    for(int q=2;q<StringGrid1-> ColCount;q++)
    for(int w=1;w<8;w++)
    StringGrid1-> Cells[q][w] = "";
    StringGrid1-> ColCount = 3;
    Application->
MessageBox("Sectorul dat nu contine date.", "Aplicatie", MB_OK);
}
}
//-----
void __fastcall TForm3::Aduagare1Click(TObject *Sender)
{
    Form1-> Hide();
    Form5-> Show();
    AnsiString s;
    Form5-> ComboBox1-> Items-> Clear();
    Form5-> ComboBox1-> Text = "Sector";
    s = "SELECT sectoare.Sector FROM sectoare";
    Form5-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    Form5-> ADOQuery1-> Active=true;

```

```

Form5-> ADOQuery1-> ExecSQL();
Form5-> ADOQuery1-> Open();
while(!Form5-> ADOQuery1-> Eof)
{
    Form5-> ComboBox1-> Items-> Add(Form5-> ADOQuery1->
FieldValues["Sector"]);
    Form5-> ADOQuery1-> Next();
}
Form5-> ADOTable1-> Insert();
Form5-> Edit1-> Text = 1;
}
//-----
void __fastcall TForm3::TreciladepasirileCMA1Click(TObject *Sender)
{
    Form3-> Hide();
    Form1-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm3::StringGrid1Db1Click(TObject *Sender)
{
    Form5-> ComboBox1-> Items-> Clear();
    if(ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex] != "Selectati sector" && StringGrid1-> Cells[StringGrid1->
Col][StringGrid1-> Row] != "")
    {
        if(((int)StringGrid1-> Col) >= 2 && ((int)StringGrid1-> Row) >= 1)
        {
            Form5-> Show();
            //
            AnsiString s;
            Form5-> ComboBox1-> Text = "Sector";
            s = "SELECT sectoare.Id_Sector, sectoare.Sector FROM sectoare";
            Form5-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
            Form5-> ADOQuery1-> Active=true;
            Form5-> ADOQuery1-> ExecSQL();
            Form5-> ADOQuery1-> Open();
            while(!Form5-> ADOQuery1-> Eof)
            {
                Form5-> ComboBox1-> Items-> Add(Form5-> ADOQuery1->
FieldValues["Sector"]);
                Form5-> ADOQuery1-> Next();
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    AnsiString sector = ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex];
    String data = StringGrid1-> Cells[StringGrid1-> Col][0];
    //int val = ComboBox1-> ItemIndex + 1;
    AnsiString val = ComboBox1-> ItemIndex + 1;
    Form5-> ComboBox1-> Text = sector;
    Form5-> DateTimePicker1-> Date = data;
    Edit1-> Text = data;
    //-----
    s = "SELECT Sectoare.Sector, Depasiri.Id_Sector, Depasiri.Valoare,
    Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN Depasiri ON Sectoare.Id_Sector = Depa
    siri.Id_Sector WHERE (Sectoare.Sector = '" + sector + "') AND (Data like '" +
    (Edit1-> Text) + "')"; // order by Depasiri.Id_Parametru";
    Form5-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    Form5-> ADOQuery1-> Active=true;
    Form5-> ADOQuery1-> ExecSQL();
    Form5-> ADOQuery1-> Open();
    Form5-> ListBox1-> Clear();
    while(!Form5-> ADOQuery1-> Eof)
    {
        Form5-> ListBox1-> Items-> Add(Form5-> ADOQuery1->
FieldValues["Valoare"]);
        idSector = Form5-> ADOQuery1-> FieldValues["Id_Sector"];
        Form5-> ADOQuery1-> Next();
    }
    Form5-> Edit2-> Text = AnsiString(Form5-> ListBox1-> Items->
Strings[0]);
    Form5-> Edit3-> Text = AnsiString(Form5-> ListBox1-> Items->
Strings[1]);
    Form5-> Edit4-> Text = AnsiString(Form5-> ListBox1-> Items->
Strings[2]);
    Form5-> Edit5-> Text = AnsiString(Form5-> ListBox1-> Items->
Strings[3]);
    Form5-> Edit6-> Text = AnsiString(Form5-> ListBox1-> Items->
Strings[4]);
    Form5-> Edit7-> Text = AnsiString(Form5-> ListBox1-> Items->
Strings[5]);
    Form5-> Edit8-> Text = AnsiString(Form5-> ListBox1-> Items->
Strings[6]);
    if(String(StringGrid1-> Row) == 1) Form5-> Edit2->

```

```

Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 2) Form5-> Edit3->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 3) Form5-> Edit4->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 4) Form5-> Edit5->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 5) Form5-> Edit6->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 6) Form5-> Edit7->
Color = clGreen;
        else if(String(StringGrid1-> Row) == 7) Form5-> Edit8->
Color = clGreen;
        //color
        //-----
        Form5-> ADOTable1-> Active = false; Form5-> ADOTable1->
Active = true;
        Form5-> ADOTable1-> First();
        while(!Form5-> ADOTable1-> Eof)
        {
            if(Form5-> ADOTable1->
FieldValues["Id_Sector"] == idSector &&
            Form5-> ADOTable1-> FieldValues["Data"] == Form5->
DateTimePicker1-> Date.DateString())
                break;
            Form5-> ADOTable1-> Next();
        }
        Form5-> ADOTable1-> Edit();
        Form5-> Edit1-> Text = 2;
    }
}
//-----
void __fastcall TForm3::Reprezentaredatelorinformagrafica1Click(TObject *Send
er)
{
    Form7-> Show();
    Form7-> CheckListBox1-> Items-> Clear();
    AnsiString s;
    s = "SELECT sectoare.Sector FROM sectoare";
    Form7-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;

```

```

Form7-> ADOQuery1-> Active=true;
Form7-> ADOQuery1-> ExecSQL();
Form7-> ADOQuery1-> Open();
while(!Form7-> ADOQuery1-> Eof)
{
    Form7-> CheckListBox1-> Items-> Add(Form7-> ADOQuery1->
FieldValues["Sector"]);
    Form7-> ADOQuery1-> Next() ;
}
// sector
// parametru
Form7-> CheckListBox2-> Items-> Clear();
s = "SELECT Parametru.Parametru FROM Parametru";
Form7-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
Form7-> ADOQuery1-> Active=true;
Form7-> ADOQuery1-> ExecSQL();
Form7-> ADOQuery1-> Open();
//Form7-> ComboBox2-> Text="Parametru";
Form7-> ADOQuery1-> Open();
while(!Form7-> ADOQuery1-> Eof)
{
    Form7-> CheckListBox2-> Items-> Add(Form7-> ADOQuery1->
FieldValues["Parametru"]);
    Form7-> ADOQuery1-> Next() ;
}
}
//-----
void __fastcall TForm3::ModificareValoareCMA1Click(TObject *Sender)
{
    Form8-> Edit1-> Clear(); Form8-> Edit2-> Clear();
    Form8-> Edit3-> Clear(); Form8-> Edit4-> Clear();
    Form8-> Edit5-> Clear(); Form8-> Edit6-> Clear();
    Form8-> Edit7-> Clear();
    ADOQuery1-> SQL->
Text = "SELECT Parametru.Id_Parametru, Parametru.Valoare_CMA FROM Parametru O
RDER BY Parametru.Id_Parametru";
    ADOQuery1-> Active=true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();
    ADOQuery1-> First();
    Form8-> Edit1-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Valoare_CMA"]; ADOQuery1-

```

```

> Next();
    Form8-> Edit2-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Valoare_CMA"]; ADOQuery1-
> Next();
    Form8-> Edit3-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Valoare_CMA"]; ADOQuery1-
> Next();
    Form8-> Edit4-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Valoare_CMA"]; ADOQuery1-
> Next();
    Form8-> Edit5-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Valoare_CMA"]; ADOQuery1-
> Next();
    Form8-> Edit6-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Valoare_CMA"]; ADOQuery1-
> Next();
    Form8-> Edit7-> Text = ADOQuery1-> FieldValues["Valoare_CMA"]; ADOQuery1-
> Next();
    Form8-> Show();
}
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit4.h"
#include "Unit2.h"
#include "Unit1.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma link "CSPIN"
#pragma resource "*.dfm"
TForm4 *Form4;
//-----
__fastcall TForm4::TForm4(TComponent* Owner): TForm(Owner) { }
//-----
void __fastcall TForm4::BitBtn7Click(TObject *Sender)
{
    if(ComboBox1-> Text != "" && CSpinEdit1-> Value > 1990
    && DBEdit1-> Text != "" && DBEdit2-> Text != "" &&
    DBEdit3-> Text != "" && DBEdit4-> Text != "" &&
    DBEdit5-> Text != "" && DBEdit6-> Text != "" &&
    DBEdit7-> Text != "" && DBEdit8-> Text != "" &&
    DBEdit9-> Text != "" && DBEdit10-> Text != "" &&
    DBEdit11-> Text != "" && DBEdit12-> Text != "" &&
    DBEdit13-> Text != "" && DBEdit14-> Text != "" &&
    DBEdit15-> Text != "" && DBEdit16-> Text != "" &&
    DBEdit17-> Text != "" && DBEdit18-> Text != "" &&

```

```

DBEdit19-> Text != "" && DBEdit20-> Text != "" &&
DBEdit21-> Text != "" && DBEdit21-> Text != "" &&
DBEdit22-> Text != "" && DBEdit23-> Text != "" &&
DBEdit24-> Text != "" && DBEdit25-> Text != "" &&
DBEdit26-> Text != "" && DBEdit27-> Text != "" &&
DBEdit28-> Text != "" && DBEdit29-> Text != ""
{
    AnsiString s;
    int id = 0;
    s = "SELECT sectoare.Id_Sector, sectoare.Sector FROM sectoare";
    ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
    ADOQuery1-> Active=true;
    ADOQuery1-> ExecSQL();
    ADOQuery1-> Open();
    while(!ADOQuery1-> Eof)
    {
        if(ComboBox1-> Text == ADOQuery1-> FieldValues["Sector"])
        {
            id = ADOQuery1-> FieldValues["Id_Sector"];
        }
        ADOQuery1-> Next() ;
    }
    ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
    ADOTable1-> FieldValues["Anul"] = CSpinEdit1-> Value;
    ADOTable1-> Post();
    if(Edit1-> Text == 1)
    Application->
    MessageBox("Datele au fost salvate cu succes.", "Aplicatie", MB_OK);
    else if(Edit1-> Text == 2)
    {
        Application->
    MessageBox("Datele au fost modificate cu succes.", "Aplicatie", MB_OK);
        //
        AnsiString combo = Form1-> ComboBox1-> Text;
        AnsiString s;    int k = 0;
        s = "SELECT Anul FROM Sectoare INNER JOIN Concentratiile ON Sectoare.Id_Sector = Concentratiile.Id_Sector WHERE (((Sectoare.Sector)='" + combo + "'))";
        Form1-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
        Form1-> ADOQuery1-> Active=true;
        Form1-> ADOQuery1-> ExecSQL();
    }
}

```

```

Form1-> ADOQuery1-> Open();
k = Form1-> ADOQuery1-> RecordCount;
if(k > 0)
{
    Form1-> StringGrid1-> ColCount = k + 1;
    Form1-> Label2->
Caption = "Concentratiile medii anuale pentru riul Prut " + combo;
    int i = 1;
    while(!Form1-> ADOQuery1-> Eof)
    {
        Form1-> StringGrid1-> Cols[i]-> Text = Form1-> ADOQuery1-
> FieldValues["Anul"];
        Form1-> ADOQuery1-> Next() ;
        i++;
    }
    for(i = 1; i < k+1; i++)
    {
        s = "SELECT Concentratiile.Anul, Concentratiile.Azot_de_amoniu,
Concentratiile.Nitrati, Concentratiile.Nitriti, Concentratiile.[Ca++], Conce
ntratiile.[CBO5], Concentratiile.[CCOcr], Concentratiile.[Cloruri], Concentra
tiile.[CO2], Concentratiile.[CO3-
], Concentratiile.[Cu++], Concentratiile.[Detergenti], Concentratiile.[Durita
tea], Concentratiile.[Fe], Concentratiile.[Fenoli], Concentratiile.[Fosfor mi
neral], Concentratiile.[Fosfor total], Concentratiile.[HCO3], Concentratiile.
[Temperatura], Concentratiile.[Transparenta], Concentratiile.[Mg++], Concentr
atiile.[Mineralizarea], Concentratiile.[Na++K+], Concentratiile.[Oxigen], Con
centratiile.[pH], Concentratiile.[Produse_petroliere], Concentratiile.[Satura
tia], Concentratiile.[Sulfati], Concentratiile.[Suspensii], Concentratiile.[Z
n++] FROM Sectoare INNER JOIN Concentratiile ON Sectoare.Id_Sector = Concentr
atiile.Id_Sector WHERE (((Concentratiile.Anul)=" + Form1-> StringGrid1->
Cols[i]-> Text + ") AND ((Sectoare.Sector)='" + combo + "')";
        Form1-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
        Form1-> ADOQuery1-> Active=true;
        Form1-> ADOQuery1-> ExecSQL();
        Form1-> ADOQuery1-> Open();
        while(!Form1-> ADOQuery1-> Eof)
        {
            Form1-> StringGrid1-> Cells[i][1] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Azot_de_amoniu"];
            Form1-> StringGrid1-> Cells[i][2] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Nitrati"];

```



```

Form1-> StringGrid1-> Cells[i][3] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Nitriti"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][4] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Ca++"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][5] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["CBO5"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][6] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["CCOcr"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][7] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Cloruri"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][8] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["CO2"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][9] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["CO3-"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][10] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Cu++"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][11] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Detergenti"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][12] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Duritatea"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][13] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Fe"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][14] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Fenoli"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][15] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Fosfor mineral"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][16] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Fosfor total"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][17] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["HCO3"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][18] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Temperatura"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][19] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Transparenta"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][20] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Mg++"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][21] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Mineralizarea"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][22] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Na++K+"];
Form1-> StringGrid1-> Cells[i][23] = Form1->

```

```

ADOQuery1-> FieldValues["Oxigen"];
                Form1-> StringGrid1-> Cells[i][24] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["pH"];
                Form1-> StringGrid1-> Cells[i][25] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Produce_petroliere"];
                Form1-> StringGrid1-> Cells[i][26] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Saturatia"];
                Form1-> StringGrid1-> Cells[i][27] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Sulfati"];
                Form1-> StringGrid1-> Cells[i][28] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Suspensii"];
                Form1-> StringGrid1-> Cells[i][29] = Form1->
ADOQuery1-> FieldValues["Zn++"];
                Form1-> ADOQuery1-> Next() ;
                }
            }
            //
            Form4-> Close();
        }
    }
}
else
{
    Application->
MessageBox("Nu ati introdus toate datele concentratiilor!!!", "Aplicatie", MB
_OK);
}
}
//-----
void __fastcall TForm4::BitBtn8Click(TObject *Sender)
{
    ComboBox1-> Text = "Sector";
    CSpinEdit1-> Value = 2005;
    ADOTable1-> Cancel();
    Form4-> Close();
    Form1-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm4::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    ComboBox1-> Text = "Sector";

```

```

    CSpinEdit1-> Value = 2005;
    ADOTable1-> Cancel();
    Form1-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit1KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit1-> Text != "") DBEdit1-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit2KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit2-> Text != "") DBEdit2-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit3KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit3-> Text != "") DBEdit3-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit4KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit4-> Text != "") DBEdit4-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit5KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit5-> Text != "") DBEdit5-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit6KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit6-> Text != "") DBEdit6-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit7KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit7-> Text != "") DBEdit7-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit8KeyPress(TObject *Sender, char &Key)

```

```

{
    if(DBEdit8-> Text != "") DBEdit8-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit9KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit9-> Text != "") DBEdit9-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit10KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit10-> Text != "") DBEdit10-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit11KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit11-> Text != "") DBEdit11-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit12KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit12-> Text != "") DBEdit12-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit13KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit13-> Text != "") DBEdit13-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit14KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit14-> Text != "") DBEdit14-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit15KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit15-> Text != "") DBEdit15-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit16KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{

```

```

        if(DBEdit16-> Text != "") DBEdit16-> Color = clWhite;
    }
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit17KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit17-> Text != "") DBEdit17-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit18KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit18-> Text != "") DBEdit18-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit19KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit19-> Text != "") DBEdit19-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit20KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit20-> Text != "") DBEdit20-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit21KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit21-> Text != "") DBEdit21-> Color = clWhite;
}
//-----

void __fastcall TForm4::DBEdit22KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit22-> Text != "") DBEdit22-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit23KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit23-> Text != "") DBEdit23-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit24KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{

```

```

        if(DBEdit24-> Text != "") DBEdit24-> Color = clWhite;
    }
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit25KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit25-> Text != "") DBEdit25-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit26KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit26-> Text != "") DBEdit26-> Color = clWhite;
}
//-----

void __fastcall TForm4::DBEdit27KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit27-> Text != "") DBEdit27-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit28KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit28-> Text != "") DBEdit28-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm4::DBEdit29KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(DBEdit29-> Text != "") DBEdit29-> Color = clWhite;
}
//-----
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit5.h"
#include "Unit2.h"
#include "Unit3.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma link "CSPIN"
#pragma resource "*.dfm"
TForm5 *Form5;
//-----

```

```

__fastcall TForm5::TForm5(TComponent* Owner) : TForm(Owner){ }
//-----
void __fastcall TForm5::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    ComboBox1-> Text = "Sector";
    ADOTable1-> Cancel();
    Edit2-> Clear(); Edit2-> Color = clWhite;
    Edit3-> Clear(); Edit3-> Color = clWhite;
    Edit4-> Clear(); Edit4-> Color = clWhite;
    Edit5-> Clear(); Edit5-> Color = clWhite;
    Edit6-> Clear(); Edit6-> Color = clWhite;
    Edit7-> Clear(); Edit7-> Color = clWhite;
    Edit8-> Clear(); Edit8-> Color = clWhite;
    Form3-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm5::BitBtn8Click(TObject *Sender)
{
    ComboBox1-> Text = "Sector";
    ADOTable1-> Cancel();
    Edit2-> Clear(); Edit2-> Color = clWhite;
    Edit3-> Clear(); Edit3-> Color = clWhite;
    Edit4-> Clear(); Edit4-> Color = clWhite;
    Edit5-> Clear(); Edit5-> Color = clWhite;
    Edit6-> Clear(); Edit6-> Color = clWhite;
    Edit7-> Clear(); Edit7-> Color = clWhite;
    Edit8-> Clear(); Edit8-> Color = clWhite;
    Form5-> Close();
    Form3-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm5::BitBtn7Click(TObject *Sender)
{
    if(ComboBox1-> Text != "" && Edit2-> Text != "" && Edit3->
Text != "" && Edit4-> Text != "" &&
    Edit5-> Text != "" && Edit6-> Text != "" && Edit7-> Text != "" && Edit8->
Text != "")
    {
        if(Edit1-> Text == 1)
        {
            AnsiString s;

```

```

int id = 0;
s = "SELECT sectoare.Id_Sector, sectoare.Sector FROM sectoare";
ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
ADOQuery1-> Active=true;
ADOQuery1-> ExecSQL();
ADOQuery1-> Open();
while(!ADOQuery1-> Eof)
{
    if(ComboBox1-> Text == ADOQuery1-> FieldValues["Sector"])
    {
        id = ADOQuery1-> FieldValues["Id_Sector"];
    }
    ADOQuery1-> Next();
}
//1
ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
ADOTable1-> FieldValues["Id_Parametru"] = 1;
ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit2-> Text;
ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
ADOTable1-> Post();
//1
//2
ADOTable1-> Insert();
ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
ADOTable1-> FieldValues["Id_Parametru"] = 2;
ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit3-> Text;
ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
ADOTable1-> Post();
//2
//3
ADOTable1-> Insert();
ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
ADOTable1-> FieldValues["Id_Parametru"] = 3;
ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit4-> Text;
ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
ADOTable1-> Post();
//3
//4

```



```

        ADOTable1-> Insert();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Parametru"] = 4;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit5-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
        ADOTable1-> Post();
        //4
        //5
        ADOTable1-> Insert();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Parametru"] = 5;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit6-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
        ADOTable1-> Post();
        //5
        //6
        ADOTable1-> Insert();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Parametru"] = 6;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit7-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
        ADOTable1-> Post();
        //6
        //7
        ADOTable1-> Insert();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Parametru"] = 7;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit8-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
        ADOTable1-> Post();
        //7
        Application->
MessageBox("Datele au fost salvate cu succes.", "Aplicatie", MB_OK);
    }
    else if(Edit1-> Text == 2)
    {
        AnsiString s;

```

```

int id = 0;
s = "SELECT sectoare.Id_Sector, sectoare.Sector FROM sectoare";
ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
ADOQuery1-> Active=true;
ADOQuery1-> ExecSQL();
ADOQuery1-> Open();

while(!ADOQuery1-> Eof)
{
    if(ComboBox1-> Text == ADOQuery1-> FieldValues["Sector"])
    {
        id = ADOQuery1-> FieldValues["Id_Sector"];
    }
    ADOQuery1-> Next();
}
//1
ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit2-> Text;
ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
ADOTable1-> Post();
//1
//2
ADOTable1-> Next();
ADOTable1-> Edit();
ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit3-> Text;
ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
ADOTable1-> Post();
//2
//3
ADOTable1-> Next();
ADOTable1-> Edit();
ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit4-> Text;
ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString();
ADOTable1-> Post();
//3
//4

```

```

        ADOTable1-> Next ();
        ADOTable1-> Edit ();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit5-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString ();
        ADOTable1-> Post ();
        //4
        //5
        ADOTable1-> Next ();
        ADOTable1-> Edit ();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit6-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString ();
        ADOTable1-> Post ();
        //5
        //6
        ADOTable1-> Next ();
        ADOTable1-> Edit ();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit7-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString ();
        ADOTable1-> Post ();
        //6
        //7
        ADOTable1-> Next ();
        ADOTable1-> Edit ();
        ADOTable1-> FieldValues["Id_Sector"] = id;
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare"] = Edit8-> Text;
        ADOTable1-> FieldValues["Data"] = DateTimePicker1->
Date.DateString ();
        ADOTable1-> Post ();
        //7
        Form5-> Close ();
        Application->
MessageBox("Datele au fost modificate cu succes.", "Aplicatie", MB_OK);
        //refresh table
        AnsiString combo = Form3-> ComboBox1-> Text;
        int k = 0;

```

```

        s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasiri.Valoare,
Parametru.Valoare_CMA, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INN
ER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoa
re.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE (Sectoare.Sector='" + combo + "')";
        Form3-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
        Form3-> ADOQuery1-> Active=true;
        Form3-> ADOQuery1-> ExecSQL();
        Form3-> ADOQuery1-> Open();
        k = Form3-> DOQuery1-> RecordCount;
        if(k > 0)
        {
            Form3-> Label2->
Caption = "Concentratiile medii anuale pentru riul Prut " + combo;
            AnsiString s;
            int i = 1, l = 0;
            s = "SELECT Parametru.Parametru, Parametru.Valoare_CMA FROM
Parametru";
            Form3-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
            Form3-> ADOQuery1-> Active=true;
            Form3-> ADOQuery1-> ExecSQL();
            Form3-> ADOQuery1-> Open();

            i = 1;
            while(!Form3-> ADOQuery1-> Eof)
            {
                Form3-> StringGrid1-> Cells[1][i] = Form3-> ADOQuery1->
FieldValues["Valoare_CMA"];
                Form3-> ADOQuery1-> Next() ;
                i++;
            }
            s = "SELECT distinct(Depasiri.Data) FROM Sectoare INNER JOIN
(Parametru INNER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parame
tru) ON Sectoare.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE (Sectoare.Sector = '" +
combo + "') order by Depasiri.Data";
            Form3-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
            Form3-> ADOQuery1-> Active=true;
            Form3-> ADOQuery1-> ExecSQL();
            Form3-> ADOQuery1-> Open();
            l = Form3-> ADOQuery1-> RecordCount;
            Form3-> StringGrid1-> ColCount = l + 2;
            i = 2;

```

```

while(!Form3-> ADOQuery1-> Eof)
{
    Form3-> StringGrid1-> Cells[i][0] = Form3-> ADOQuery1->
FieldValues["Data"];
    Form3-> ADOQuery1-> Next();
    i++;
}
s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasiri.Va
loare, Parametru.Valoare_CMA, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Paramet
ru INNER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON
Sectoare.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector";
Form3-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
Form3-> ADOQuery1-> Active=true;
Form3-> ADOQuery1-> ExecSQL();
Form3-> ADOQuery1-> Open();
l = Form3-> ADOQuery1-> RecordCount;
i = 2;
int m = 1;
for(int q=2;q<8;q++)
for(int w=1;w<l+2;w++)
Form3-> StringGrid1-> Cells[q][w] = 0;
for(int j = 1; j <= l+2; j++)
{
    m++;
    //AND (Depasiri.Data=" + "02.01.2013" + ")";
//StringGrid1-> Cells[2][i-1]
s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasiri.
Id_Sector, Depasiri.Valoare, Parametru.Valoare_CMA, Depasiri.Data FROM Sectoa
re INNER JOIN (Parametru INNER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depa
siri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE (Parametr
u.Parametru='" + Form3-> StringGrid1->
Cells[0][j] + "') AND (Sectoare.Sector='" + combo + "') order by Depasiri.Data";
Form3-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
Form3-> ADOQuery1-> Active=true;
Form3-> ADOQuery1-> ExecSQL();
Form3-> ADOQuery1-> Open();
i = 2;
while(!Form3-> ADOQuery1-> Eof)
{
    Form3-> StringGrid1-> Cells[i][j] = Form3->
ADOQuery1-> FieldValues["Valoare"];

```

```

        Form3-> ADOQuery1-> Next() ;
        i++;
    }
}
else
{
    Form3-> StringGrid1-> Cells[2][0] = "";
    for(int q=2;q<Form3-> StringGrid1-> ColCount;q++)
    for(int w=1;w<8;w++)
    Form3-> StringGrid1-> Cells[q][w] = "";
    Form3-> StringGrid1-> ColCount = 3;
    Application->
MessageBox("Sectorul dat nu contine date.", "Aplicatie", MB_OK);
    } //aici
    //refresh table
}
}
else
{
    Application->
MessageBox("Nu ati introdus toate datele concentratiilor!!!", "Aplicatie", MB
_OK);
}
Edit2-> Color = clWhite; Edit3-> Color = clWhite;
Edit4-> Color = clWhite; Edit5-> Color = clWhite;
Edit6-> Color = clWhite; Edit7-> Color = clWhite;
Edit8-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm5::Edit2KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(Edit2-> Text != "") Edit2-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm5::Edit3KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(Edit3-> Text != "") Edit3-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm5::Edit4KeyPress(TObject *Sender, char &Key)

```

```

{
    if(Edit4-> Text != "") Edit4-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm5::Edit5KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(Edit5-> Text != "") Edit5-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm5::Edit6KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(Edit6-> Text != "") Edit6-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm5::Edit7KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(Edit7-> Text != "") Edit7-> Color = clWhite;
}
//-----
void __fastcall TForm5::Edit8KeyPress(TObject *Sender, char &Key)
{
    if(Edit8-> Text != "") Edit8-> Color = clWhite;
}
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit6.h"
#include "Unit1.h"
#include "Unit2.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm6 *Form6;
//-----
__fastcall TForm6::TForm6(TComponent* Owner): TForm(Owner){ }
//-----
void __fastcall TForm6::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    Form1-> Show();
}
//-----

```

```

void __fastcall TForm6::BitBtn7Click(TObject *Sender)
{
    Form6-> Close();
    Form1-> Show();
}
//-----
char *sir[] = {"clBlack","clMaroon","clGreen","clOlive","clNavy","clPurple","
clTeal","clRed", "clLime", "clYellow","clBlue","clFuchsia","clAqua","clHotLig
ht",
    "clBlack","clMaroon","clGreen","clOlive","clNavy","clPurple","clTeal","cl
Red", "clLime", "clYellow","clBlue","clFuchsia","clAqua","clHotLight"
};
AnsiString mesaj;
//-----
void __fastcall TForm6::BitBtn1Click(TObject *Sender)
{
    //-----
    for(int i=0;i<DBChart1-> SeriesCount();i++)
        DBChart1-> Series[i]-> Delete(i);

    int n = -1;
    for(int i = 0; i < CheckListBox1-> Items-> Count;i++)
    {
        if(CheckListBox1-> Checked[i] == true)
        {
            for(int j = 0; j < CheckListBox2-> Items-> Count;j++)
            {
                if(CheckListBox2-> Checked[j] == true)
                {
                    n++;
                    if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Forma suprafata (arie)")
                        DBChart1-> AddSeries(new TAreaSeries(this));
                    else
                        if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Forma progres")
                            DBChart1-> AddSeries(new TBarSeries(this));
                        else
                            if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Linii sipmlle")
                                DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));

```



```

else
    if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Linii evidentiate")
        DBChart1-> AddSeries(new TLineSeries(this));
    else
        DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
        DBChart1-> Series[n]-> Active = true;
        AnsiString s1, s2, s3, s4, stot, s5;

// and Depasiri.Data like '"' + DateTimePicker2-> Date + '"'
        s1 = "SELECT Sectoare.Sector, Concentratiile." + CheckList
tBox2-> Items-> Strings[j] + ", Concentratiile.Anul";
        s2 = " FROM Sectoare INNER JOIN Concentratiile ON Sectoar
e.Id_Sector = Concentratiile.Id_Sector";
        s3 = " WHERE (Sectoare.Sector = '"' + CheckListBox1->
Items-> Strings[i] + "')";
        s4 = " AND (Concentratiile.Anul > = " + ComboBox1->
Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex] + " and Concentratiile.Anul <= " + ComboBox2-> Items->
Strings[ComboBox2-> ItemIndex] + ")";
        s5 = " ORDER BY Concentratiile.Anul";
        if(ComboBox1-> Text != "Anul" && ComboBox2->
Text != "Anul")

            stot = s1 + s2 + s3 + s4 + s5;
        else
            stot = s1 + s2 + s3 + s5;
        ADOQuery2-> SQL-> Text = stot;
        ADOQuery2-> Active=true;
        ADOQuery2-> ExecSQL();
        ADOQuery2-> Open();
        if(ADOQuery2-> RecordCount > 0)
        {
            while(!ADOQuery2-> Eof)
            {

                //clGreen AnsiString(sir[n]).ToInt() (*sir[i])
                DBChart1-> Series[n]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Anul"], ADOQuery2-> FieldValues[CheckListBox2-> Items->
Strings[j]], AnsiString(ADOQuery2-> FieldValues["Anul"]), (*sir[n]));
                if(CheckBox2-> Checked == true)
                {

```

```

        mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items-
> Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items->
Strings[j] + "nttValoare parametru[" + ADOQuery2->
FieldValues["Anul"] + ", " + ADOQuery2-> FieldValues[CheckListBox2-> Items->
Strings[j]] + "];";

        Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
    }
    ADOQuery2-> Next();
}
if(CheckBox1-> Checked == true)
{
    mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-> Strings[j];
    Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
}
}
}
}
}
}
}

//-----

void __fastcall TForm6::CheckBox3Click(TObject *Sender)
{
    if(CheckBox3-> Checked == true)
    {
        DBChart1-> View3D = true;
    }
    else
    {
        DBChart1-> View3D = false;
    }
}

//-----

void __fastcall TForm6::Button1Click(TObject *Sender)
{
    //-----
    for(int i=0;i<DBChart1-> SeriesCount();i++)

```

```

DBChart1-> Series[i]-> Delete(i);
int n = -1;
for(int i = 0; i < CheckListBox1-> Items-> Count;i++)
{
    if(CheckListBox1-> Checked[i] == true)
    {
        for(int j = 0; j < CheckListBox2-> Items-> Count;j++)
        {
            if(CheckListBox2-> Checked[j] == true)
            {
                n++;
                //DBChart1-> AddSeries(new TLineSeries(this));
                if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Forma suprafata (arie)")
                    DBChart1-> AddSeries(new TAreaSeries(this));
                else
                    if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Forma progres")
                        DBChart1-> AddSeries(new TBarSeries(this));
                    else
                        if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Linii sipmlle")
                            DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
                        else
                            if(ComboBox3-> Items-> Strings[ComboBox3->
ItemIndex] == "Linii evidentiate")
                                DBChart1-> AddSeries(new TLineSeries(this));
                                else
                                    DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
                                    DBChart1-> Series[n]-> Active = true;
                                    AnsiString s1, s2, s3, s4, stot, s5;

// and Depasiri.Data like '"' + DateTimePicker2-> Date + "')
                s1 = "SELECT Sectoare.Sector, Concentratiile." + CheckLis
tBox2-> Items-> Strings[j] + ", Concentratiile.Anul";
                s2 = " FROM Sectoare INNER JOIN Concentratiile ON Sectoar
e.Id_Sector = Concentratiile.Id_Sector";
                s3 = " WHERE (Sectoare.Sector = '"' + CheckListBox1->
Items-> Strings[i] + "')";
                s4 = " AND (Concentratiile.Anul > = " + ComboBox1->

```

```

Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex] + " and Concentratiile.Anul <= " + ComboBox2-> Items->
Strings[ComboBox2-> ItemIndex] + ")";
    s5 = " ORDER BY Concentratiile.Anul";
    if(ComboBox1-> Text != "Anul" && ComboBox2->
Text != "Anul")
        stot = s1 + s2 + s3 + s4 + s5;
    else
        stot = s1 + s2 + s3 + s5;
    ADOQuery2-> SQL-> Text = stot;
    ADOQuery2-> Active=true;
    ADOQuery2-> ExecSQL();
    ADOQuery2-> Open();
    if(ADOQuery2-> RecordCount > 0)
    {
        while(!ADOQuery2-> Eof)
        {
            //clGreen AnsiString(sir[n]).ToInt() (*sir[i])
                DBChart1-> Series[n]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Anul"], ADOQuery2-> FieldValues[CheckBox2-> Items->
Strings[j]], AnsiString(ADOQuery2-> FieldValues["Anul"]), (*sir[n]));
                if(CheckBox2-> Checked == true)
                {
                    mesaj = "Sectorul :" + CheckBox1-> Items->
> Strings[i] + "ntParametru: " + CheckBox2-> Items->
Strings[j] + "nttValoare parametru[" + ADOQuery2->
FieldValues["Anul"] + ", " + ADOQuery2-> FieldValues[CheckBox2-> Items->
Strings[j]] + "];";
                    Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
                }
                ADOQuery2-> Next();
            }
            if(CheckBox1-> Checked == true)
            {
                mesaj = "Sectorul :" + CheckBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckBox2-> Items-> Strings[j];
                Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
            }
        }
    }

```

```

        }
    }
}

//-----
}
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit7.h"
#include "Unit2.h"
#include "Unit3.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm7 *Form7;
//-----
__fastcall TForm7::TForm7(TComponent* Owner): TForm(Owner){ }
//-----
void __fastcall TForm7::BitBtn7Click(TObject *Sender)
{
    Form7-> Close();
    Form3-> Show();
}
//-----
char *sir[] = {"clBlack","clMaroon","clGreen","clOlive","clNavy","clPurple","clTeal","clRed", "clLime", "clYellow","clBlue","clFuchsia","clAqua","clHotLight",
    "clBlack","clMaroon","clGreen","clOlive","clNavy","clPurple","clTeal","clRed", "clLime", "clYellow","clBlue","clFuchsia","clAqua","clHotLight"
};
AnsiString mesaj;
//-----
void __fastcall TForm7::BitBtn1Click(TObject *Sender)
{
    for(int i=0;i<DBChart1-> SeriesCount();i++)
        DBChart1-> Series[i]-> Delete(i);
    int n = -1;
    for(int i = 0; i < CheckListBox1-> Items-> Count;i++)
    {

```

```

if(CheckListBox1-> Checked[i] == true)
{
    for(int j = 0; j < CheckListBox2-> Items-> Count;j++)
    {
        if(CheckListBox2-> Checked[j] == true)
        {
            n++;    n++;
            DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
            if(ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex] == "Forma suprafata (arie)")
                DBChart1-> AddSeries(new TAreaSeries(this));
            else
                if(ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex] == "Forma progres")
                    DBChart1-> AddSeries(new TBarSeries(this));
                else
                    if(ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex] == "Linii sipmle")
                        DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
                    else
                        if(ComboBox1-> Items-> Strings[ComboBox1->
ItemIndex] == "Linii evidentiate")
                            DBChart1-> AddSeries(new TLineSeries(this));
                            else
                                DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
                                DBChart1-> Series[n]-> Active = true;
                                DBChart1-> Series[n-1]-> Active = true;
                                mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-> Strings[j];
                                if(CheckBox1-> Checked == true)
                                    Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
                                    AnsiString s1, s2, s3, s4, s5, stot;
                                    s1 = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasi
ri.Valoare, Depasiri.Data";
                                    s2 = " FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INNER JOIN Dep
asiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_Secto
r = Depasiri.Id_Sector";
                                    s3 = " WHERE ((Sectoare.Sector = '" + CheckListBox1->
Items-> Strings[i] + "') AND (Parametru.Parametru = '" + CheckListBox2->
Items-> Strings[j] + "')";

```

```

        s5 = ") ORDER BY Depasiri.Data";
        stot = s1 + s2 + s3+ s5;
        ADOQuery2-> SQL->
Text = "SELECT Parametru.Valoare_CMA FROM Parametru WHERE Parametru.Parametru
= '" + CheckListBox2-> Items-> Strings[j] + "'";
        ADOQuery2-> Active=true;
        ADOQuery2-> ExecSQL();
        ADOQuery2-> Open();
        double valoareaCMA = ADOQuery2->
FieldValues["Valoare_CMA"];
        ADOQuery2-> FieldValues["Valoare_CMA"];
        ADOQuery2-> SQL-> Text = stot;
        ADOQuery2-> Active=true;
        ADOQuery2-> ExecSQL();
        ADOQuery2-> Open();
        if(ADOQuery2-> RecordCount > 0)
        {
            while(!ADOQuery2-> Eof)
            {

                //clGreen AnsiString(sir[n]).ToInt() (*sir[i])
                DBChart1-> Series[n]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Data"], ADOQuery2->
FieldValues["Valoare"], AnsiString(ADOQuery2->
FieldValues["Data"]), (*sir[n])); // corect
                DBChart1-> Series[n-1]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Data"], valoareaCMA, AnsiString(ADOQuery2->
FieldValues["Data"]), (*sir[n]));
                if(CheckBox2-> Checked == true)
                {
                    mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1->Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items->
Strings[j] + "nttValoare parametru[" + ADOQuery2->
FieldValues["Data"] + ", " + ADOQuery2-> FieldValues["Valoare"] + "];";
                    Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
                }
                ADOQuery2-> Next();
            }
        }
        if(CheckBox1-> Checked == true)
        {

```

```

        mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-> Strings[j];
        Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
    }
}
}
}
}
}

}
//-----
void __fastcall TForm7::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    Form3-> Show();
}
//-----
void __fastcall TForm7::Button5Click(TObject *Sender)
{
    for(int i=0;i<DBChart1-> SeriesCount();i++)
        DBChart1-> Series[i]-> Delete(i);
    AnsiString s;
    AnsiString sector = CheckListBox1-> Items-> Strings[CheckListBox1->
ItemIndex];
    AnsiString parametru = CheckListBox2-> Items-> Strings[CheckListBox2->
ItemIndex];
    AnsiString mesaj;
    int k1 = 0, k2 = 0;
    for(int i = 0; i < CheckListBox1-> Items-> Count;i++)
        if(CheckListBox1-> Checked[i] == true)
            k1++;
    for(int i = 0; i < CheckListBox2-> Items-> Count;i++)
        if(CheckListBox2-> Checked[i] == true)
            k2++;

    if(k1 == 1 && k2 == 1)
    {
        DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
        DBChart1-> Series[0]-> Active = true;
        AnsiString s1, s2, s3;

```



```

// and Depasiri.Data like '"' + DateTimePicker2-> Date + '"'
    s1 = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru, Depasiri.Valoare,
Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INNER JOIN Depasiri ON Para
metru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_Sector = Depasiri.
Id_Sector WHERE";
    s3 = "((Sectoare.Sector = '"' + CheckListBox1-> Items->
Strings[CheckListBox1->
ItemIndex] + "') AND (Parametru.Parametru = '"' + CheckListBox2-> Items->
Strings[CheckListBox2-> ItemIndex] + "'))";
    ADOQuery2-> SQL-> Text = s1 + s3;
    ADOQuery2-> Active=true;
    ADOQuery2-> ExecSQL();
    ADOQuery2-> Open();
    while(!ADOQuery2-> Eof)
    {
        DBChart1-> Series[0]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Data"], ADOQuery2->
FieldValues["Valoare"], AnsiString(ADOQuery2->
FieldValues["Data"]), clGreen);
        if(CheckBox2-> Checked == true)
        {
            mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[CheckListBox1-> ItemIndex] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-
> Strings[CheckListBox2-> ItemIndex] + "nttValoare parametru[" + ADOQuery2->
FieldValues["Data"] + ", " + ADOQuery2-> FieldValues["Valoare"] + "];";
            Application-> MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
        }
        ADOQuery2-> Next();
    }
    if(CheckBox1-> Checked == true)
    {
        mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[CheckListBox1-> ItemIndex] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-
> Strings[CheckListBox2-> ItemIndex];
        Application-> MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
    }
}
else if(k1 == 1 && k2 > 1)
{
    int n = -1; //Form7-> Color = clYellow

```

```

        char *sir[6] = {"clRed","clBlue","clBlack","clGreen","clYellow","clMa
roon"};
        for(int i = 0; i < CheckListBox2-> Items-> Count;i++)
        {
            if(CheckListBox2-> Checked[i] == true)
            {
                n++;
                DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
                DBChart1-> Series[n]-> Active = true;
                AnsiString s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru,
Depasiri.Valoare, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INNER JOI
N Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_
Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE ((Sectoare.Sector = '"' + CheckListBox1->
Items-> Strings[CheckListBox1->
ItemIndex] + "') AND (Parametru.Parametru = '"' + CheckListBox2-> Items->
Strings[i] + ''))";
                ADOQuery2-> SQL-> Text = s;
                ADOQuery2-> Active=true;
                ADOQuery2-> ExecSQL();
                ADOQuery2-> Open();
                if(ADOQuery2-> RecordCount > 0) {
                    while(!ADOQuery2-> Eof)
                    {

                        //clGreen AnsiString(sir[n]).ToInt() (*sir[i])
                            DBChart1-> Series[n]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Data"], ADOQuery2->
FieldValues["Valoare"], AnsiString(ADOQuery2->
FieldValues["Data"]), (*sir[n]));
                            if(CheckBox2-> Checked == true)
                            {
                                mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[CheckListBox1-> ItemIndex] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-
> Strings[i] + "nttValoare parametru[" + ADOQuery2->
FieldValues["Data"] + ", " + ADOQuery2-> FieldValues["Valoare"] + "];";
                                Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
                            }
                            ADOQuery2-> Next();
                        }
                    if(CheckBox1-> Checked == true)
                    {

```

```

        mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[CheckListBox1-> ItemIndex] + "\nParametru: " + CheckListBox2-> Items-
> Strings[i];

        Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
    }
}
}
}
else if(k1 > 1 && k2 == 1)
{
    int n = -1; //Form7-> Color = clYellow
    char *sir[] = {"clRed","clBlue","clBlack","clGreen","clYellow","clMar
oon"};
    for(int i = 0; i < CheckListBox1-> Items-> Count;i++)
    {
        if(CheckListBox1-> Checked[i] == true)
        {
            n++;
            DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
            DBChart1-> Series[n]-> Active = true;
            AnsiString s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Parametru,
Depasiri.Valoare, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru INNER JOI
N Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sectoare.Id_
Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE ((Sectoare.Sector = '" + CheckListBox1->
Items-> Strings[i] + "') AND (Parametru.Parametru = '" + CheckListBox2->
Items-> Strings[CheckListBox2-> ItemIndex] + "'))";
            ADOQuery2-> SQL-> Text = s;
            ADOQuery2-> Active=true;
            ADOQuery2-> ExecSQL();
            ADOQuery2-> Open();
            if(ADOQuery2-> RecordCount > 0) {
                while(!ADOQuery2-> Eof)
                {

                    //clGreen AnsiString(sir[n]).ToInt() (*sir[i])
                    DBChart1-> Series[n]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Data"], ADOQuery2->
FieldValues["Valoare"], AnsiString(ADOQuery2->
FieldValues["Data"]), (*sir[n]));

```

```

        if(CheckBox2-> Checked == true)
        {
            mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-> Strings[CheckListBox2->
ItemIndex] + "nttValoare parametru[" + ADOQuery2->
FieldValues["Data"] + ", " + ADOQuery2-> FieldValues["Valoare"] + "];";
            Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
        }
        ADOQuery2-> Next();
    }
    if(CheckBox1-> Checked == true)
    {
        mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-> Strings[CheckListBox2->
ItemIndex];
        Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
    }
}
}
}
}
else if(k1 > 1 && k2 > 1)
{
    int n = -1;
    char *sir[] = {"clRed", "clBlue", "clBlack", "clGreen", "clYellow", "clMar
oon"};
    for(int i = 0; i < CheckListBox1-> Items-> Count; i++)
    {
        if(CheckListBox1-> Checked[i] == true)
        {
            for(int j = 0; j < CheckListBox2-> Items-> Count; j++)
            {
                if(CheckListBox2-> Checked[j] == true)
                {
                    n++;
                    DBChart1-> AddSeries(new TFastLineSeries(this));
                    DBChart1-> Series[n]-> Active = true;
                    mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-> Strings[j];

```

```

        if(CheckBox1-> Checked == true)
            Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
        AnsiString s = "SELECT Sectoare.Sector, Parametru.Par
metru, Depasiri.Valoare, Depasiri.Data FROM Sectoare INNER JOIN (Parametru I
NNER JOIN Depasiri ON Parametru.Id_Parametru = Depasiri.Id_Parametru) ON Sect
oare.Id_Sector = Depasiri.Id_Sector WHERE ((Sectoare.Sector = '"' + CheckListB
ox1-> Items-> Strings[i] + "') AND (Parametru.Parametru = '"' + CheckListBox2-
> Items-> Strings[j] + "'))";
        ADOQuery2-> SQL-> Text = s;
        ADOQuery2-> Active=true;
        ADOQuery2-> ExecSQL();
        ADOQuery2-> Open();
        if(ADOQuery2-> RecordCount > 0)
        {
            while(!ADOQuery2-> Eof)
            {

                //clGreen AnsiString(sir[n]).ToInt() (*sir[i])
                DBChart1-> Series[n]-> AddXY(ADOQuery2->
FieldValues["Data"], ADOQuery2->
FieldValues["Valoare"], AnsiString(ADOQuery2->
FieldValues["Data"]), (*sir[n]));
                if(CheckBox2-> Checked == true)
                {
                    mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1->
Items-> Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items->
Strings[j] + "nttValoare parametru[" + ADOQuery2->
FieldValues["Data"] + ", " + ADOQuery2-> FieldValues["Valoare"] + "];";
                    Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
                }
                ADOQuery2-> Next();
            }
            if(CheckBox1-> Checked == true)
            {
                mesaj = "Sectorul :" + CheckListBox1-> Items->
Strings[i] + "ntParametru: " + CheckListBox2-> Items-> Strings[j];
                Application->
MessageBox(mesaj.c_str(), "Aplicatie", MB_OK);
            }
        }
    }
}

```



```

{
    if(CheckBox3-> Checked == true)
    {
        DBChart1-> View3D = true;
    }
    else
    {
        DBChart1-> View3D = false;
    }
}
//-----
void __fastcall TForm8::BitBtn7Click(TObject *Sender)
{
    if(Edit1-> Text != "" && Edit2-> Text != "" && Edit3->
Text != "" && Edit4-> Text != "" &&
Edit5-> Text != "" && Edit6-> Text != "" && Edit7-> Text != "")
    {
        ADOTable1-> Active = false; ADOTable1-> Active = true;
        ADOTable1-> First();
        ADOTable1-> Edit();
        //1
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare_CMA"] = Edit1-> Text;
        ADOTable1-> Post();
        //1
        //2
        ADOTable1-> Next();
        ADOTable1-> Edit();
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare_CMA"] = Edit2-> Text;
        ADOTable1-> Post();
        //2
        //3
        ADOTable1-> Next();
        ADOTable1-> Edit();
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare_CMA"] = Edit3-> Text;
        ADOTable1-> Post();
        //3
        //4
        ADOTable1-> Next();
        ADOTable1-> Edit();
        ADOTable1-> FieldValues["Valoare_CMA"] = Edit4-> Text;
        ADOTable1-> Post();
    }
}

```

```

//4
//5
ADOTable1-> Next ();
ADOTable1-> Edit ();
ADOTable1-> FieldValues["Valoare_CMA"] = Edit5-> Text;
ADOTable1-> Post ();
//5
//6
ADOTable1-> Next ();
ADOTable1-> Edit ();
ADOTable1-> FieldValues["Valoare_CMA"] = Edit6-> Text;
ADOTable1-> Post ();
//6
//7
ADOTable1-> Next ();
ADOTable1-> Edit ();
ADOTable1-> FieldValues["Valoare_CMA"] = Edit7-> Text;
ADOTable1-> Post ();
//7
Form8-> Close ();
Application->
MessageBox("Modificarea valorii CMA a avut loc cu succes.", "Aplicatie", MB_O
K);
// update valoare CMA
AnsiString s;
int i = 1;
s = "SELECT Parametru.Id_Parametru, Parametru.Parametru, Parametru.Va
loare_CMA FROM Parametru order by Parametru.Id_Parametru";
Form3-> ADOQuery1-> SQL-> Text = s;
Form3-> ADOQuery1-> Active=true;
Form3-> ADOQuery1-> ExecSQL ();
Form3-> ADOQuery1-> Open ();
while (!Form3-> ADOQuery1-> Eof)
{
    Form3-> StringGrid1-> Cells[1][i] = Form3-> ADOQuery1->
FieldValues["Valoare_CMA"];
    Form3-> ADOQuery1-> Next ();
    i++;
}
// update valoare CMA
}

```



```
ADOTable1-> Active = false; ADOTable1-> Active = true;
Edit1-> Clear(); Edit2-> Clear();
Edit3-> Clear(); Edit4-> Clear();
Edit5-> Clear(); Edit6-> Clear();
Edit7-> Clear();
}
//-----
void __fastcall TForm8::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    ADOTable1-> Cancel();
    Form3-> Show();
}
//-----
```

Anexa 3. Informații din baza de date și rezultate
 numerice pentru sectoarele studiate
 Anexa 3a. Rîul Prut pe sectorul s. Criva

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut				
Selectați sector:				
Sector: s. Criva		Concentrațiile medii anuale pentru		
Parametri \ Anii	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,23	0,09	0,31	0,13
Nitrați	0,74	0,45	0,73	0,59
Nitriți	0,021	0,025	0,022	0,02
Ca ⁺⁺	69,23	61,6	70,08	64,1
CB05	3,21	1,91	2,66	2,27
CCOcr	12,83	11,2	13,85	17,57
Cloruri	26,14	27,7	37,7	36,78
CO ₂	1,98	0,66	0	0
CO ₃ ⁻	0,38	1,13	0	0
Cu ⁺⁺	0,002	0,003	0,002	0
Detergenti	0,02	0,01	0,01	0
Duritatea	4,51	3,88	4,4	4,13
Fe	0,04	0,04	0,033	0,05
Fenoli	0	0,001	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,02	0,01	0,02	0,02
Fosfor total	0,06	0,04	0,06	0,04
HCO ₃	208,43	164,25	207,5	182
Temperatura	15,18	17,6	14,65	14,88
Transparența	19	20,63	17,63	17,38
Mg ⁺⁺	12,83	9,74	10,95	13,38
Mineralizarea	414,66	359,25	428,75	393,5
Na ⁺⁺ K ⁺	27,74	26,9	109,65	34,73
Oxigen	8,75	8,51	9,43	9,4
pH	7,87	8,35	8,25	8,42
Produse petroliere	0,01	0,06	0,08	0,07
Saturatia	87,25	89	94,25	91,18
Sulfati	70,38	69,7	66,23	80,15
Suspensii	20	20	50	55
Zn ⁺⁺	0,005	0,016	0,002	0

Fig. A3.1. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Tabelul A3.1. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	09.02.2011	0,060
	11.05.2011	0,080
	07.11.2012	0,160
	14.05.2013	0,120
	06.11.2013	0,120
Nitriți (CMA- 0,02 mg/L)	10.08.2011	0,039
	03.05.2012	0,034
	07.11.2012	0,022
	14.05.2013	0,054
Fenoli (CMA- 0,001 mg/L)	11.05.2011	0,002
Ioni de Amoniu (CMA- 0,39 mg/L)	08.02.2012	0,790
	06.02.2013	0,500

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **07.11.2012;**
- concentrația poluantului: **0,16 mg/L;**
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 19 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,39 \text{ m}$.

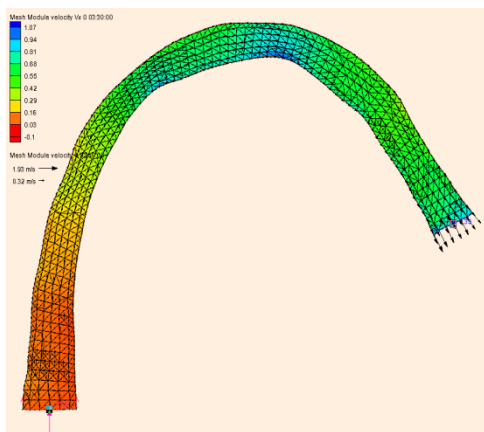
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.2 – A3.4.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.403165
->Maximum	1.7079

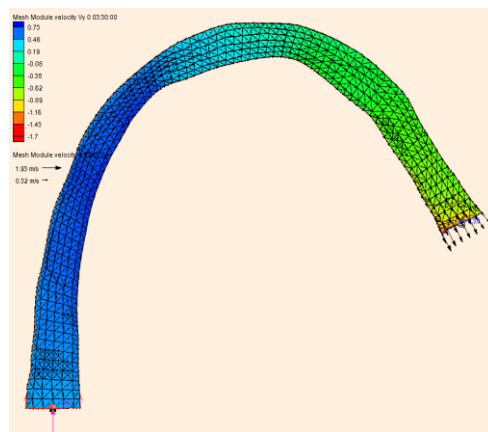
Fig. A3.2. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.318407
->Maximum	1.93058

Fig. A3.3. Viteza rezultantă.



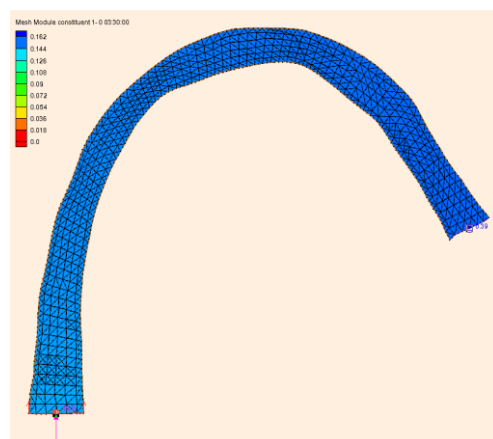
(a)



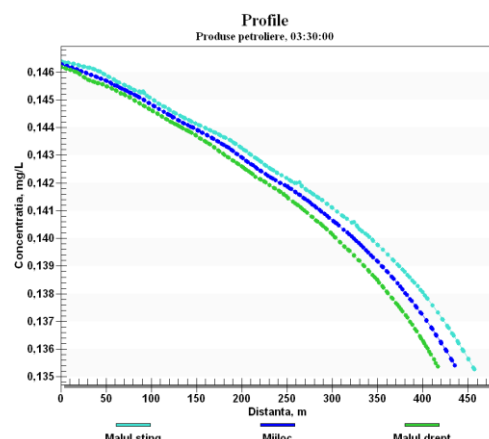
(b)

Fig. A3.4. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA4 se prezintă în figurile A3.5 – A3.6.

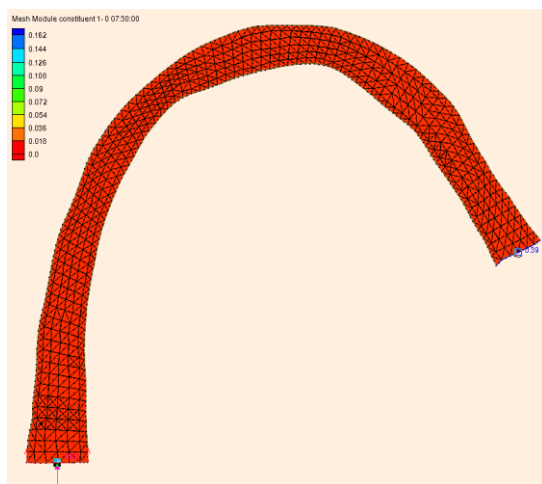


(a)

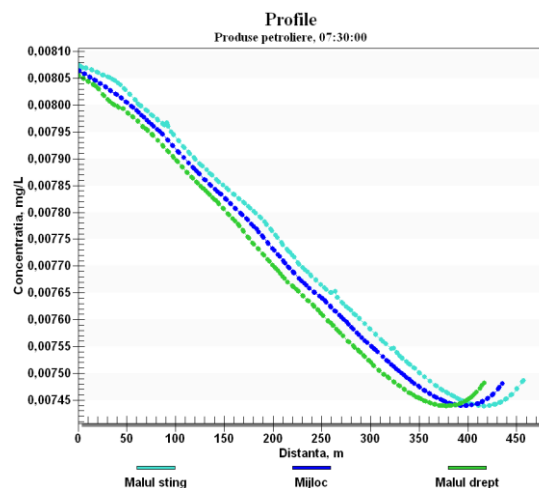


(b)

Fig. A3.5. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3.30 ore.



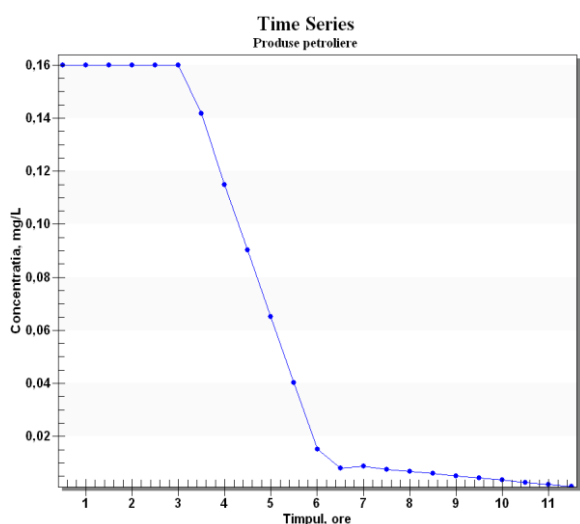
(a)



(b)

Fig. A3.6. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 7.30 ore.

Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor (figura A3.7).



Timpul, ore	Concentratia, mg/L
0.5	0.1599999752117
1.0	0.1599999815226
1.5	0.1599999901129
2.0	0.1599999766406
2.5	0.1599999766406
3.0	0.159999985231
3.5	0.141732093751
4.0	0.1148949256523
4.5	0.090291475826
5.0	0.0652627366708
5.5	0.0402262104373
6.0	0.0152576893372
6.5	0.0078988246072
7.0	0.0088498321165
7.5	0.0076293417152
8.0	0.0068257061376
8.5	0.0060267545521
9.0	0.0051631265183
9.5	0.0043476612342
10.0	0.0035054270733
10.5	0.0026757768118
11.0	0.0018414166513
11.5	0.001008171774

Fig. A3.7. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **14.05.2013**;
- concentrația poluantului **0,12 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 22 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,4 \text{ m}$.

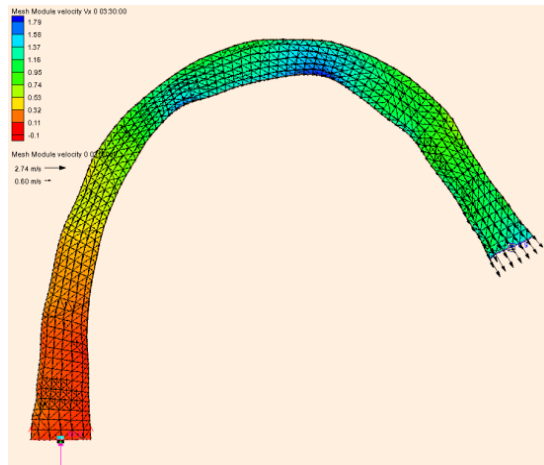
Rezultatele obținute cu ajutorul RMA2 se prezintă în figurile A3.8 – A3.10.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.905022
->Maximum	2.95084

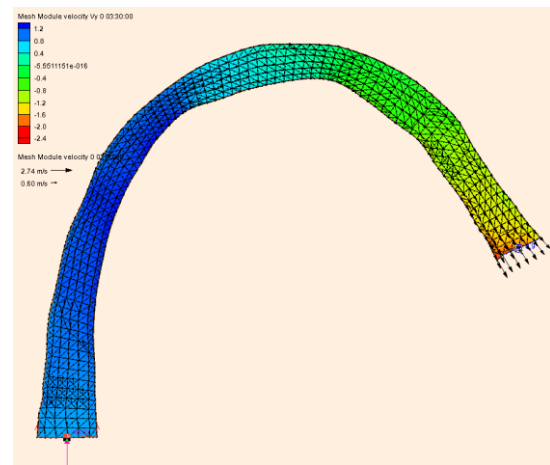
Fig. A3.8. Adîncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.595352
->Maximum	2.73922

Fig. A3.9. Viteza rezultantă.



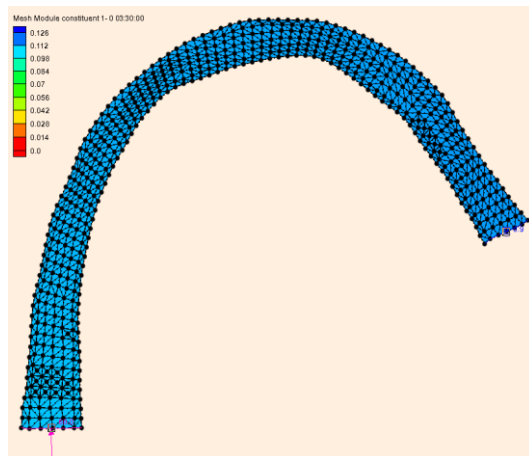
(a)



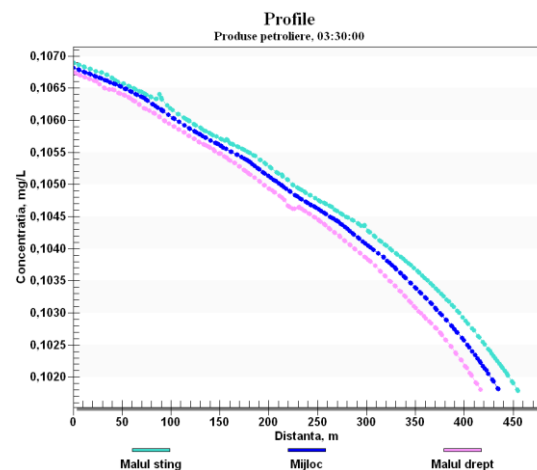
(b)

Fig. A3.10. Cîmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA4 se prezintă în figurile A3.11 – A3.12.

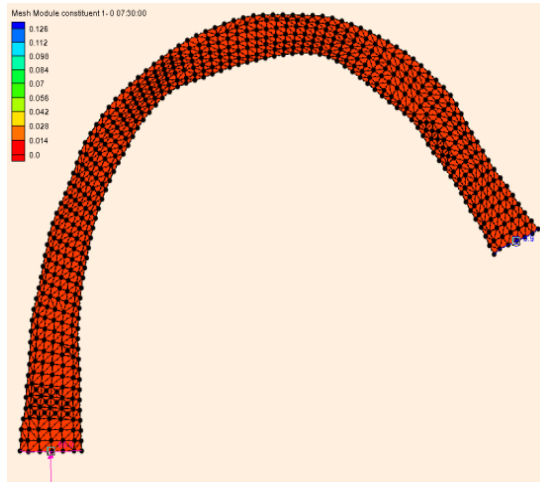


(a)

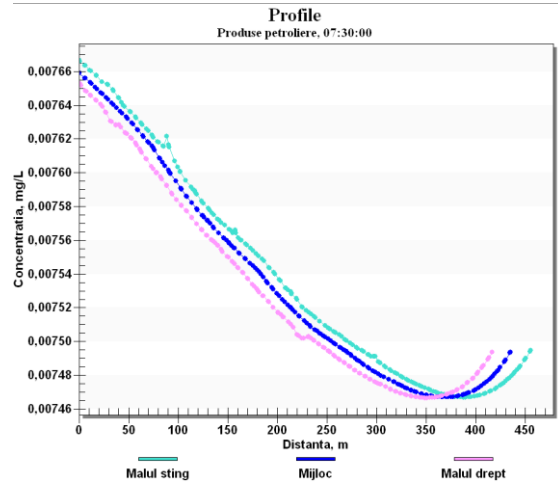


(b)

Fig. A3.11. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) peste 3.30 ore.



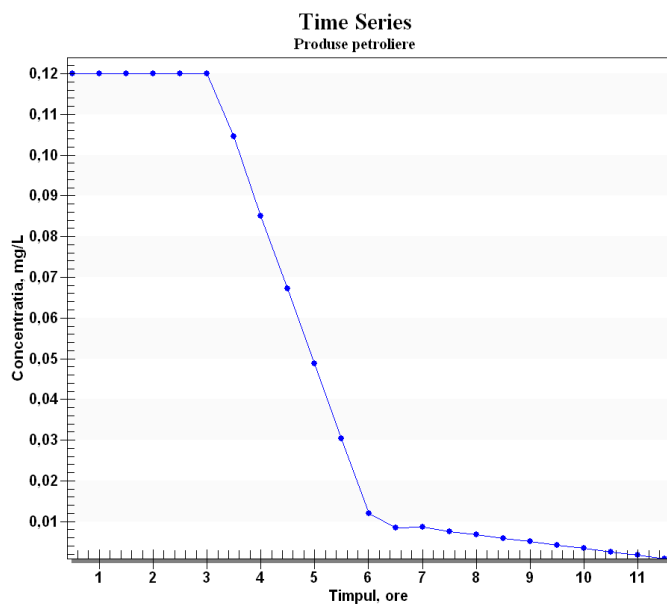
(a)



(b)

Fig. A3.12. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) peste 7.30 ore.

Dispersia temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.13.



Timpul, ore	Concentratia, mg/L
0.5	0.1199999824166
1.0	0.1199999973178
1.5	0.1199999824166
2.0	0.1199999973178
2.5	0.1199999824166
3.0	0.1199999973178
3.5	0.1045363992453
4.0	0.0851278454065
4.5	0.0671828910708
5.0	0.0487169548869
5.5	0.0304248444736
6.0	0.0120806349441
6.5	0.008510316722
7.0	0.0087029915303
7.5	0.007498291321
8.0	0.0067929644138
8.5	0.0059188571759
9.0	0.0050963629037
9.5	0.004261771217
10.0	0.0034273238853
10.5	0.00259492849
11.0	0.0017614162061
11.5	0.0009278997895

Fig. A3.13. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut						
Selectati sector:						
Sector: s. Sirauti Concentrațiile medii anuale pentru riul Prut s. Sirauti						
Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,21	0,2	0,22	0,16	0,2	0,17
Nitrați	0,83	1,11	0,88	0,64	0,67	0,84
Nitriți	0,018	0,016	0,02	0,024	0,02	0,02
Cu ⁺⁺	58,34	69,99	73,2	74,13	68,8	63,78
CB05	2,28	2,35	2,49	2,31	2,52	2,58
CCOcr	14,51	13,77	14,26	13,46	14,11	13,07
Cloruri	24,82	35,04	27,32	29,49	37,2	32,79
CO2	1,51	0,59	1,32	0,44	0	0
CO3	1,25	1,17	0,75	1,25	0	0
Cu ⁺⁺	0,011	0	0,003	0,003	0,003	0,009
Detergenți	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
Duritatea	3,83	4,49	4,71	4,58	4,19	4,16
Fe	0,076	0,058	0,062	0,073	0,05	0,07
Fenoli	0	0	0	0,001	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Fosfor total	0,04	0,07	0,05	0,08	0,07	0,04
HCO3	168,5	189,67	213,66	193,42	179	167,58
Temperatura	12,26	11,56	11,17	12,77	13,7	11,15
Transparenta	13,06	11,96	16,35	13,13	18,5	14,21
Mg ⁺⁺	11,14	12,08	12,9	10,7	9,22	11,87
Mineralizarea	355	412,56	439,82	424,17	404	386,92
Na ⁺⁺ K ⁺	25,48	29,81	31,32	30,29	34,3	31,38
Oxigen	7,84	9,54	9,55	8,74	8,94	10,58
pH	8,01	8,08	7,97	8,3	8,23	8,36
Produse petroliere	0,06	0,05	0,03	0,05	0,11	0,14
Saturatia	74,11	87	84,1	82,83	85	94,17
Sulfati	66,66	76,11	81,32	86,06	75,8	84,04
Suspensii	146,67	43,33	42,11	41,96	33	151,25
Zn ⁺⁺	0,001	0,002	0,002	0,008	0,002	0,002

Fig. A3.14. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Tabelul A.3.2. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	23.06.2011	0.130
	10.11.2011	0.150
	04.07.2012	0.110
	03.10.2012	0.140
	04.09.2013	0.340
	05.12.2013	0.160
Nitriți (CMA- 0,02 mg/L)	21.04.2011	0.026
	10.11.2011	0.034
	13.09.2012	0.034
	08.11.2012	0.031
	08.05.2013	0.047
Fenoli (CMA- 0,001 mg/L)	05.06.2013	0.040
	23.06.2011	0,002
	11.08.2011	0,004
	12.10.2011	0,003
Ioni de Amoniu (CMA- 0,39 mg/L)	10.01.2013	0,002
	14.12.2011	0,530
	09.02.2012	0,560
	06.12.2012	0,500
	10.01.2013	0,530

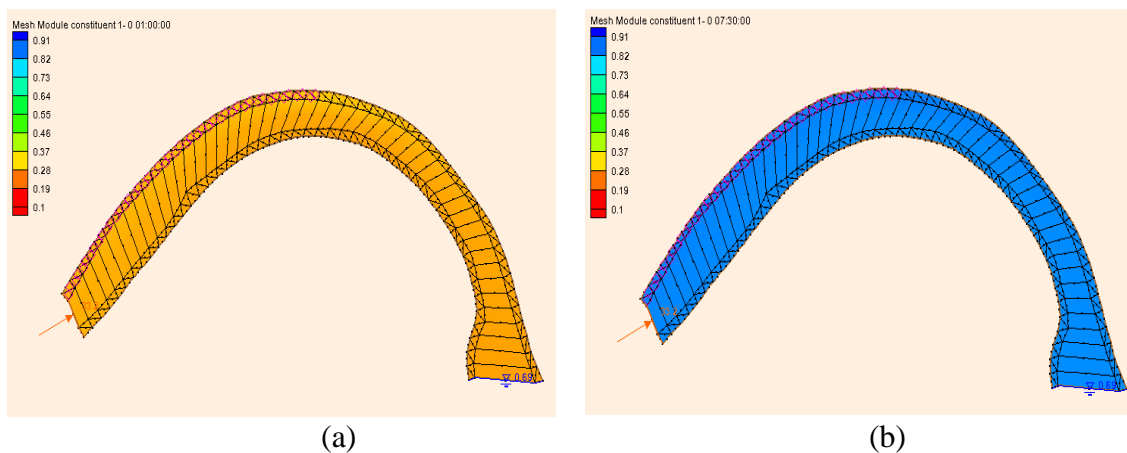


Fig. A3.15. Cîmpul de concentrații peste o oră (a) și 7,30 ore (b).

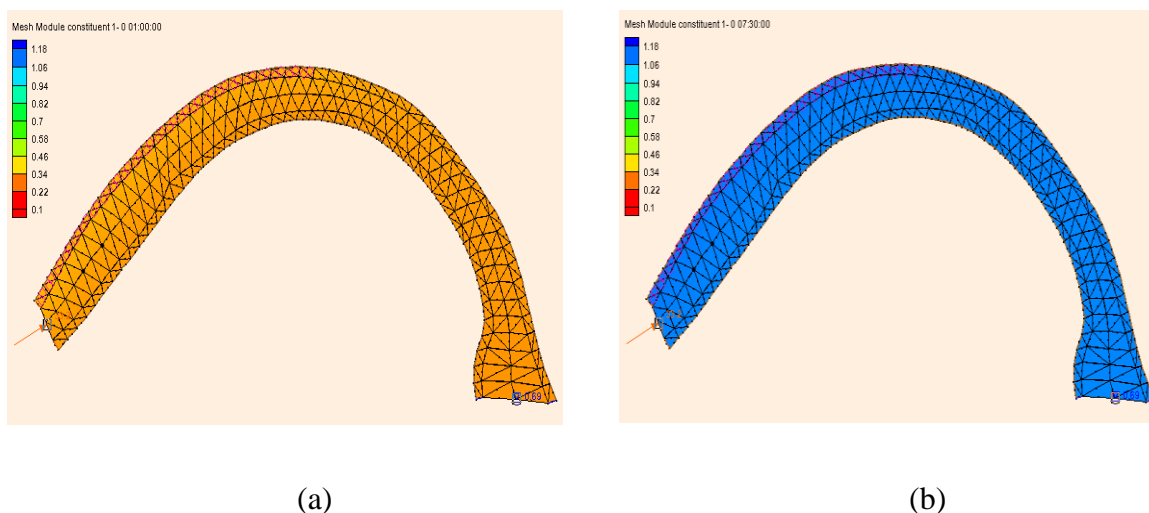


Fig. A3.16. Cîmpul de concentrații peste o oră (a) și 7.30 ore (b).

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **03.10.2012**;
- concentrația probei prelevate: **0,13 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 17 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0.35 \text{ m}$.

Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.17 – A3.19.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.399606
->Maximum	1.00426

Fig. A3.17. Adîncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.0760682
->Maximum	1.17672

Fig. A3.18. Viteza rezultantă.

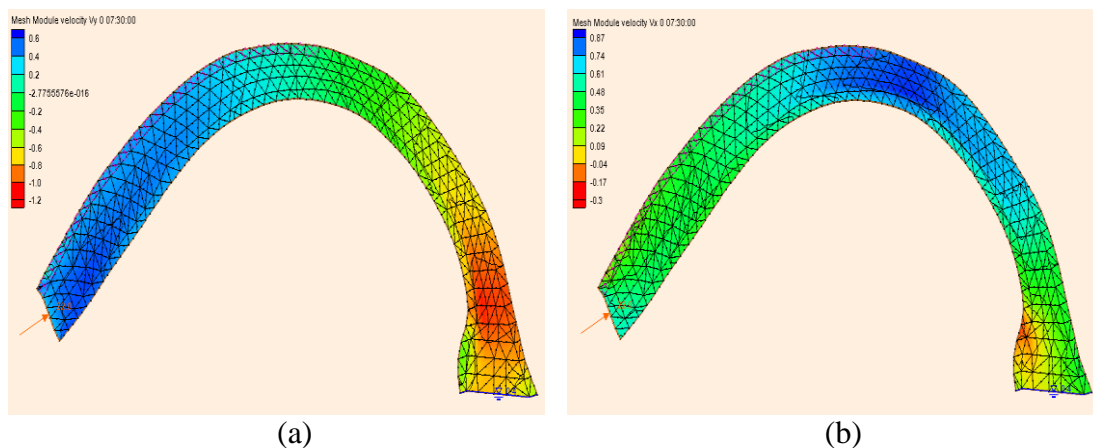


Fig. A3.19. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile A3.20 – A3.22.

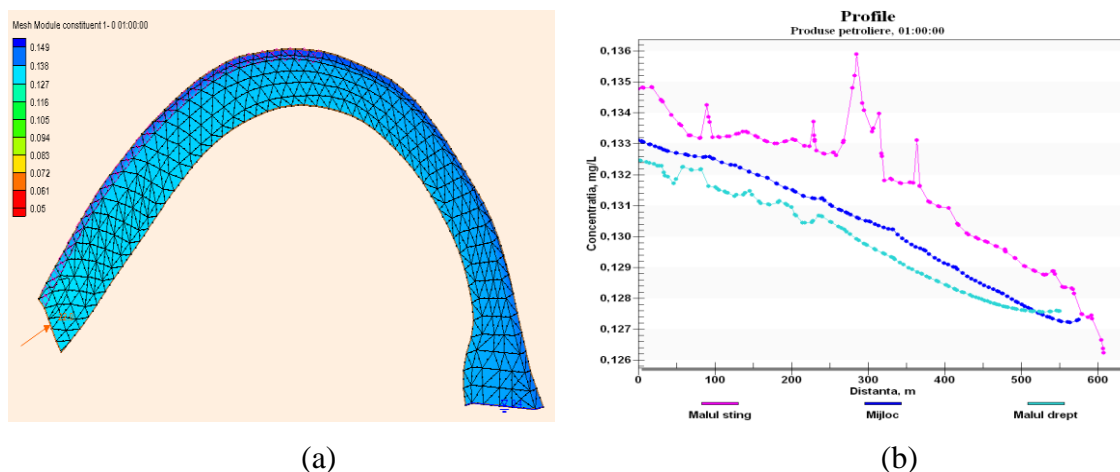


Fig. A3.20. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.

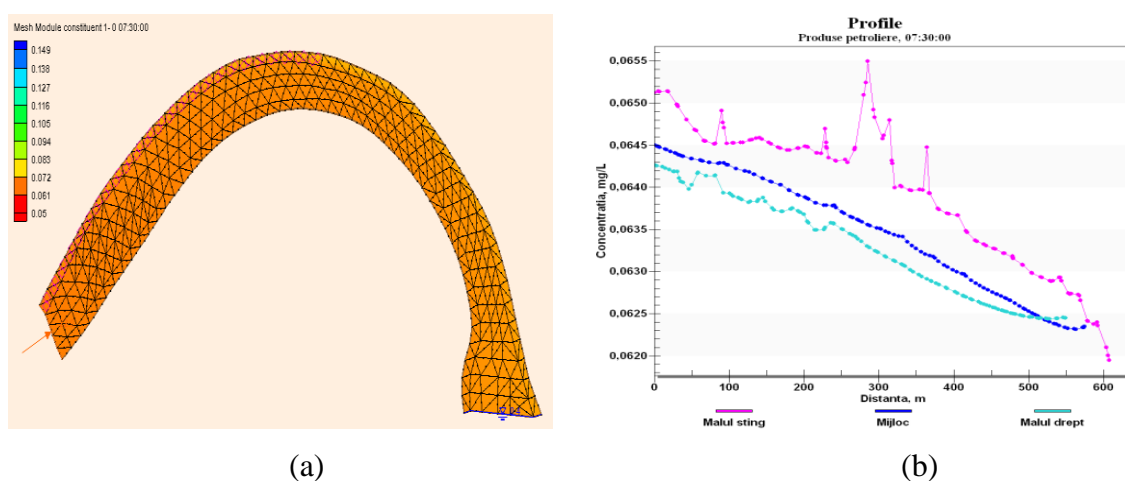
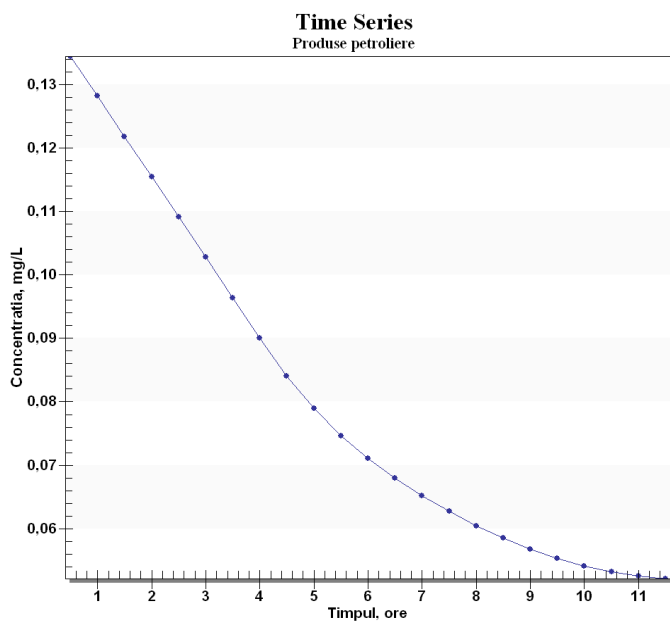


Fig. A3.21. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 7.30 ore.



Timpul, ore	Concentratia, mg/L
0.5	0.1345236760837
1.0	0.1282308953446
1.5	0.1218376906189
2.0	0.1154899621758
2.5	0.109122789851
3.0	0.1027643955624
3.5	0.0964025263353
4.0	0.0900416596679
4.5	0.0841021757862
5.0	0.0789447996311
5.5	0.074588437633
6.0	0.071025156369
6.5	0.0679759191923
7.0	0.0652006680516
7.5	0.0626872879329
8.0	0.0604392158416
8.5	0.0584563809635
9.0	0.0567394201962
9.5	0.0552859065835
10.0	0.0540982893304
10.5	0.0531764628023
11.0	0.052518106123
11.5	0.0521257069798

Fig. A3.22. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **04.09.2013**;
- concentrația poluantului **0,34 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 16,5 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,32 \text{ m}$.

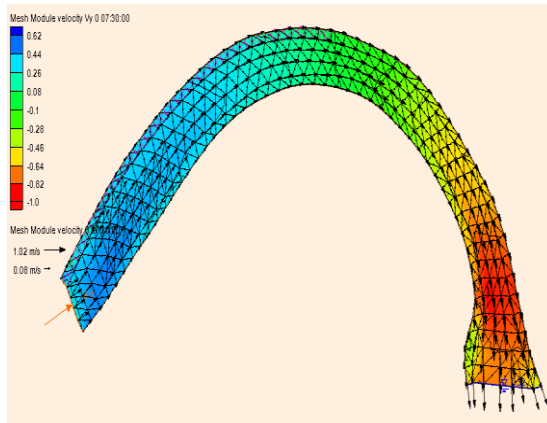
Rezultatele obținute cu programul RMA2 se prezintă în figurile A3.23 – A3.25.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.319415
->Maximum	0.872549

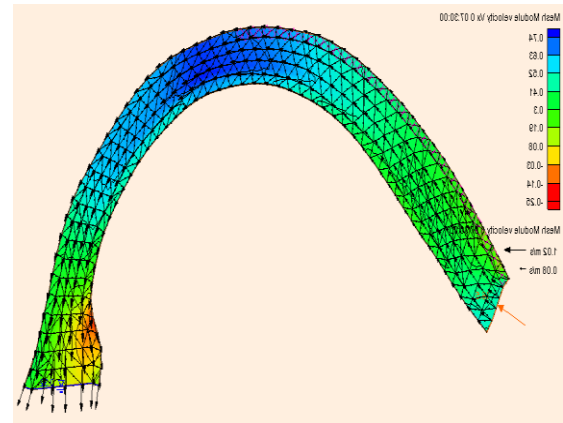
Fig. A3.23. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.0808045
->Maximum	1.02204

Fig. A3.24. Viteza rezultantă.



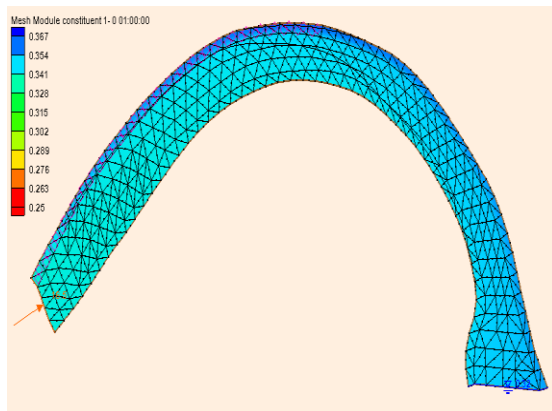
(a)



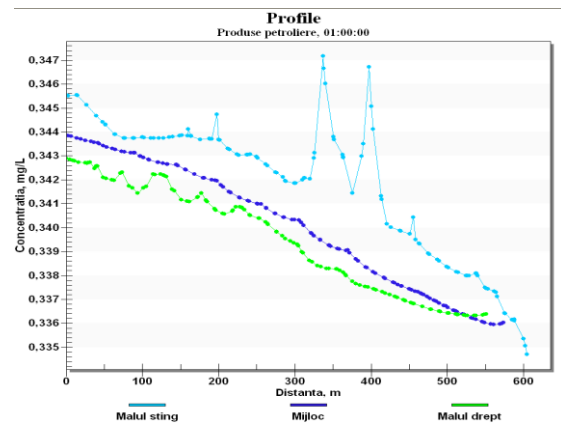
(b)

Fig. A.3.25. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele aplicării programul RMA4 se prezintă în figurile A3.26 – A3.27.

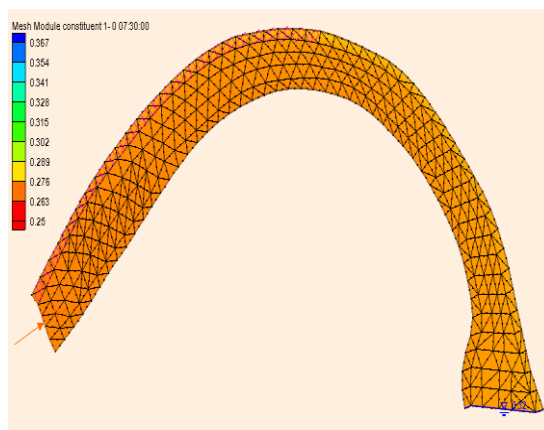


(a)

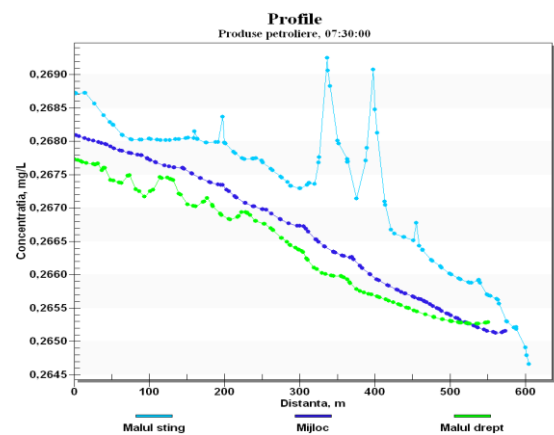


(b)

Fig. A3.26. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.



(a)



(b)

Fig. A3.27. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) peste 7.30 ore.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.28.

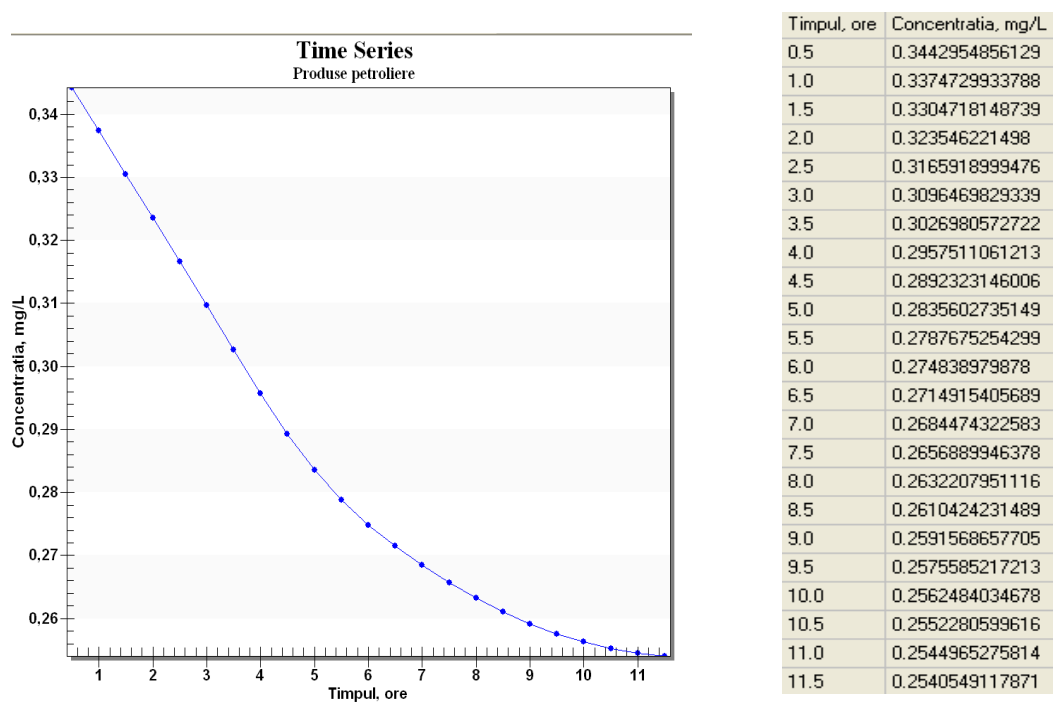


Fig. A3.28. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

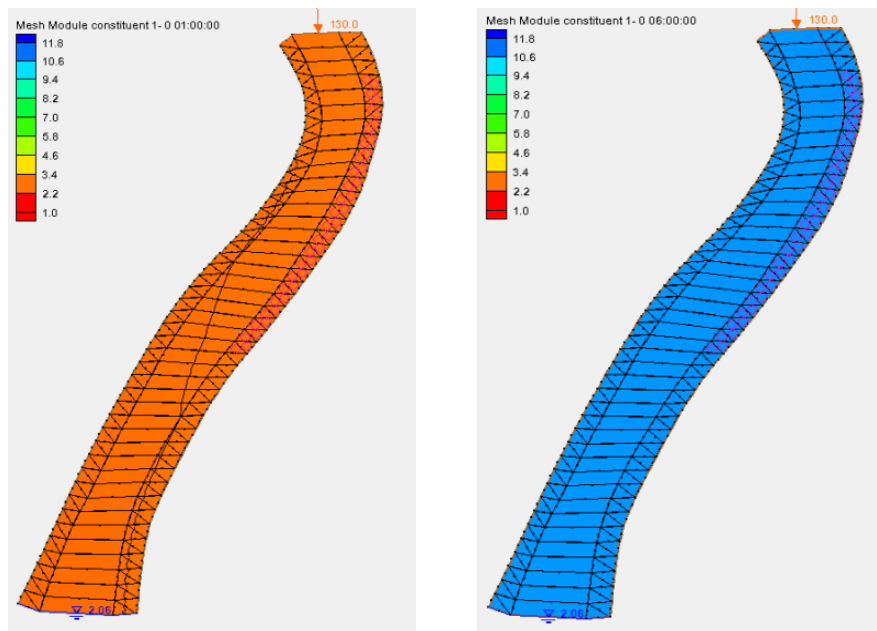
Anexa 3c. Rîul Prut pe sectorul s. Branîște

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut						
Selectati sector:						
Sector: s. Braniste		Concentrațiile medii anuale pentru riul Prut s. Braniste				
Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,05	0,08	0,07	0,05	0,03	0,09
Nitratii	0,89	1,09	0,81	0,72	0,49	0,82
Nitritii	0,014	0,016	0,015	0,01	0,011	0,01
Ca++	44,63	59,61	64,39	63,74	58,61	56,93
CB05	2,01	1,96	2,24	1,66	1,94	2,09
CCOcr	13,51	14,11	16,34	13,63	11,89	14,66
Cloruri	23,83	26,81	22,87	24,48	27,65	27,03
CO2	1,06	0,29	1,2	0,44	0	0
CO3-	1,31	1,33	0,82	1,25	1,5	0
Cu++	0	0,001	0,002	0,003	0,013	0,007
Detergenti	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Duritatea	3,42	4	4,27	4,25	3,76	3,78
Fe	0,073	0,023	0,025	0,028	0,014	0,02
Fenoli	0	0	0	0	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01	0,01
Fosfor total	0,09	0,05	0,11	0,03	0,04	0,03
HCO3	154,67	177,29	199	182,42	167,67	157,58
Temperatura	12,7	12,74	11,79	12,55	12,76	11,44
Transparenta	30	18,17	25	21,67	22,21	21,63
Mg++	14,43	12,81	12,88	12,94	10,14	11,26
Mineralizarea	330	372,29	396,53	392,08	369,83	358,83
Na++K+	28,23	26,79	27,3	27,83	32,04	31,11
Oxygen	7,9	9,35	9,16	9,14	9,56	10,73
pH	8,11	8,25	8	8,3	8,26	8,42
Produse petroliere	0,02	0,04	0,03	0,07	0,06	0,09
Saturatia	74,67	81,89	80,91	86,67	89,33	96,42
Sulfati	64,2	69,1	70,11	80,55	73,26	80,77
Suspensii	12,22	15,56	11,82	7,96	23,08	48,25
Zn++	0,003	0,002	0,003	0,015	0,778	0,003

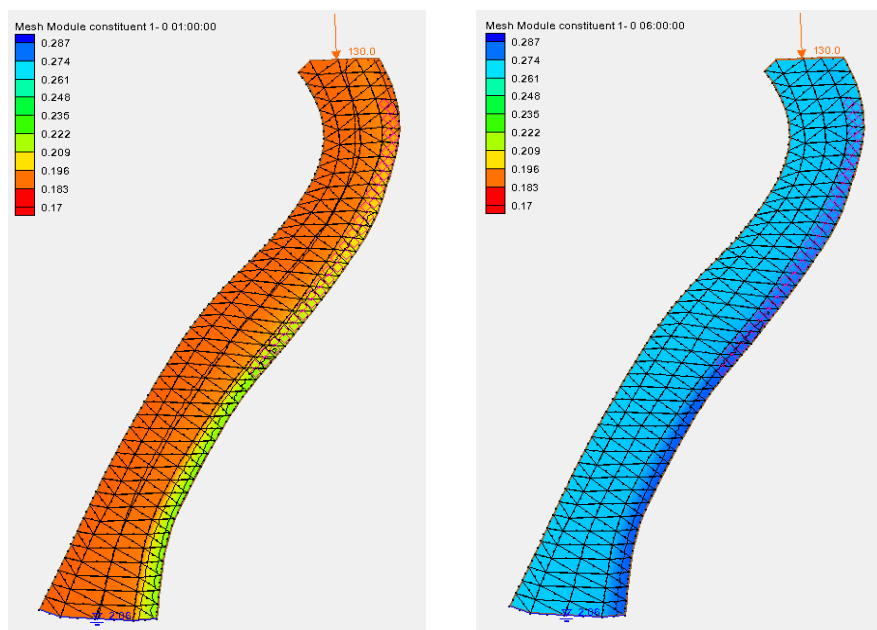
Fig. A3.29. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate.

Tabelul A3.3. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	24.06.2011	0,130
	04.08.2011	0,110
	10.11.2011	0,160
	04.07.2012	0,140
	04.10.2012	0,130
	06.12.2012	0,080
	03.07.2013	0,100
	08.08.2013	0,270
	07.11.2013	0,080
Fenoli (CMA- 0,001 mg/L)	21.04.2011	0,002
	03.05.2012	0,003
	07.11.2013	0,007
Nitriți (CMA- 0,02 mg/L)	24.06.2011	0,026
	09.08.2012	0,021
	05.06.2013	0,027



(a) (b)
Fig. A3.30. Cîmpul de concentrații peste o oră (a) și 6 ore (b).



(a) (b)
Fig. A3.31. Cîmpul de concentrații peste o oră (a) și 6 ore (b).

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **04.07.2012**;
- concentrația probei prelevate: **0,14 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 140 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 2,16 \text{ m}$.

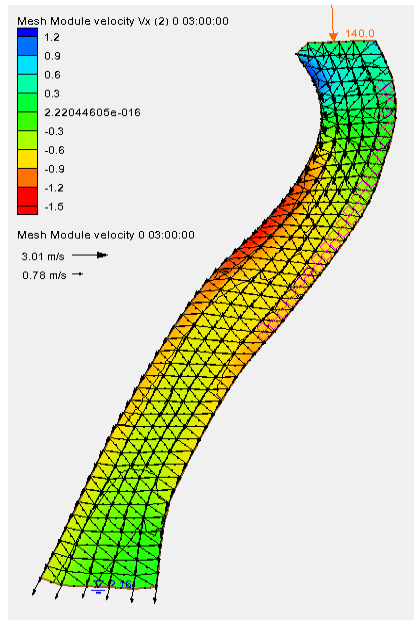
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.32 – A3.34.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	2.00122
->Maximum	2.5901

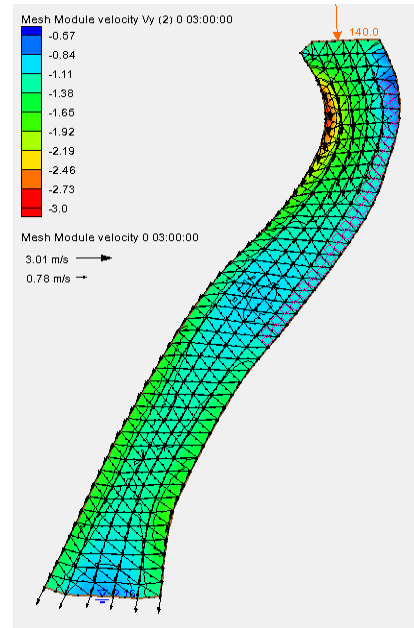
Fig. A3.32. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.78003
->Maximum	3.01369

Fig. A3.33. Viteza rezultantă.



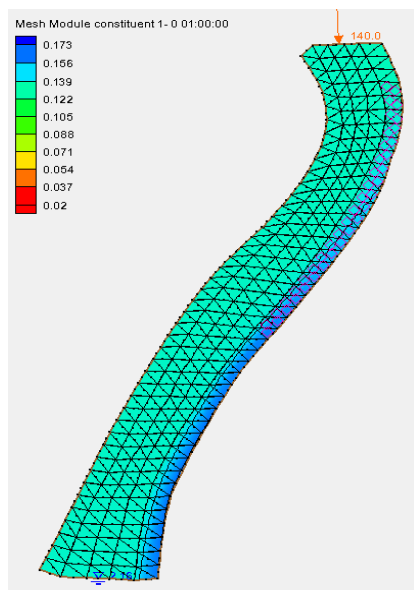
(a)



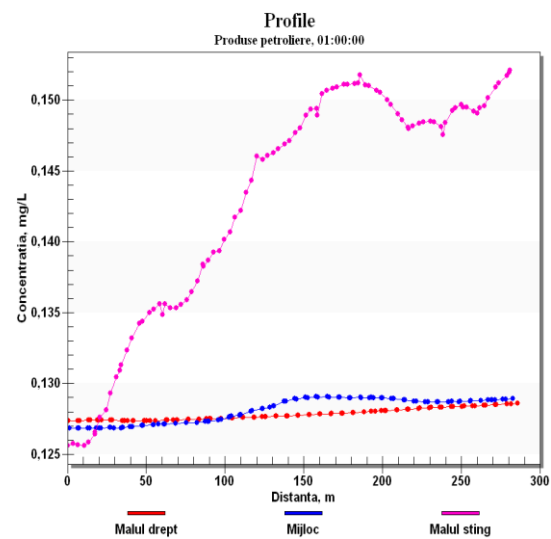
(b)

Fig. A3.34. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile A3.35 – A3.36.

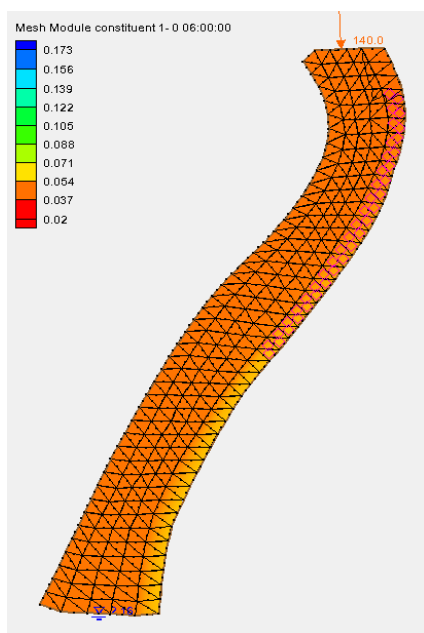


(a)

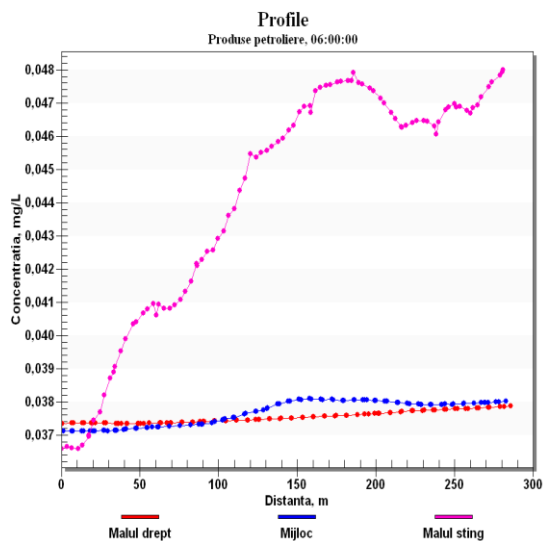


(b)

Fig. A3.35. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.



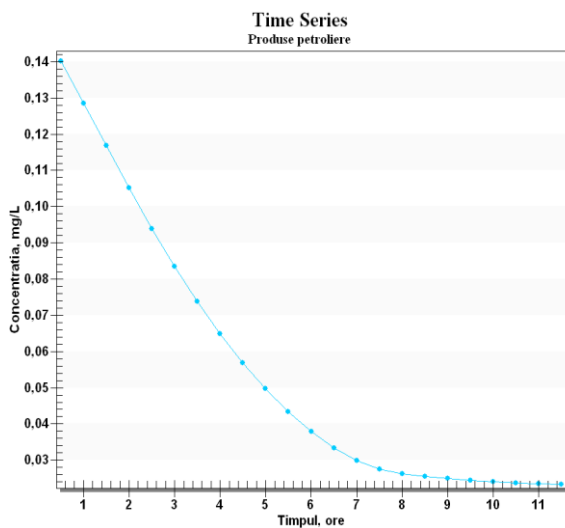
(a)



(b)

Fig. A3.36. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.37.



Timpul, ore	Concentratia, mg/L
0.5	0.1401907575328
1.0	0.128562651064
1.5	0.1168217059019
2.0	0.1051401044365
2.5	0.093853309865
3.0	0.0833875841571
3.5	0.0737402600335
4.0	0.0649180653542
4.5	0.0569193200205
5.0	0.0497447392854
5.5	0.043394058654
6.0	0.037865236667
6.5	0.0332976701416
7.0	0.0298226232355
7.5	0.0274455031954
8.0	0.0261644082664
8.5	0.0254715248412
9.0	0.024879032372
9.5	0.0243749559576
10.0	0.0239641012003
10.5	0.0236439051112
11.0	0.0234150401003
11.5	0.0232768356174

Fig. A3.37. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **08.08.2013**;
- concentrația probei prelevate: **0,27 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 2,3 \text{ m}$.

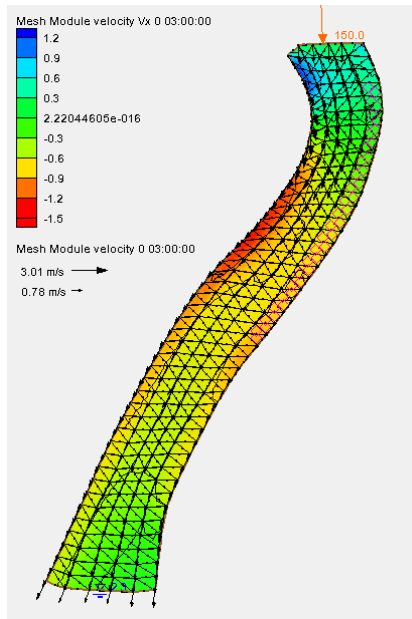
Rezultatele simulării cu programul RMA2 se prezintă în figurile A3.38 – A3.40.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	2.00122
->Maximum	2.5901

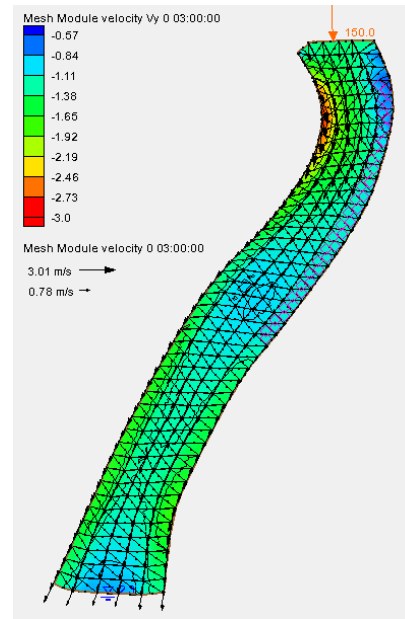
Fig. A3.38. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.780038
->Maximum	3.01368

Fig. A3.39. Viteza rezultantă.



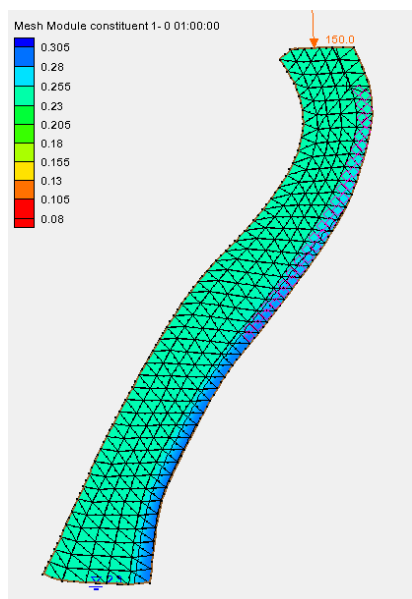
(a)



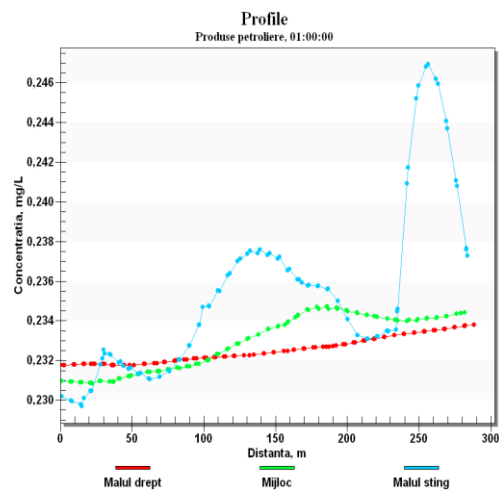
(b)

Fig. A3.40. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile A3.41 – A3.42.



(a)

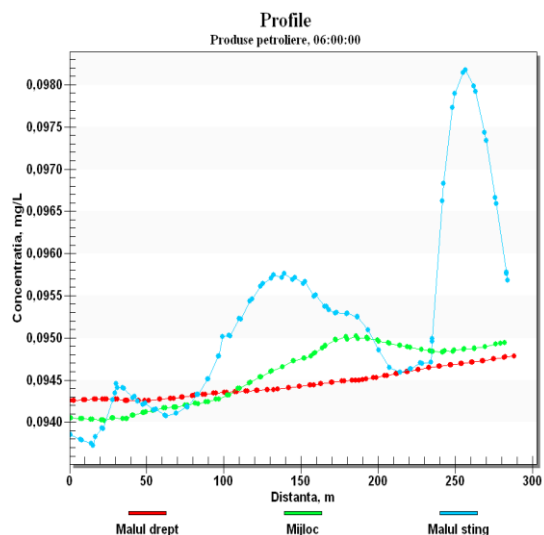


(b)

Fig. A.3.41. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.



(a)



(b)

Fig. A3.42. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor (figura A3.43).

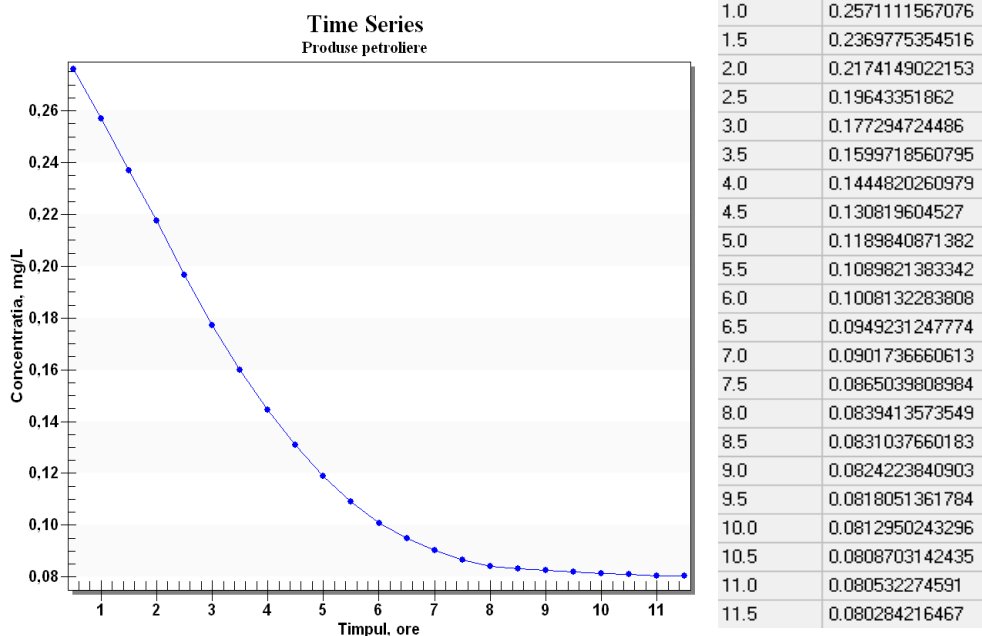


Fig. A3.43. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Anexa 3d. Rîul Prut pe sectorul or. Ungheni

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut						
-Selectati sector:						
Sector: or. Ungheni		Concentrațiile medii anuale pentru riul Prut or. Ungheni				
Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,05	0,09	0,06	0,03	0,03	0,11
Nitriți	0,99	1,28	0,89	0,8	0,52	0,78
Nitriti	0,024	0,008	0,008	0,01	0,007	0,01
Ca++	54,82	60,94	59,97	55,88	54,93	59,1
CO5	2,25	2,04	2,1	2,03	1,9	2,25
CCOcr	13,84	11,69	14,27	12,03	11,63	12,5
Cloruri	21,54	29,43	22,46	25,54	28,26	27,33
CO2	2,04	0,66	1,1	0,44	0	0
CO3-	0,9	1,13	0,88	1,25	1,5	0
Cu++	0,015	0,001	0,002	0,004	0,003	0,001
Detergenti	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Duritatea	3,82	4,41	4,25	4,28	3,89	4,21
Fe	0,051	0,03	0,045	0,065	0,034	0,04
Fenoli	0	0	0	0	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,03	0,01	0,03	0,02	0,1	0,03
Fosfor total	0,03	0,04	0,05	0,03	0,07	0,05
HCO3	190,9	185,88	201,51	194,08	171,33	180,75
Temperatura	12,2	9,8	11,41	11,71	10,84	11,04
Transparenta	10,23	14,11	12,88	14,29	18,79	14,27
Mg++	13,13	16,59	15,27	18,14	13,99	15,31
Mineralizarea	388,9	417,25	417,71	437,67	386,33	428,5
Na++K+	35,84	33,88	35,39	43,05	35,67	44,46
Oxigen	8,45	10,05	9,66	9,26	10,61	10,19
pH	7,91	8,11	8,05	8,37	8,38	8,37
Produse petroliere	0,04	0,02	0,04	0,04	0,07	0,1
Saturatia	77,45	86,88	86,92	85,25	91,92	89,98
Sulfati	72,87	90,71	83	100,86	82,12	108,14
Suspensii	56	17,5	47,5	35,5	18,63	90,75
Zn++	0,004	0,002	0,004	0,01	0,007	0

Fig. A3.44. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Tabelul A3.4. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	05.05.2011	0,060
	07.07.2011	0,060
	08.09.2011	0,060
	13.06.2012	0,070
	11.10.2012	0,140
	12.12.2012	0,150
	16.05.2013	0,160
	11.07.2013	0,180
Fenoli (CMA-0,001mg/L)	12.12.2013	0,180
	07.07.2011	0,002
	13.09.2012	0,002
	11.10.2012	0,002
	14.11.2013	0,007
Compușii cuprului (CMA – 0,001 mg/L)	12.12.2013	0,002
	05.05.2011	0,016
	04.08.2011	0,016

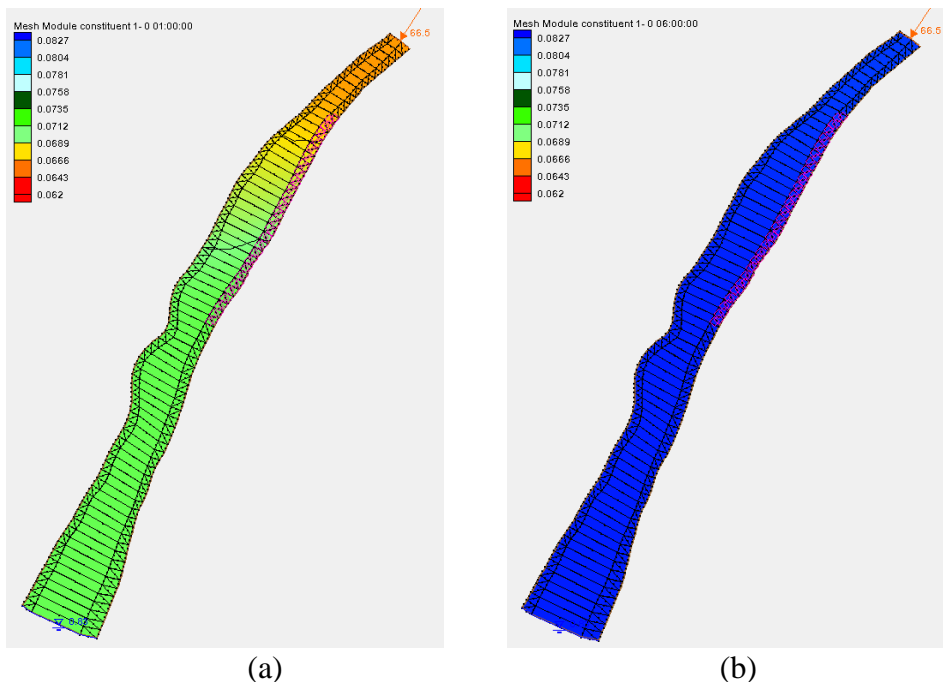


Fig. A3.45. Cîmpul de concentrații peste o oră (a) și 6 ore (b).

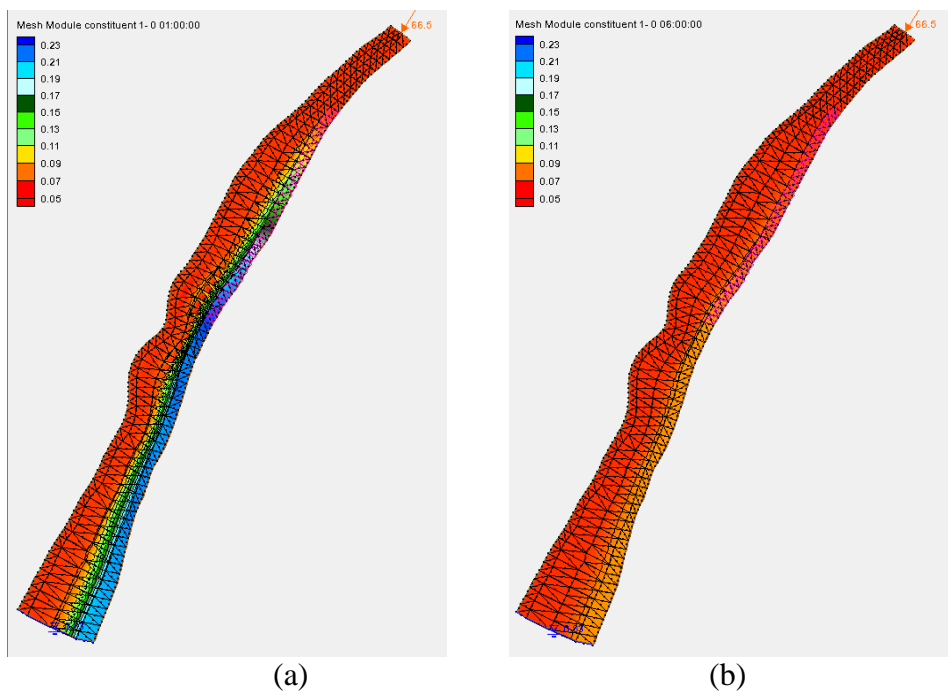


Fig. A3.46. Cîmpul de concentrații peste o oră (a) și 6 ore (b).

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **12.12.2012**;
- concentrația probei prelevate: **0,15 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 21,8 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,14 \text{ m}$.

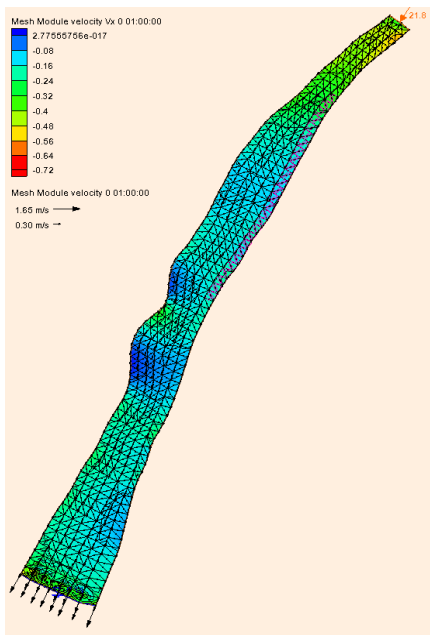
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.47 – A3.49.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.271618
->Maximum	2.48233

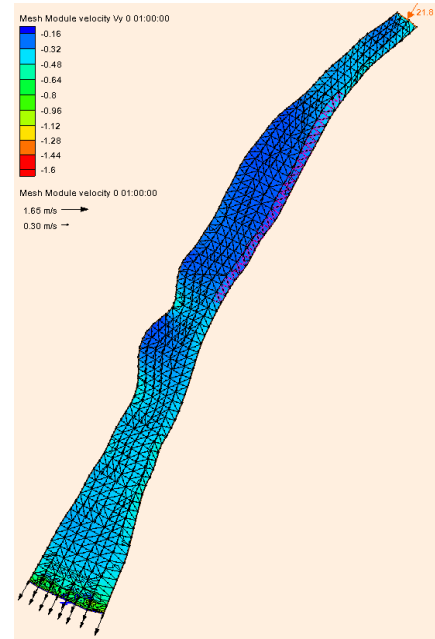
Fig. A3.47. Adîncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.303964
->Maximum	1.64928

Fig. A3.48. Viteza rezultantă.



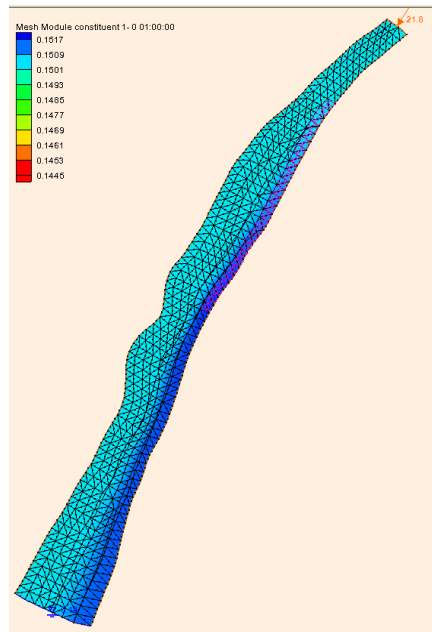
(a)



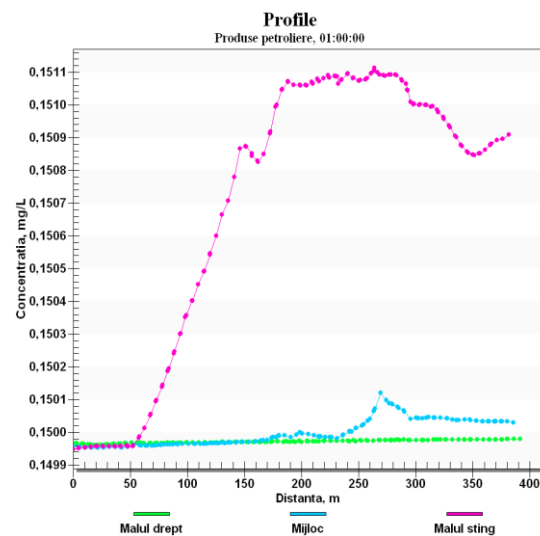
(b)

Fig. A3.49. Cîmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile A3.50 – A3.52.



(a)



(b)

Fig. A3.50. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.

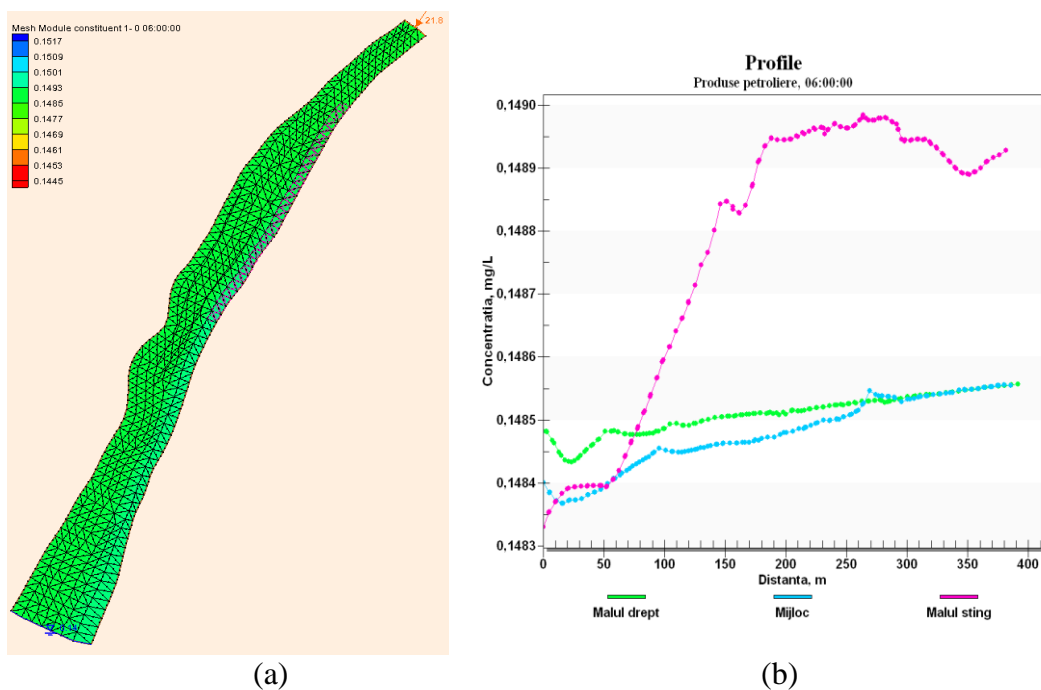


Fig. A3.51. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

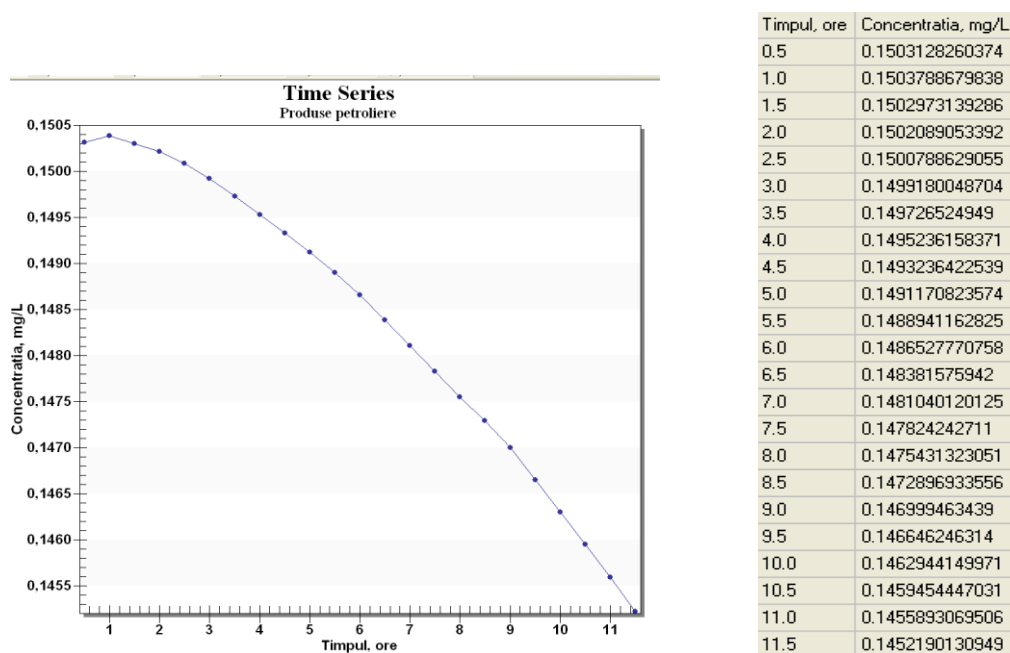


Fig. A3.52. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **11.07.2013**;
- concentrația probei prelevate: **0,18 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 46 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,25 \text{ m}$.

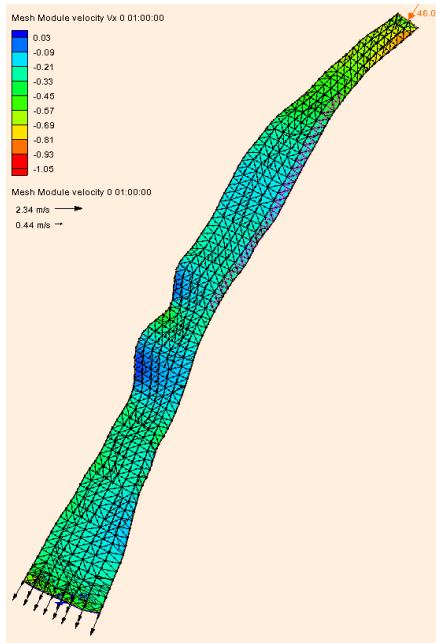
Rezultatele simulării cu programul RMA2 se prezintă în figurile A3.53 – A3.55.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.406117
->Maximum	3.51773

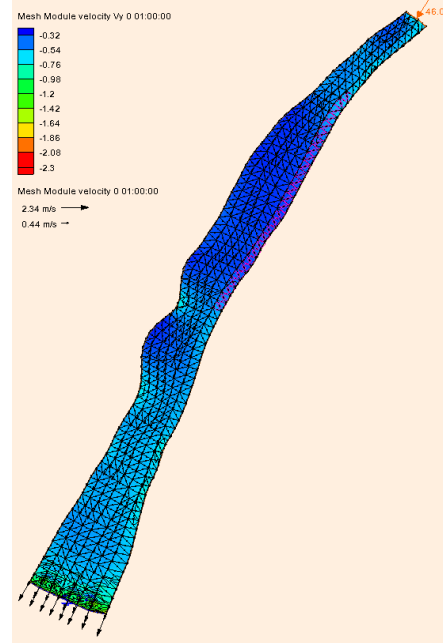
Fig. A3.53. Adîncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.443746
->Maximum	2.33874

Fig. A3.54. Viteza rezultantă.



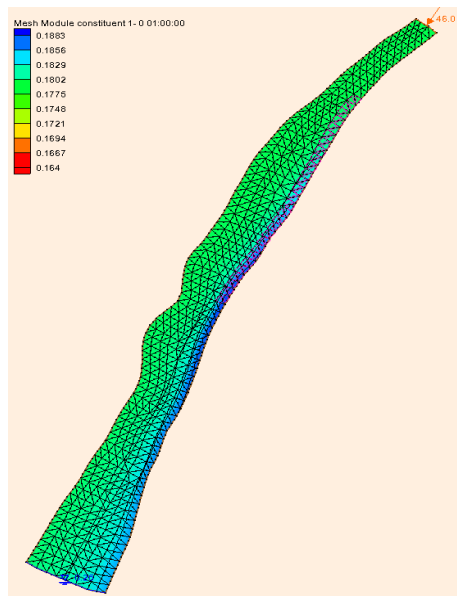
(a)



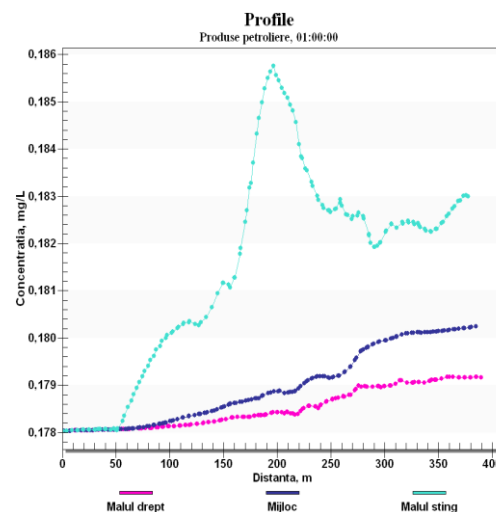
(b)

Fig. A3.55. Cîmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu programul RMA4, se prezintă în figurile A3.56 – A3.57.



(a)

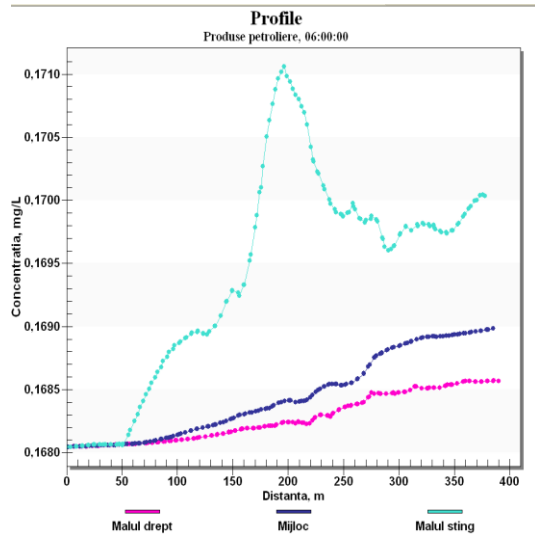


(b)

Fig. A3.56. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste o oră.



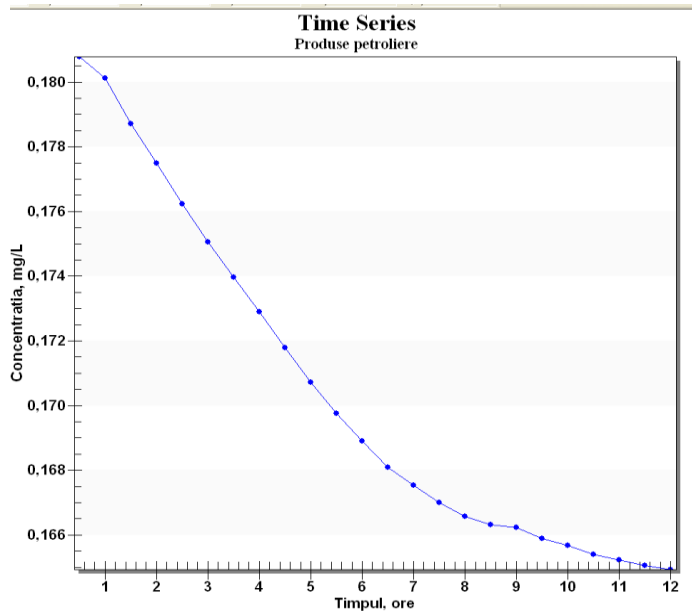
(a)



(b)

Fig. A3.57. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.58.



Timpul, ore	Concentratia, mg/L
0.5	0.1807912322657
1.0	0.1801082345175
1.5	0.1786983181674
2.0	0.1774798086905
2.5	0.1762237550619
3.0	0.1750518095194
3.5	0.1739637503205
4.0	0.1728956279388
4.5	0.1717875828805
5.0	0.1707134468652
5.5	0.169751215859
6.0	0.1688986101214
6.5	0.168087268801
7.0	0.1675435680797
7.5	0.1670078901595
8.0	0.1665718822973
8.5	0.1663064268346
9.0	0.1662207957584
9.5	0.1658977271497
10.0	0.1656730252886
10.5	0.165399578412
11.0	0.1652287644073
11.5	0.1650490479593
12.0	0.1649383924598

Fig. A3.58. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Anexa 3c. Rîul Prut pe sectorul s. Valea Mare

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut						
-Selectati sector:						
Sector: s. Valea Mare		Concentrațiile medii anuale pentru riul Prut s. Valea Mare				
Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,19	0,33	0,29	0,1	0,07	0,19
Nitrat	1,13	1,46	1,14	1,15	1,43	1,47
Nitrit	0,022	0,022	0,02	0,015	0,013	0,02
Ca ⁺⁺	58,44	66,55	62,82	56,73	58,62	61,28
CBO ₅	2,79	2,6	3,12	2,56	2,66	2,91
CCO _{cr}	16,18	12,79	16,65	14,87	15,46	16,02
Cloruri	23	32,93	24,83	28,12	33,32	31,02
CO ₂	2,18	0,66	1,1	0,44	0	0
CO ₃	0,75	1,13	0,88	1,25	1,5	0
Cu ⁺⁺	0,014	0,001	0,002	0,003	0,008	0,009
Detergenti	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0
Duritatea	4,24	5,07	4,66	4,58	4,42	4,67
Fe	0,062	0,048	0,088	0,08	0,055	0,007
Fenoli	0	0	0	0,001	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,06	0,06	0,05	0,04	0,12	0,07
Fosfor total	0,09	0,11	0,08	0,06	0,16	0,2
HCO ₃	212,4	225	229,79	221,17	207,58	208,5
Temperatura	12,54	10,06	11,56	11,87	11,9	11,4
Transparenta	7,48	11,01	9	10,1	16,88	10,64
Mg ⁺⁺	16,05	21,23	18,48	21,27	18,14	19,56
Mineralizarea	439,6	499,38	478,44	495,92	459,92	506,5
Na ⁺⁺ K ⁺	42,58	45,28	45,69	55,3	47,49	60,07
Oxigen	7,58	9,54	9,11	9,18	9,83	9,88
pH	7,93	8,11	8,04	8,35	8,31	8,33
Produse petroliere	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08	0,21
Saturatia	70,45	84,5	82,92	82,76	89,58	87,88
Sulfati	87,17	108,51	96,94	114,12	94,35	133,77
Suspensii	75	55	94,17	73,42	27,92	89,08
Zn ⁺⁺	0,003	0,002	0,001	0,008	0,219	0,028

Fig. A3.59. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Tabelul A3.5. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	02.06.2011	0.100
	06.10.2011	0.090
	12.07.2012	0.100
	13.11.2012	0.200
	16.05.2013	0.130
	13.06.2013	0.260
Nitriți (CMA- 0,02 mg/L)	13.01.2011	0.034
	14.02.2012	0.024
	12.02.2013	0.086
	13.06.2013	0.031
Compușii cuprului (CMA- 0,001 mg/L)	05.05.2011	0,008
	04.08.2011	0,003
Fenoli (CMA- 0,001 mg/L)	04.08.2011	0,003
	08.09.2011	0,002
	13.06.2012	0,002

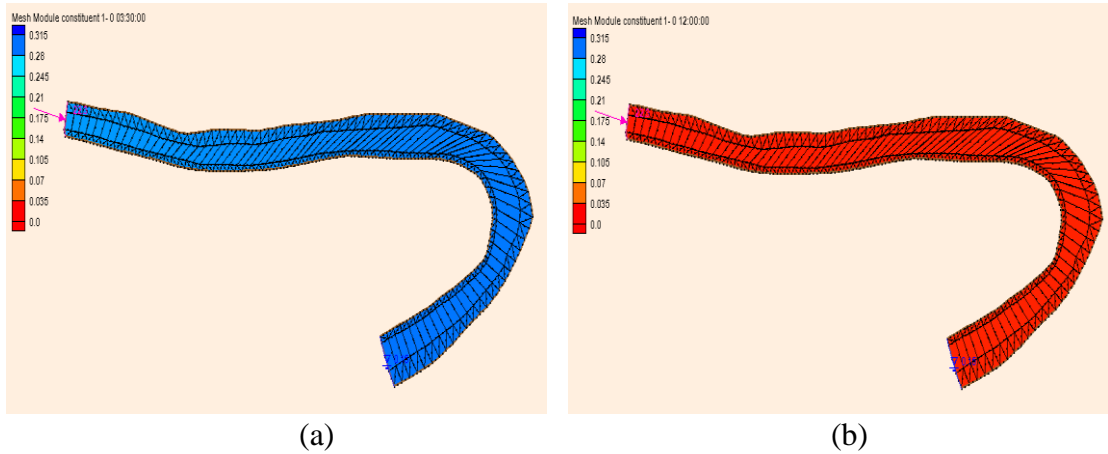


Fig. A3.60. Câmpul de concentrații peste 3 ore și 30 min (a) respectiv 12 ore (b).

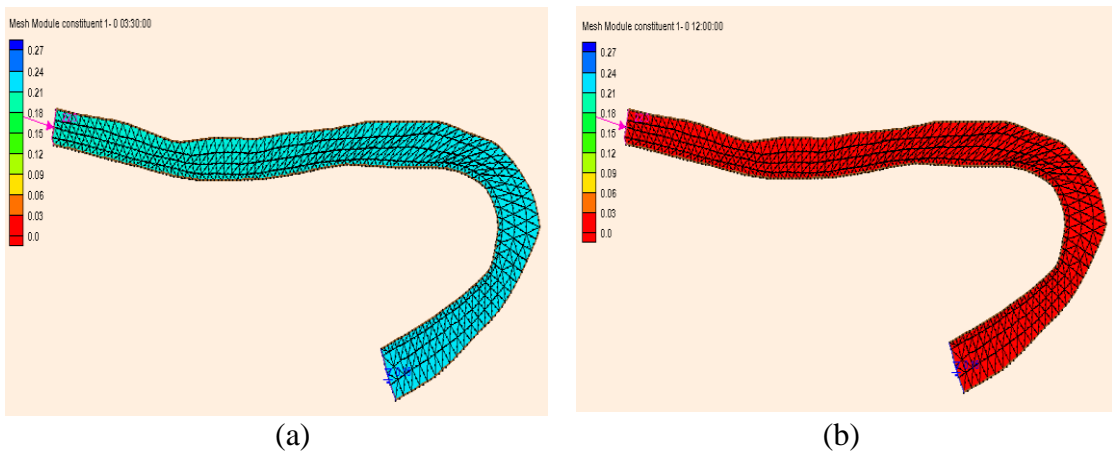


Fig. A3.61. Câmpul de concentrații peste 3 ore și 30 min (a) și 12 ore (b).

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **13.11.2012;**
- concentrația probei prelevate: **0,2 mg/L;**
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 23,6 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,1 \text{ m}$.

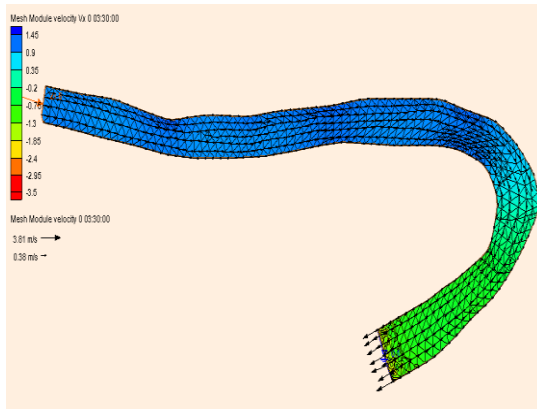
Câmpul de viteze și adâncimea apei obținute cu RMA2 se prezintă în figurile A3.62 – A3.64.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	1.05098
->Maximum	5.68676

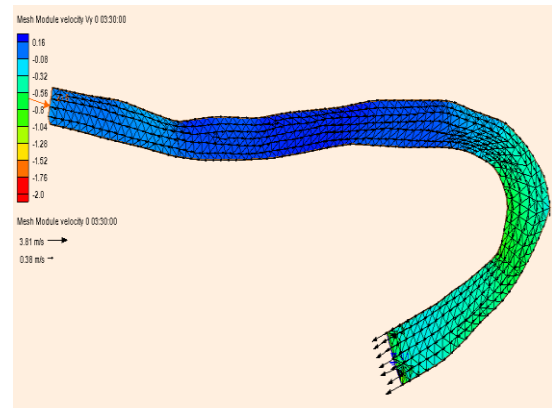
Fig. A3.62. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.645607
->Maximum	5.17065

Fig. A3.63. Viteza rezultantă.



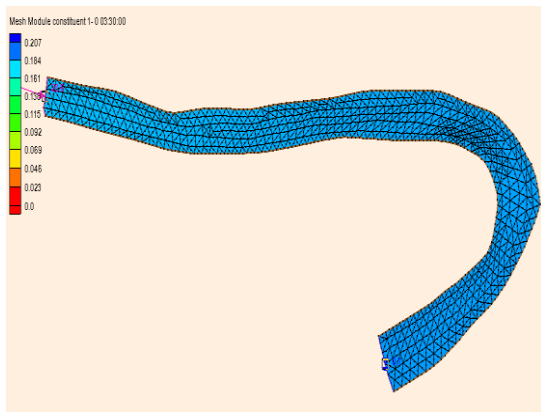
(a)



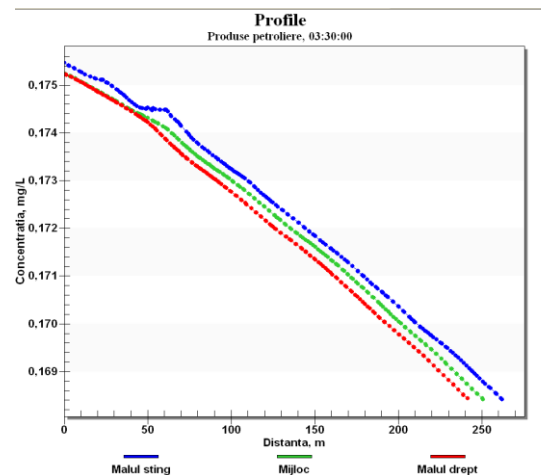
(b)

Fig. A3.64. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele aplicării programului RMA4 se prezintă în figurile A3.65 – A3.67.

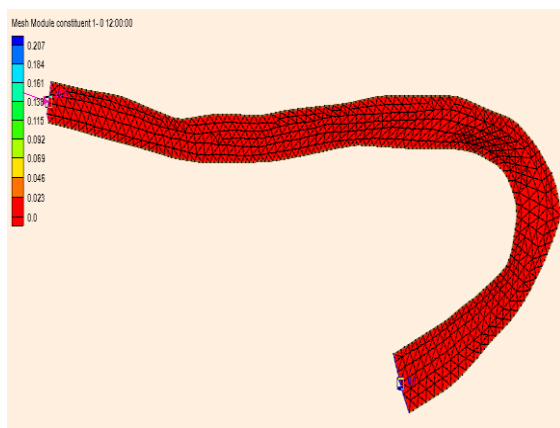


(a)



(b)

Fig. A3.65. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3.30 ore.



(a)



(b)

Fig. A3.66. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 12 ore.

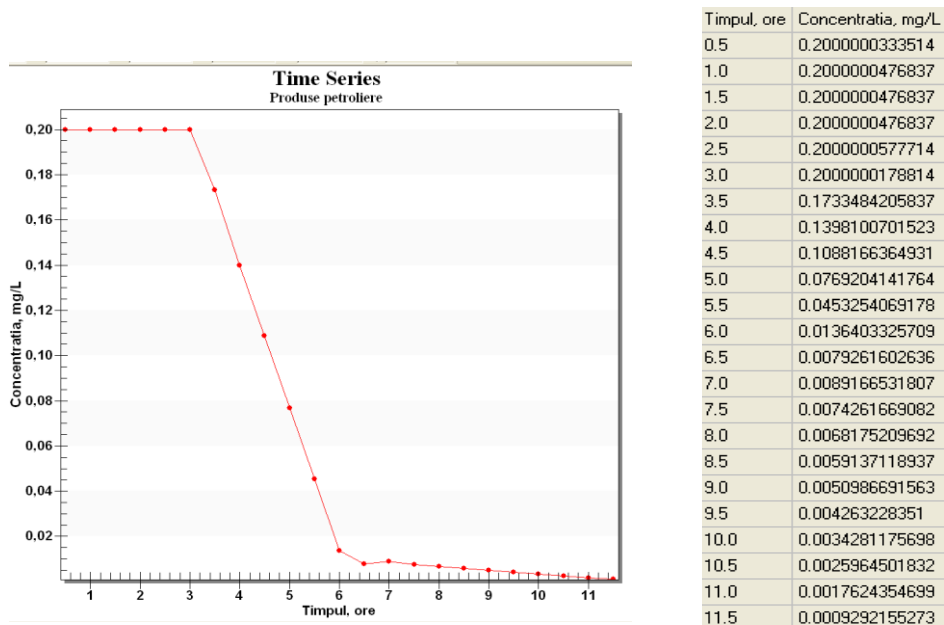


Fig. A3.67. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **13.06.2013**;
- concentrația poluantului: **0,26 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 73 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,68 \text{ m}$.

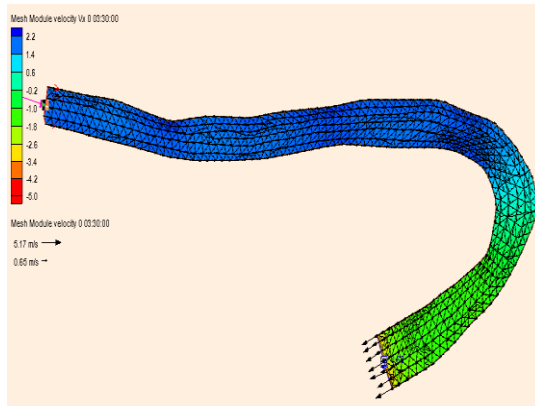
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.68 – A3.70.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	1.05098
->Maximum	5.68676

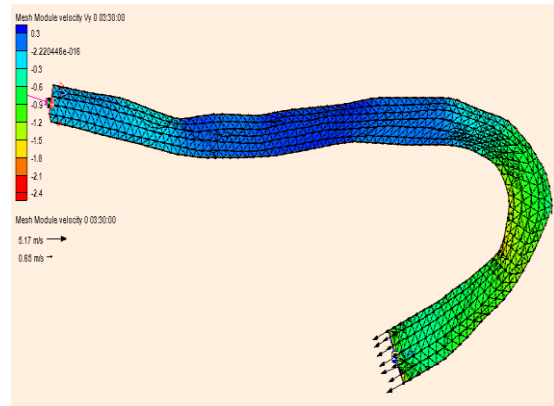
Fig. A3.68. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.645607
->Maximum	5.17065

Fig. A3.69. Viteza rezultantă.



(a)



(b)

Fig. A3.70. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile A3.71 – A3.72.

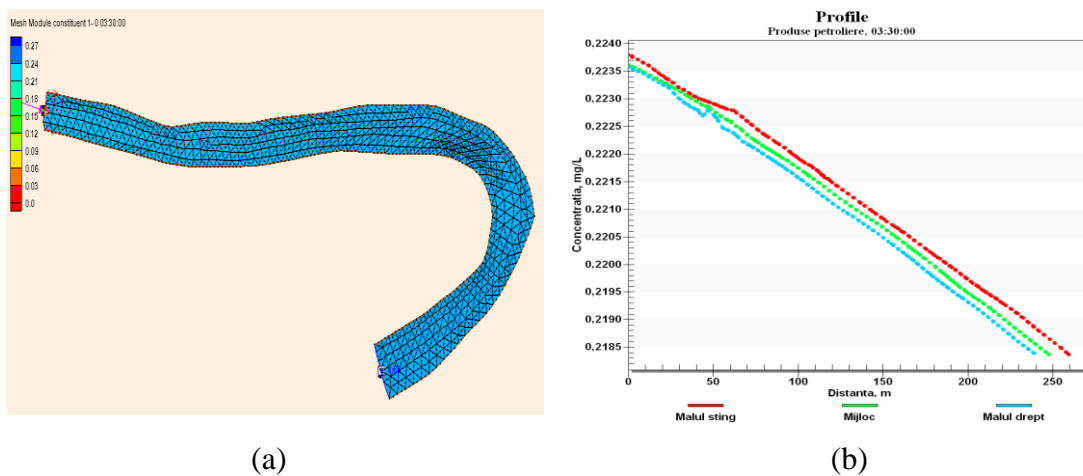


Fig. A3.71. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3.30 ore.

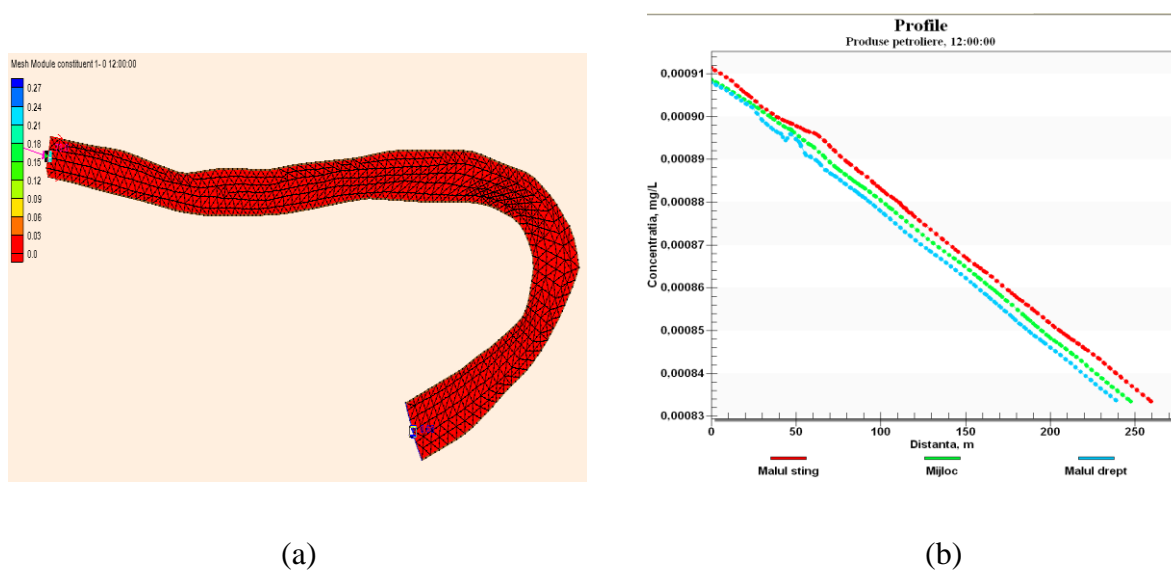


Fig. A3.72. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 12 ore.

Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.73.

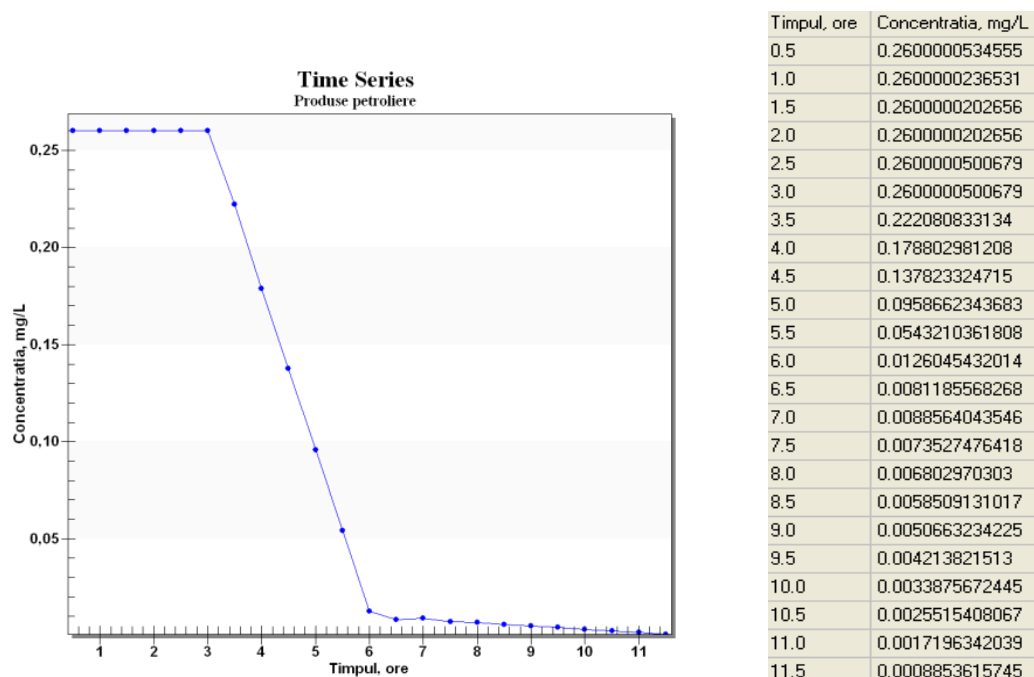


Fig. A3.73. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut

Selectati sector:
Sector: or. Leova

Concentrațiile medii anuale pentru rîul Prut or. Leova

Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,1	0,2	0,13	0,07	0,11	0,12
Nitrat	1,06	1,43	0,99	1,04	1	1,4
Nitrit	0,018	0,022	0,019	0,013	0,014	0,02
Ca ⁺⁺	49,61	66,02	66,15	69,39	60,94	61,27
CO ₅	2,32	2,54	2,25	2,13	2,09	2,08
CCOcr	14,98	15,54	16,38	13,22	14,2	16,33
Cloruri	22,77	34,57	27,49	29,93	34,4	32,06
CO ₂	1,32	0,59	1,32	0,44	0	0
CO ₃	1,17	1,17	0,75	1,25	1,5	0
Cu ⁺⁺	0,009	0	0,002	0,003	0,006	0
Detergenți	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Duritatea	4,05	5,07	5,17	5,08	4,42	4,64
Fe	0,076	0,06	0,107	0,145	0,102	0,08
Fenoli	0	0	0	0,002	0,001	0,02
Fosfor mineral	0,05	0,06	0,06	0,04	0,06	0,05
Fosfor total	0,08	0,14	0,08	0,06	0,11	0,11
HCO ₃	207,22	237,22	246,59	232	221,5	211,58
Temperatura	14,21	13,53	12,66	12,28	12,48	13,06
Transparenta	3,72	6,07	10,92	7,25	11,29	8,8
Mg ⁺⁺	19,08	21,55	22,7	19,68	16,53	19,24
Mineralizarea	426	526,44	533,76	533,67	467,17	507,58
Na ⁺⁺ K ⁺	43,36	53,87	52,69	55,43	49,88	61,11
Oxigen	8,08	9,39	9,13	9,86	10,41	9,66
pH	8,09	8,21	8,03	8,42	8,36	8,44
Produse petroliere	0,05	0,04	0,03	0,05	0,08	0,11
Saturatia	77,4	87,33	83,33	90,92	95,5	89,67
Sulfati	83,88	113,31	118,24	127,25	100,15	130,36
Suspensii	77	96,67	116,67	83,92	58,67	122,5
Zn ⁺⁺	0,008	0,001	0,002	0,012	0,017	0,027

Fig. A3.74. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Tabelul A3.6. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	25.05.2011	0,060
	27.07.2011	0,070
	19.01.2012	0,120
	26.10.2012	0,180
	21.05.2013	0,180
	20.06.2013	0,130
Nitriți (CMA-0,02 mg/L)	27.06.2011	0,024
	05.02.2012	0,022
	21.12.2012	0,037
	19.02.2013	0,040
	19.08.2013	0,068
Fenoli (CMA-0,001mg/L)	27.01.2011	0,011
	18.08.2011	0,002
	27.10.2011	0,003
	14.03.2012	0,003
	27.07.2012	0,002

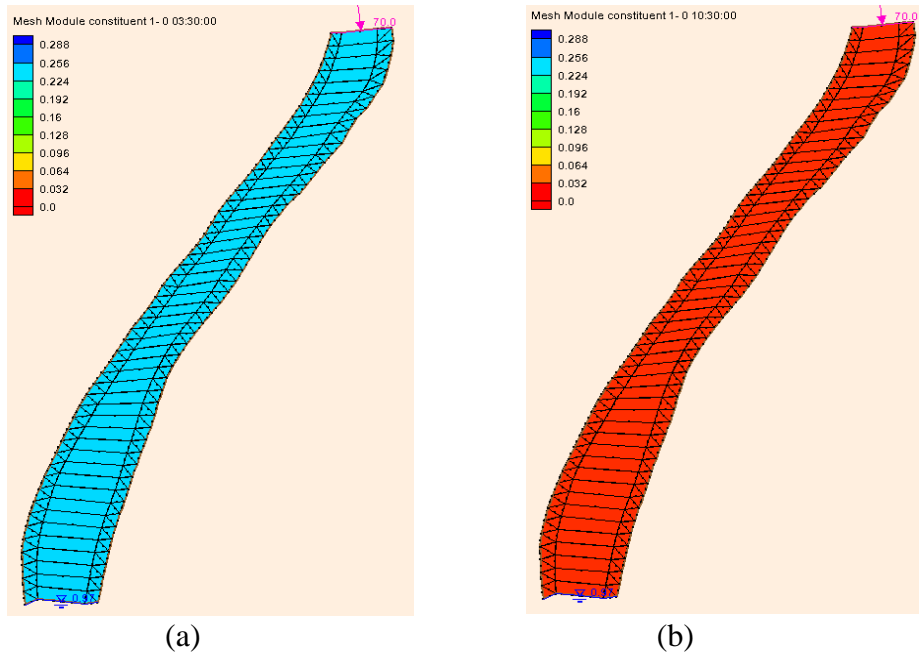


Fig. A3.75. Cîmpul de concentrații peste 3 ore si 30 min (a) respectiv 10 ore si 30 min. (b).

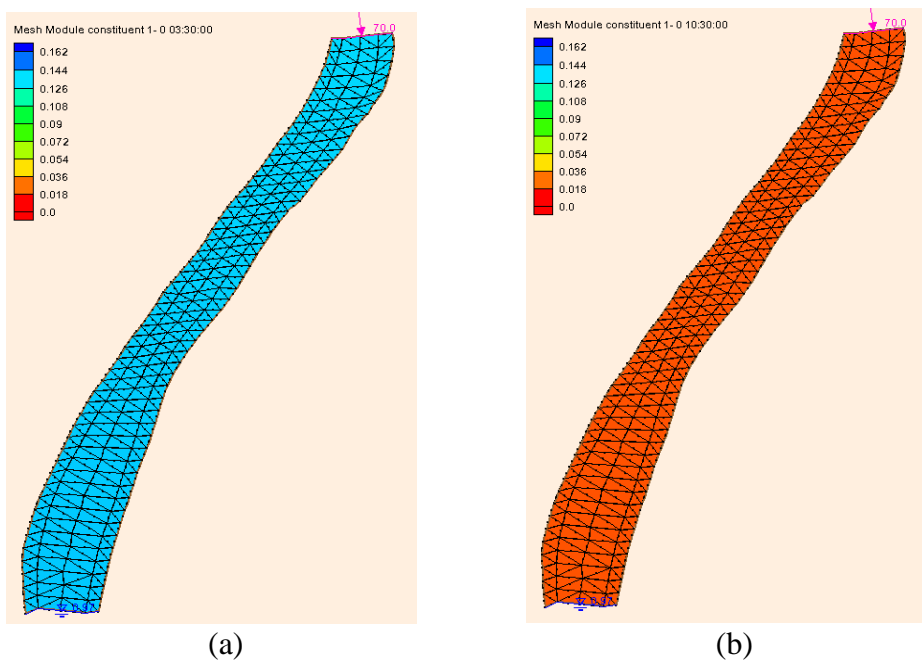


Fig. A3.76. Cîmpul de concentrații peste 3 ore si 30 min (a) respectiv 10 ore si 30 min.(b).

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **26.10.2012**;
- concentrația poluantului: **0,18 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 62 \text{ m}^3 / \text{s}$, în aval – nivel $h = 0,69 \text{ m}$.

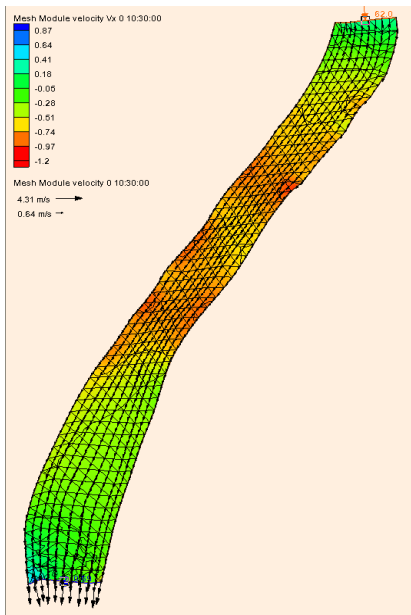
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.77 – A3.79.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.887191
->Maximum	4.864

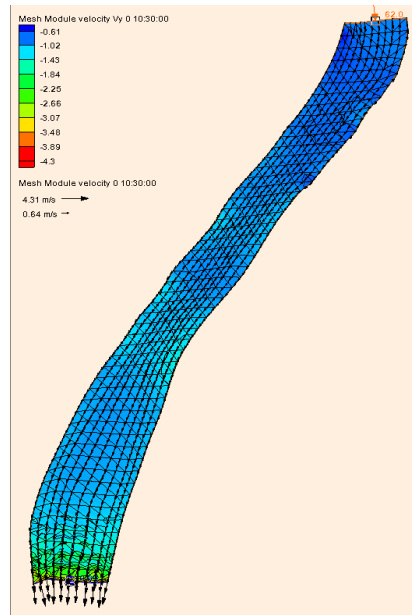
Fig. A3.77. Adîncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.641208
->Maximum	4.30959

Fig. A3.78. Viteza rezultantă.



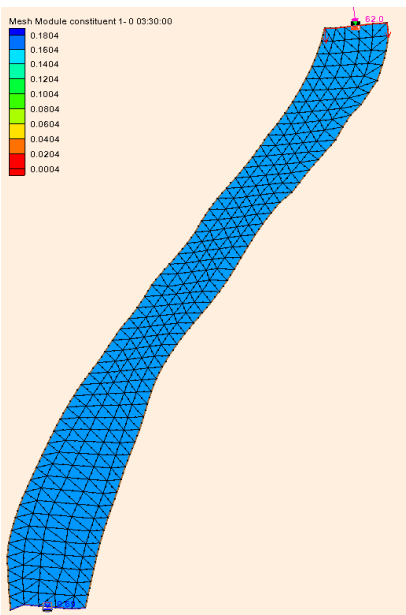
(a)



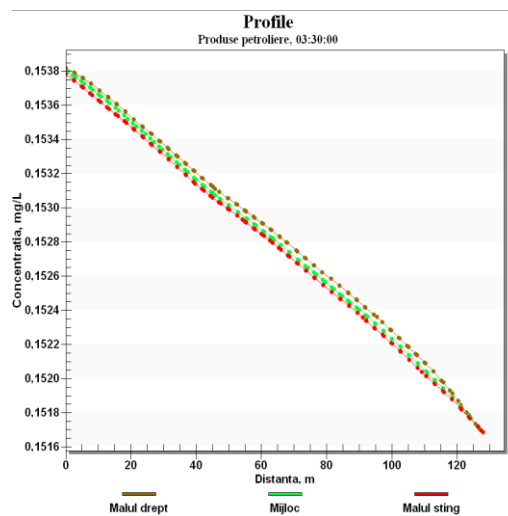
(b)

Fig. A3.79. Cîmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele aplicării programului RMA4 se prezintă în figurile A3.80 – A3.81.

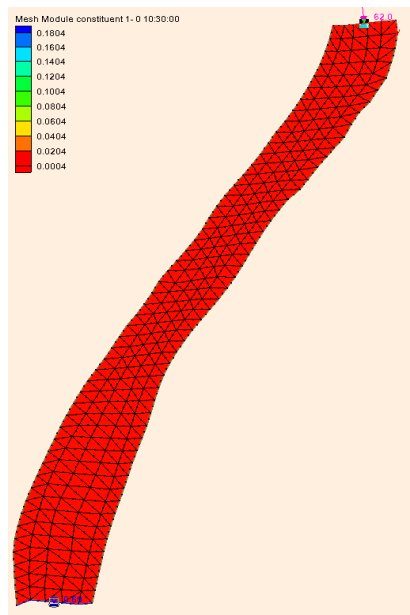


(a)

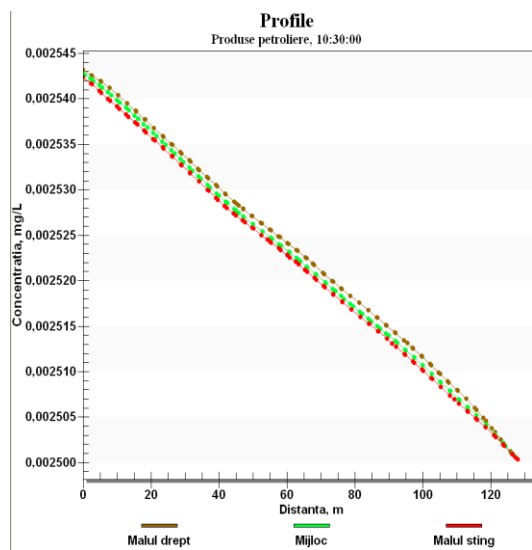


(b)

Fig. A3.80. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3 ore și 30 min.



(a)



(b)

Fig. A3.81. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) peste 10 ore și 30 min.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.82.

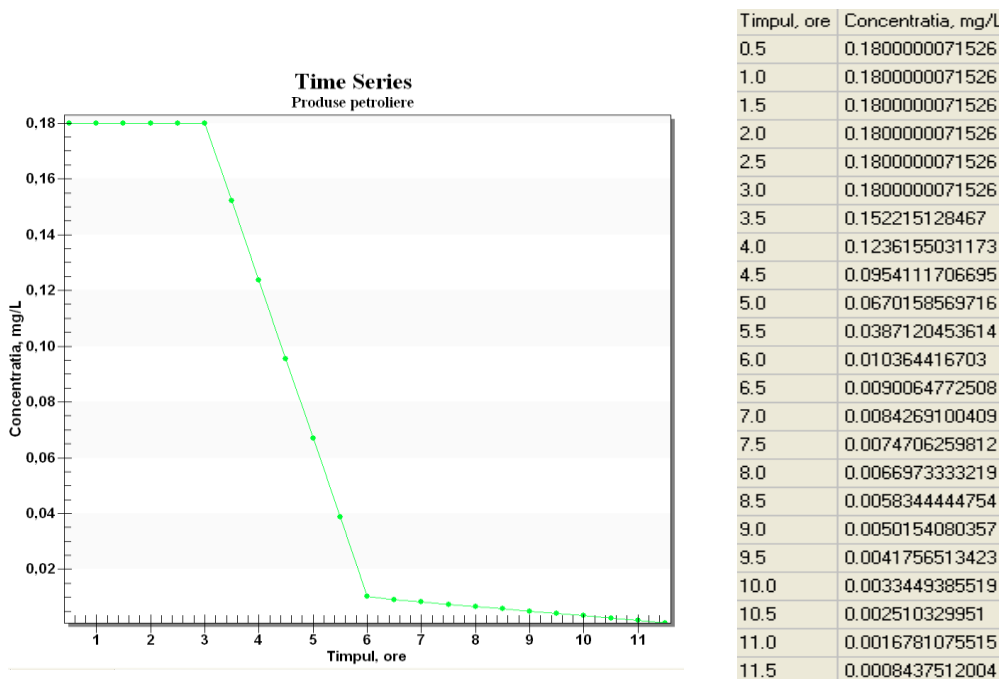


Fig. A3.82. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **21.05.2013**;
- concentrația poluantului: **0,18 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,67 \text{ m}$.

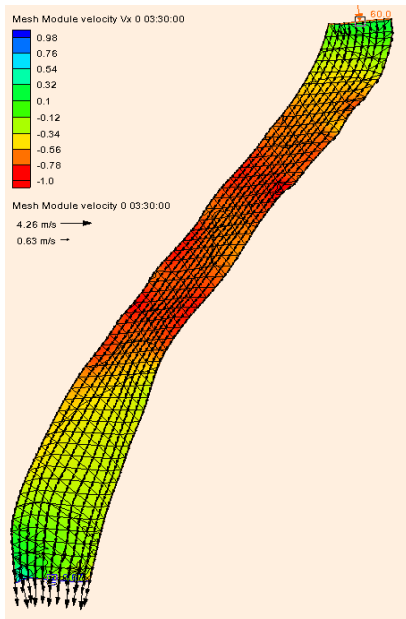
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.83 – A3.85.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.866722
->Maximum	4.78881

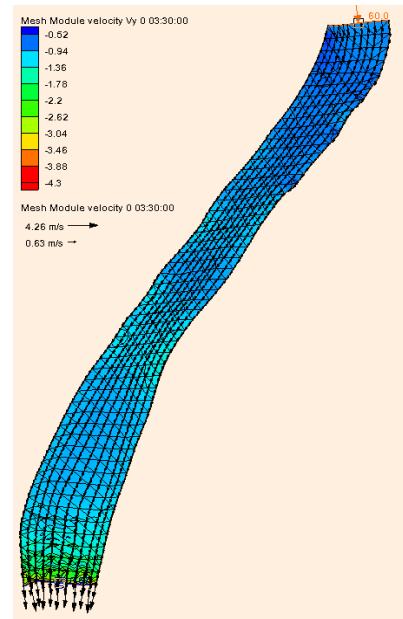
Fig. A3.83. Adîncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.632866
->Maximum	4.26218

Fig. A3.84. Viteza rezultantă.



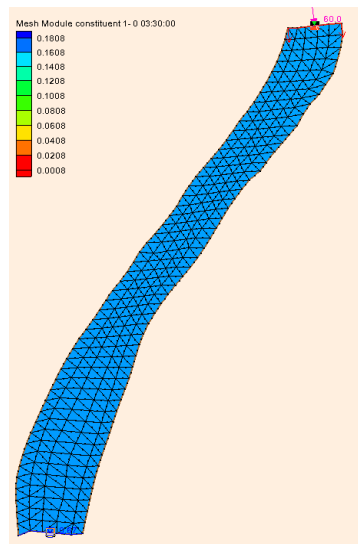
(a)



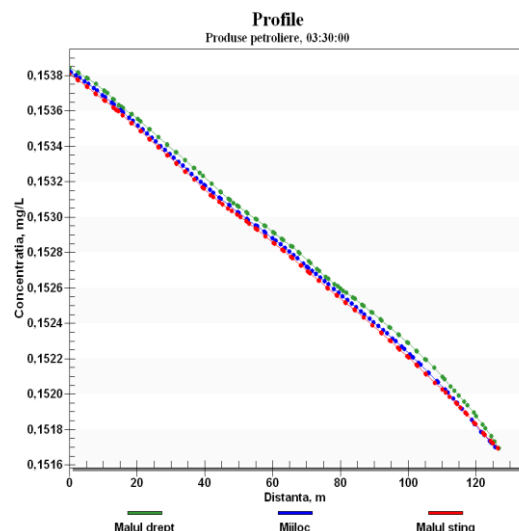
(b)

Fig. A3.85. Cîmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele obținute cu programul RMA4 se prezintă în figurile A3.86 – A3.87.

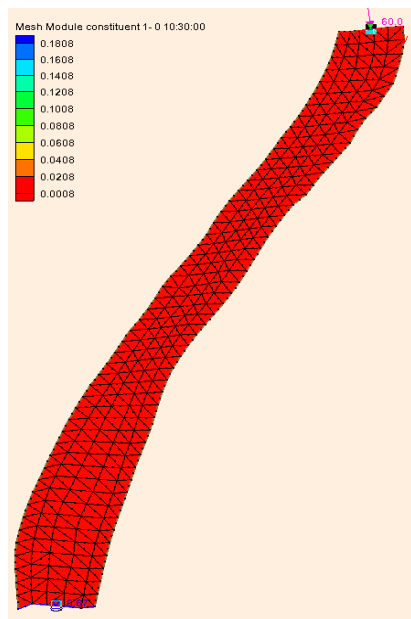


(a)

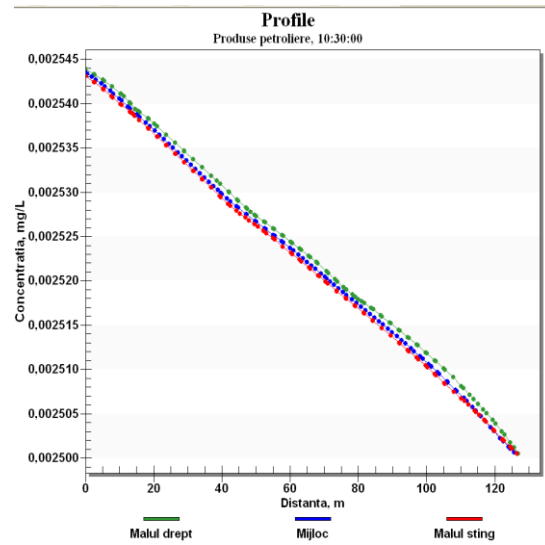


(b)

Fig. A3.86. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3.30 ore.



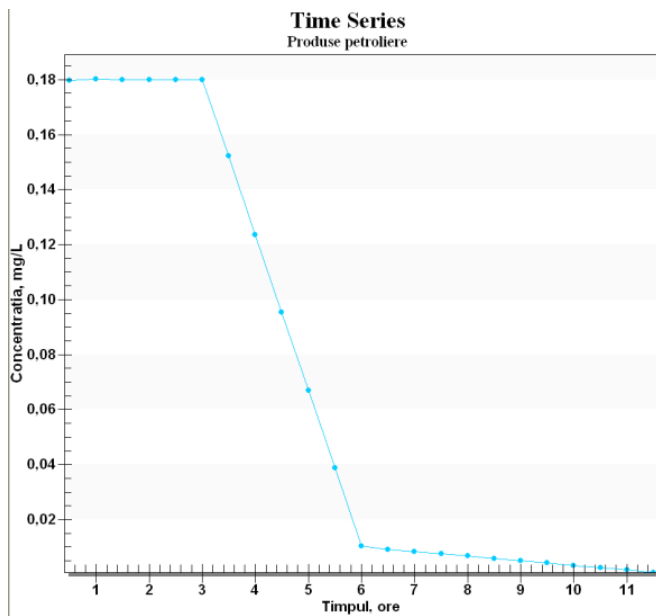
(a)



(b)

Fig. A3.87. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) peste 10 ore și 30 min.

Evoluția temporală a poluantului în punctul de prelevare a probelor (figura A3.88).



Timpul, ore	Concentratia, mg/L
0.5	0.1796041191051
1.0	0.1801917567438
1.5	0.1799071652959
2.0	0.1800449457849
2.5	0.179978249359
3.0	0.180010530173
3.5	0.1522208064268
4.0	0.1236236817254
4.5	0.0954180628565
5.0	0.0670234049823
5.5	0.0387192593445
6.0	0.0103717996789
6.5	0.0090033364802
7.0	0.0084286988257
7.5	0.007470101832
8.0	0.0066978950121
8.5	0.0058344990046
9.0	0.0050156974967
9.5	0.0041758317784
10.0	0.0033451705009
10.5	0.0025105377497
11.0	0.0016783263487
11.5	0.000843965386

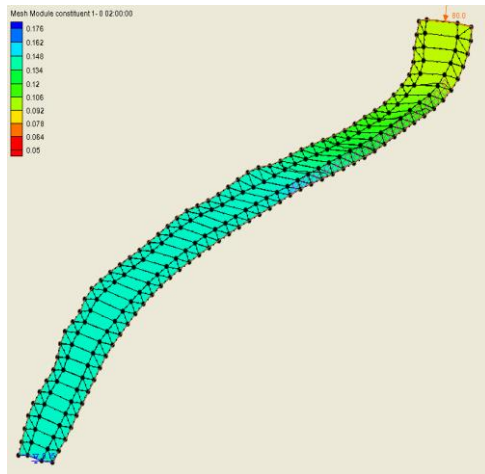
Fig. A3.88. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut						
Selectați sector:						
Sector: or. Cahul		Concentrațiile medii anuale pentru riul Prut or. Cahul				
Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,08	0,06	0,14	0,08	0,08	0,09
Nitrați	1,08	1,36	0,96	1	0,89	1,27
Nitriți	0,016	0,021	0,016	0,011	0,009	0,02
Ca ⁺⁺	46,5	64,59	64,43	68,33	57,86	59,7
CBO5	2,51	2,49	2,34	2,27	2,12	2,08
CCOcr	15,22	15,88	16,1	15,23	17,73	19,68
Cloruri	23,52	34,37	27,93	32,1	33,3	32,28
CO2	1,76	0,29	1,32	0,44	0	0
CO3-	1	1,42	0,75	1,38	1,5	0
Cu ⁺⁺	0,009	0,005	0,001	0,003	0,003	0
Detergenți	0	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Duritatea	3,9	4,89	5	5,3	4,39	4,68
Fe	0,073	0,053	0,097	0,14	0,111	0,07
Fenoli	0	0	0	0,001	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05
Fosfor total	0,08	0,16	0,08	0,08	0,07	0,06
HCO3	189,4	215,86	239,23	240,4	200,13	205,8
Temperatura	14,23	13,19	12,7	12,24	12,74	15
Transparenta	4	7,99	10,53	7	10,25	8,24
Mg ⁺⁺	19,16	20,3	21,66	23	18,26	20,68
Mineralizarea	395,8	491,86	523,04	551,9	453,75	491
Na ⁺⁺ K ⁺	37,99	47,3	53,42	56,89	46,49	58,96
Oxigen	7,67	9,52	8,98	9,63	9,36	9,15
pH	8,06	8,26	7,98	8,39	8,33	8,34
Produse petroliere	0,04	0,02	0,02	0,06	0,06	0,08
Saturatia	73	87,44	81,58	88,33	85,75	89,08
Sulfati	79,18	109,51	116,37	131,04	97,5	132,36
Suspensii	73	110,11	101,67	160,08	53,63	106,4
Zn ⁺⁺	0,004	0,002	0,003	0,011	0,002	0,002

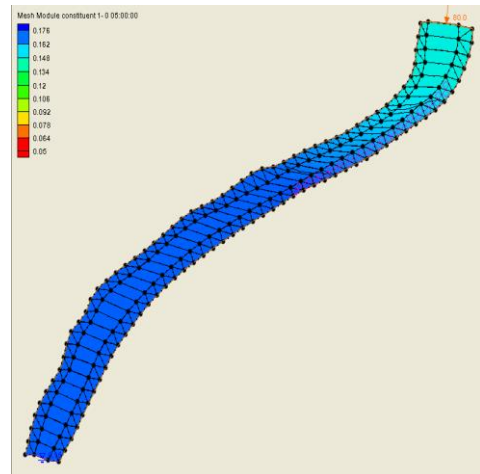
Fig. A3.89. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Tabelul A3.7. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	13.01.2011	0,070
	18.05.2011	0,080
	25.10.2012	0,140
	21.11.2012	0,090
	22.05.2013	0,130
	22.11.2013	0,230
Nitriți (CMA – 0,02 mg/L)	24.03.2011	0,027
	20.02.2013	0,032
Fenoli (CMA – 0,001 mg/L)	29.09.2011	0,041
	19.04.2012	0,002

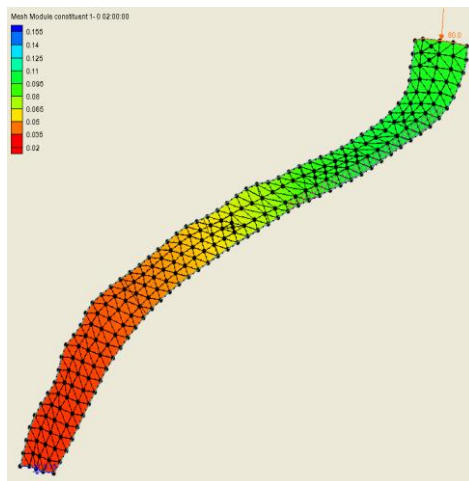


(a)

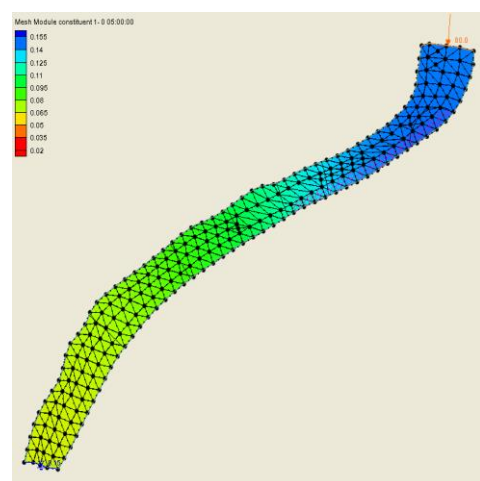


(b)

Fig. A3.90. Cîmpul de concentrații peste 2 ore (a) și 5 ore (b).



(a)



(b)

Fig. A3.91. Cîmpul de concentrații peste 2 ore (a) și 5 ore (b).

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **25.10.2012**;
- concentrația probei prelevate: **0,14 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,65 \text{ m}$.

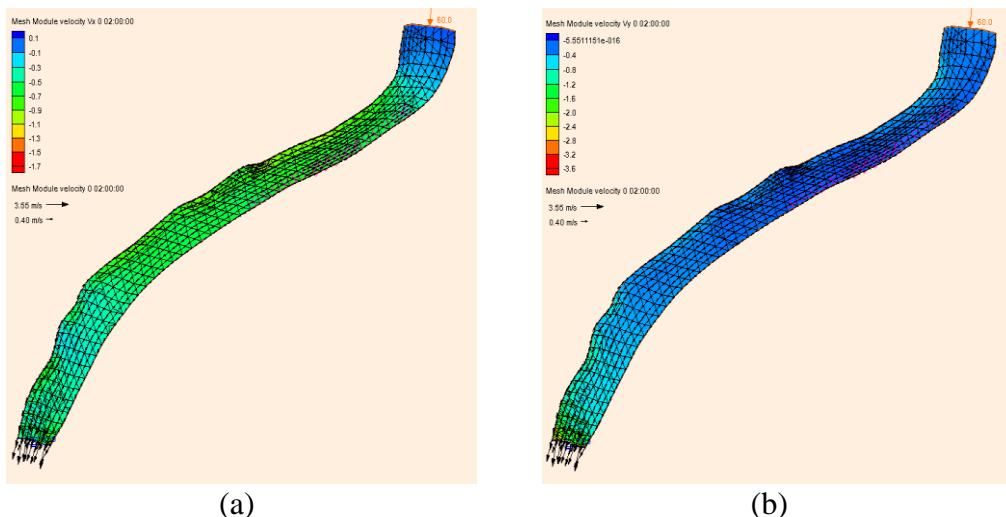
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.92 – A3.94.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.91466
->Maximum	4.96902

Fig. A3.92. Adâncimea apei.

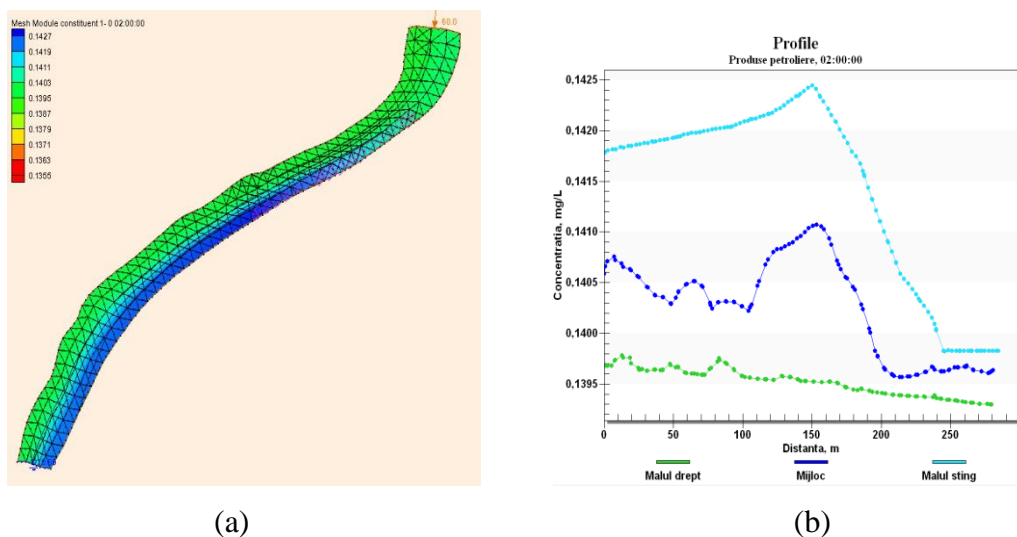
Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.403975
->Maximum	3.55484

Fig. A3.93. Viteza rezultantă.

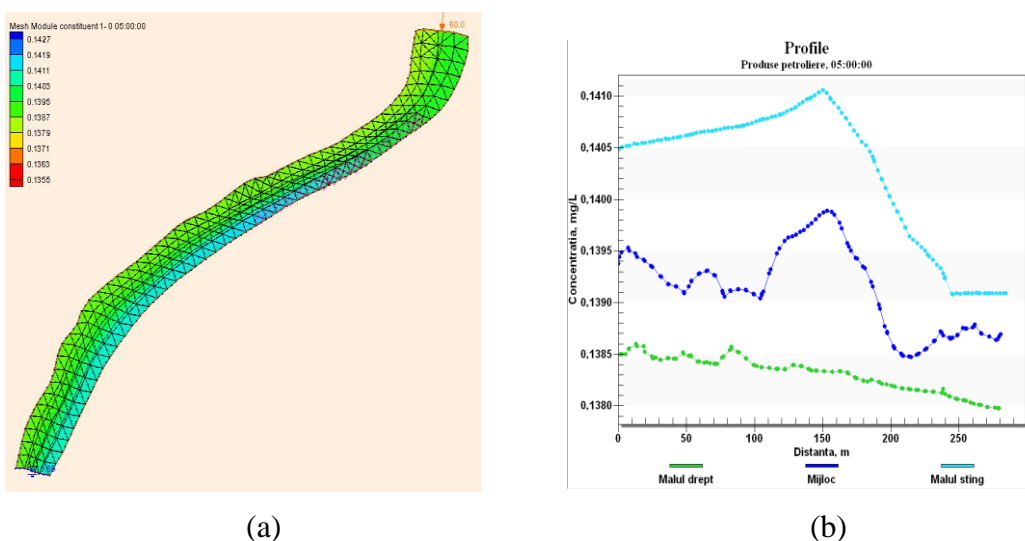


(a) (b)
 Fig. A3.94. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

În continuare a fost aplicat programul RMA4, rezultatele – figurile A3.95 – A3.96.



(a) (b)
 Fig. A3.95. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 2 ore.



(a) (b)
 Fig. A3.96. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 5 ore.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor figura A3.97.

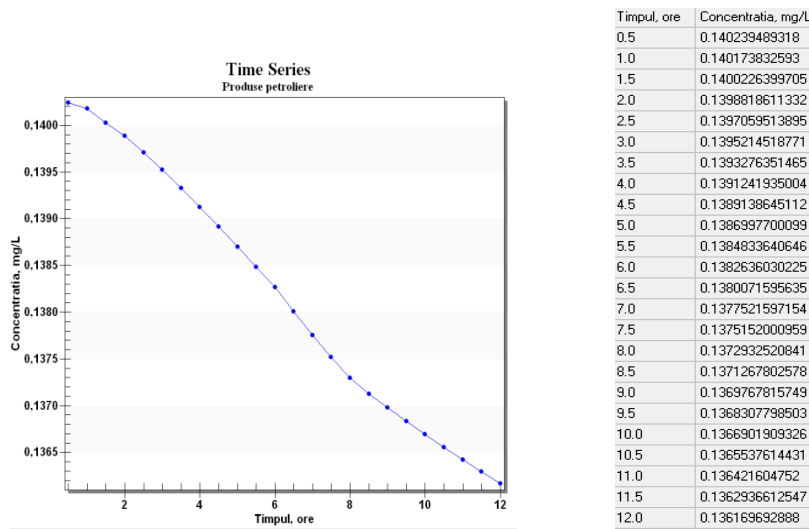


Fig. A3.97. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **22.05.2013**;
- concentrația probei prelevate: **0,13 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 49 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 0,67 \text{ m}$.

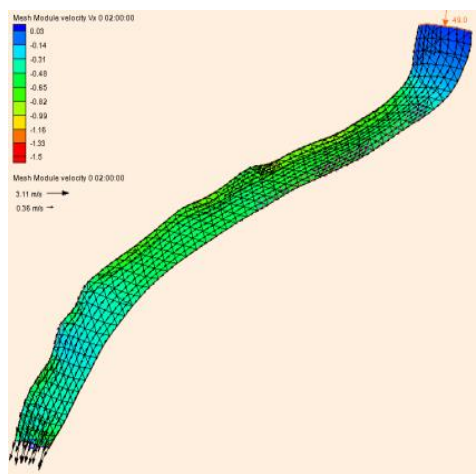
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.98 – A3.100.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.864276
->Maximum	4.52039

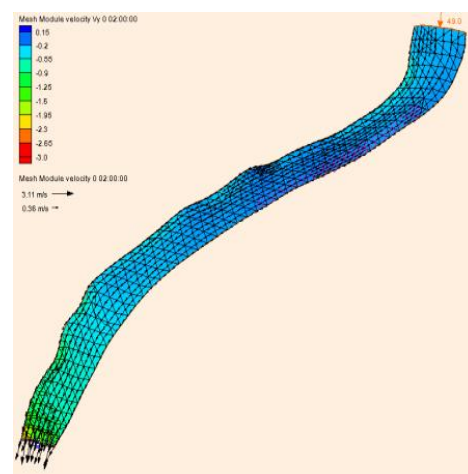
Fig. A3.98. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.362643
->Maximum	3.11223

Fig. A3.99. Viteza rezultantă.



(a)



(b)

Fig. A3.100. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele aplicării programul RMA4 se prezintă în figurile A3.101 – A3.103.

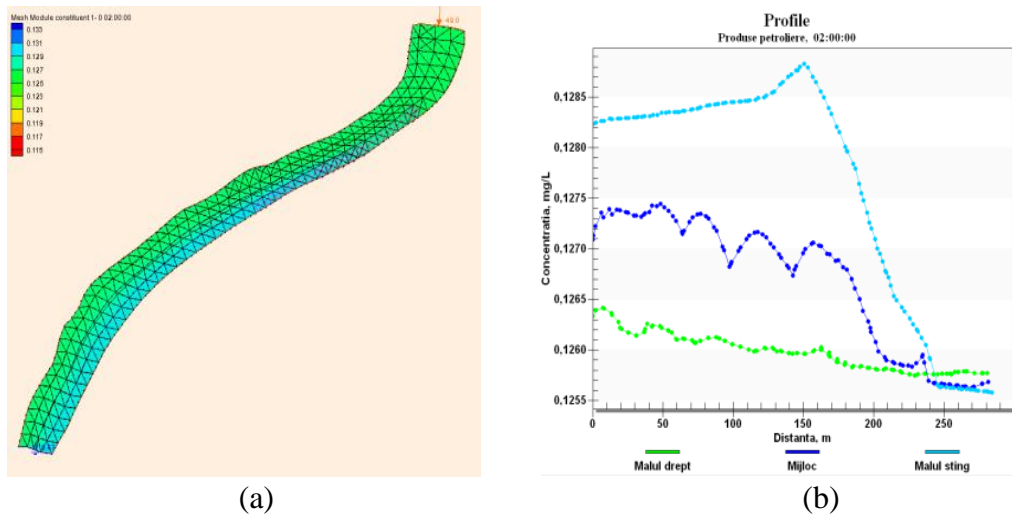


Fig. A3.101. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 2 ore.

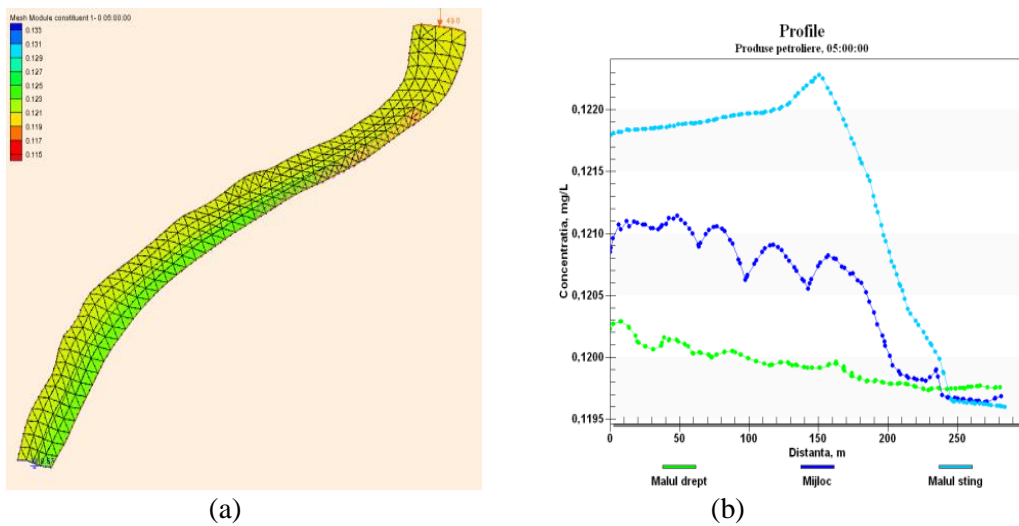


Fig. A3.102. Cîmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 5 ore.

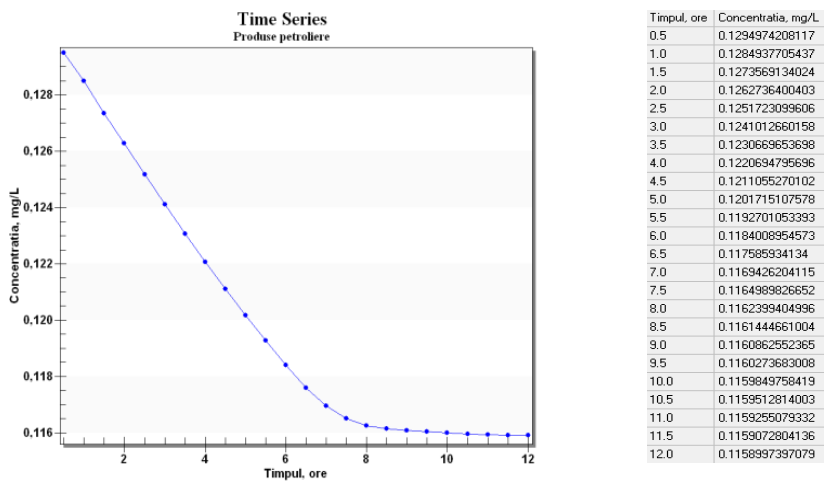


Fig. A3.103. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

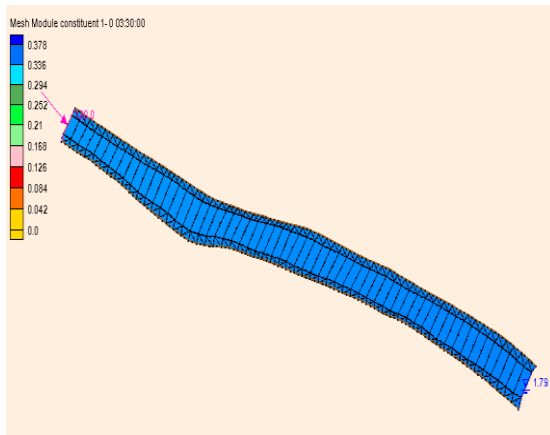
Anexa 3h. Rîul Prut pe sectorul s. Giurgiuleşti

Concentrațiile medii anuale pentru r. Prut						
Selectați sector:		Concentrațiile medii anuale pentru riul Prut s. Giurgiuleşti				
Sector: s. Giurgiuleşti						
Parametri \ Anii	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Azot de amoniu	0,07	0,15	0,07	0,09	0,17	0,09
Nitrați	0,96	1,34	0,77	0,83	0,8	1,26
Nitriți	0,014	0,019	0,018	0,014	0,014	0,02
Ca ⁺⁺	53,21	64,86	63,28	67,23	101,53	60,43
CBO ₅	2,5	2,45	2,26	2,15	2,42	2,26
CCO _{cr}	15,91	18,14	16,93	18,62	16,89	14,83
Cloruri	24,39	34,39	28,81	30,83	32,92	32,21
CO ₂	1,89	0,29	1,32	0,44	0	0
CO ₃ ⁻	1,07	1,33	0,75	1,31	1,5	0
Cu ⁺⁺	0,013	0	0,003	0,002	0,016	0,008
Detergenți	0,01	0,02	0,02	0	0,01	0,01
Duritatea	4,1	4,9	4,82	5,17	4,3	4,62
Fe	0,116	0,044	0,07	0,14	0,103	0,08
Fenoli	0	0	0	0,001	0,001	0,001
Fosfor mineral	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
Fosfor total	0,07	0,11	0,08	0,08	0,08	0,09
HCO ₃	205,11	223,67	236,42	232,92	201	207,33
Temperatura	15,58	13,89	13,37	12,49	12,81	13,97
Transparenta	3,99	6,62	13,05	6,04	10,67	8,9
Mg ⁺⁺	17,52	20,2	20,21	22,1	16,41	19,47
Mineralizarea	427,56	518,89	510,34	539,83	457	502,25
Na ⁺⁺ K ⁺	42,69	55,81	53,19	55,96	49,34	60,05
Oxigen	7,43	9,14	9,69	8,94	9,57	9,51
pH	8,01	8,24	7,97	8,32	8,15	8,25
Produse petroliere	0,03	0,04	0,03	0,06	0,13	0,1
Saturatia	71,3	85,33	92,5	81,42	87,08	89,68
Sulfati	84,76	119,98	108,49	130,8	98,29	130,33
Suspensii	122	82,22	45	84,21	51,17	76,29
Zn ⁺⁺	0,007	0,003	0,005	0,009	0,014	0,003

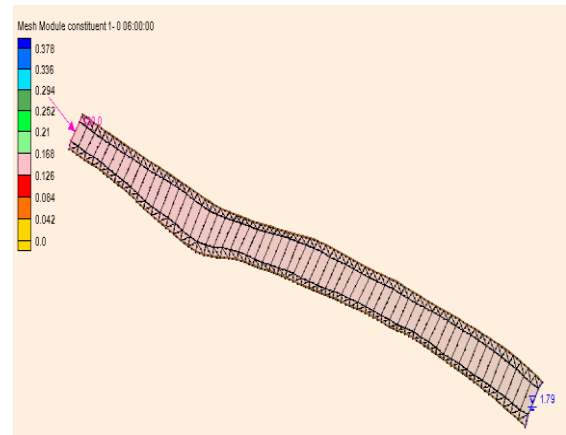
Fig. A3.104. Concentrațiile medii anuale ale parametrilor de calitate a apei.

Tabelul A3.8. Depășiri ale CMA

Poluantul	Data prelevării probei	Concentrația poluantului, mg/L
Produse petroliere (CMA – 0,05 mg/L)	18.05.2011	0,110
	28.07.2011	0,130
	19.01.2012	0,110
	26.09.2012	0,080
	21.11.2012	0,120
	22.05.2013	0,320
	25.07.2013	0,210
Nitriți (CMA-0,02 mg/L)	22.11.2013	0,150
	24.03.2011	0,024
	15.03.2012	0,022
	17.01.2013	0,031
Compușii cuprului (CMA- 0,001 mg/L)	22.05.2013	0,022
	18.05.2011	0,010
Ioni de Amoniu (CMA-0,39 mg/L)	28.07.2011	0,590
	26.07.2012	0,430
Fenoli (CMA-0,001 mg/L)	17.01.2013	0,002
	22.09.2013	0,002

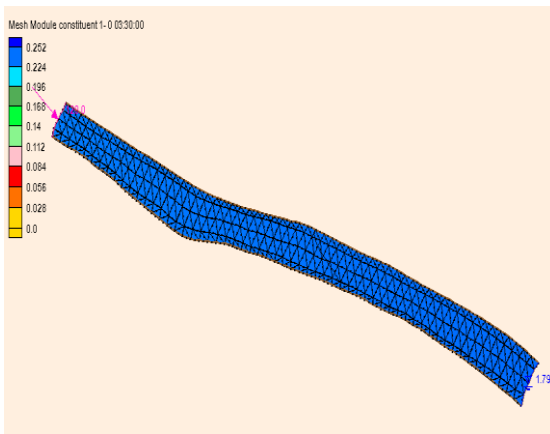


(a)

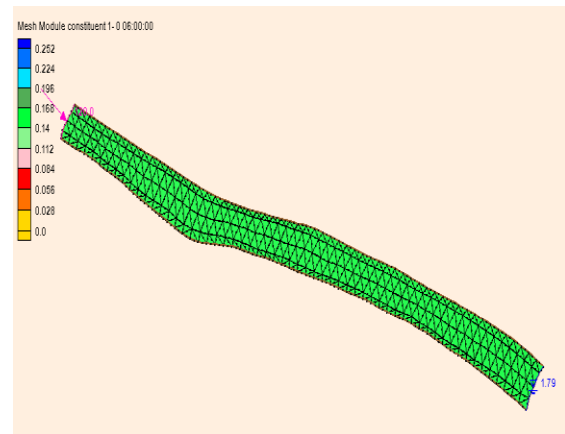


(b)

Fig. A3.105. Cîmpul de concentrații peste 3 ore și 30 min (a) și 6 ore (b).



(a)



(b)

Fig. A3.106. Cîmpul de concentrații peste 3 ore și 30 min (a) și 6 ore (b).

Scenariul simulat cu privire la calibrarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **21.11.2012;**
- concentrația probei prelevate: **0,12 mg/L;**
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 140 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 1,96 \text{ m}$.

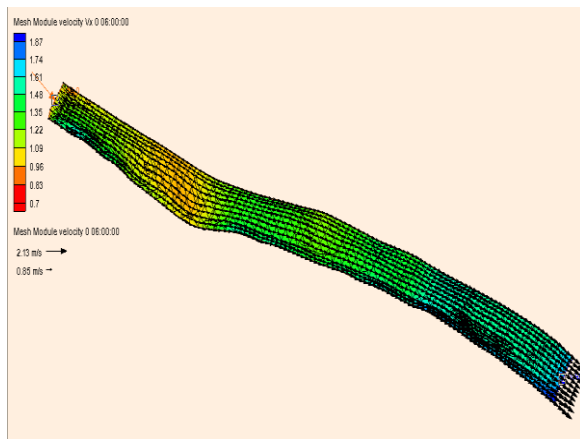
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.107 – A3.109.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	1.95291
->Maximum	4.07968

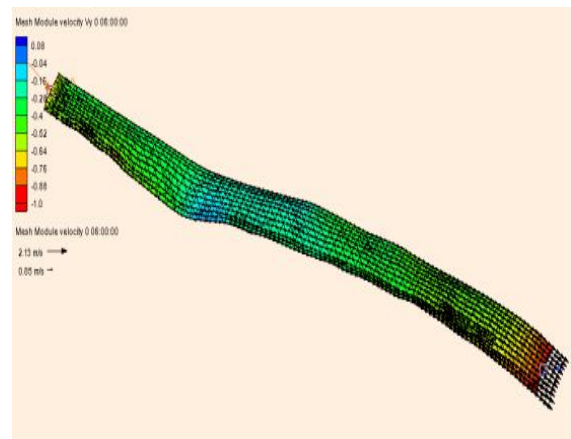
Fig. A3.107. Adîncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.853866
->Maximum	2.12716

Fig. A3.108. Viteza rezultantă.



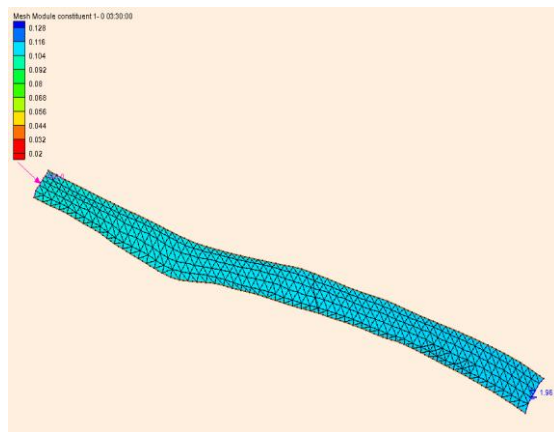
(a)



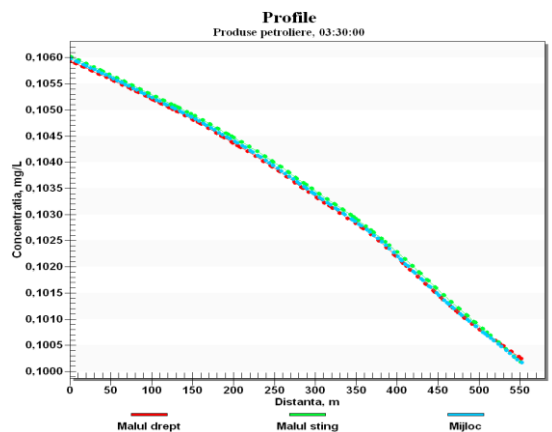
(b)

Fig. A3.109. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

În continuare a fost aplicat programul RMA4, rezultatele se prezintă în figurile A3.110 – A3.111.

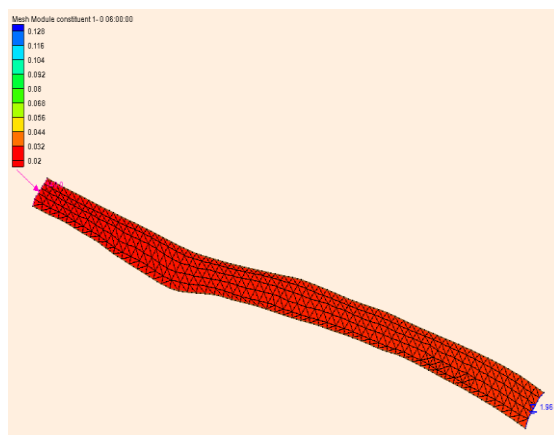


(a)

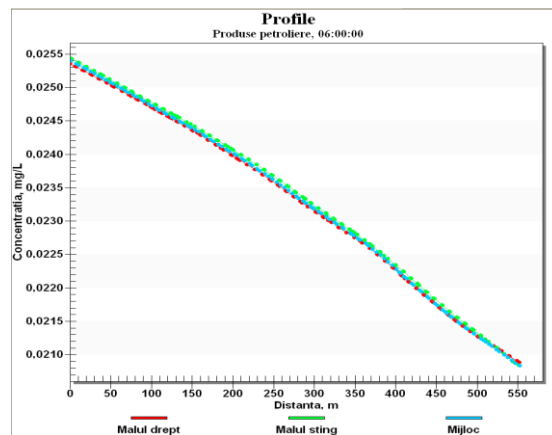


(b)

Fig. A3.110. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 3.30 ore.



(a)



(b)

Fig. A3.111. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.112.

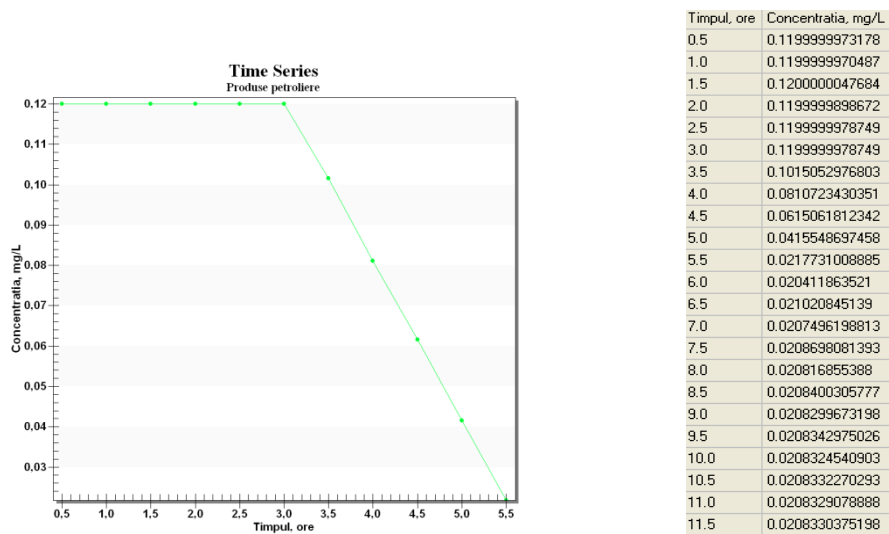


Fig. A3.112. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.

Scenariul simulat cu privire la validarea modelului numeric:

- data prelevării probei: **22.05.2013**;
- concentrația probei prelevate: **0,32 mg/L**;
- condiții la limită: în amonte – debit $Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$, în aval – nivel $h = 2,1\text{m}$.

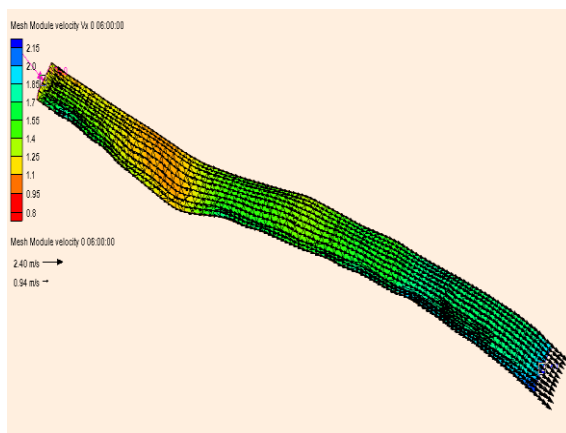
Rezultatele obținute cu ajutorul programului RMA2 se prezintă în figurile A3.113 – A3.115.

Name	water depth
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	2.09168
->Maximum	4.47525

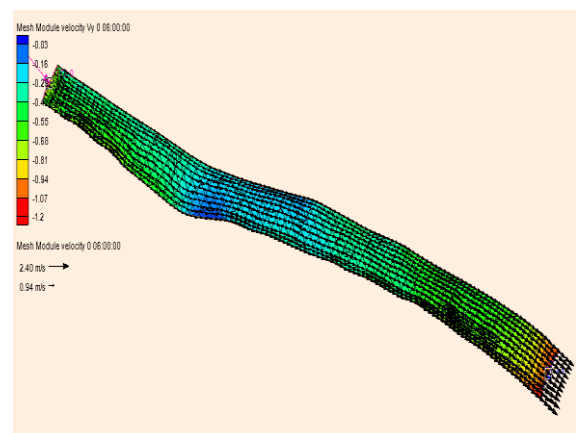
Fig. A3.113. Adâncimea apei.

Name	velocity mag
Number of time steps	25
Beginning time	0 00:00:00
Ending time	0 12:00:00
All time steps	
->Minimum	0.939484
->Maximum	2.40358

Fig. A3.114. Viteza rezultantă.



(a)



(b)

Fig. A3.115. Câmpul vitezelor locale în direcția x (a) și în direcția y (b).

Rezultatele numerice obținute cu programul RMA4se prezintă în figurile A3.116 – A3.117.

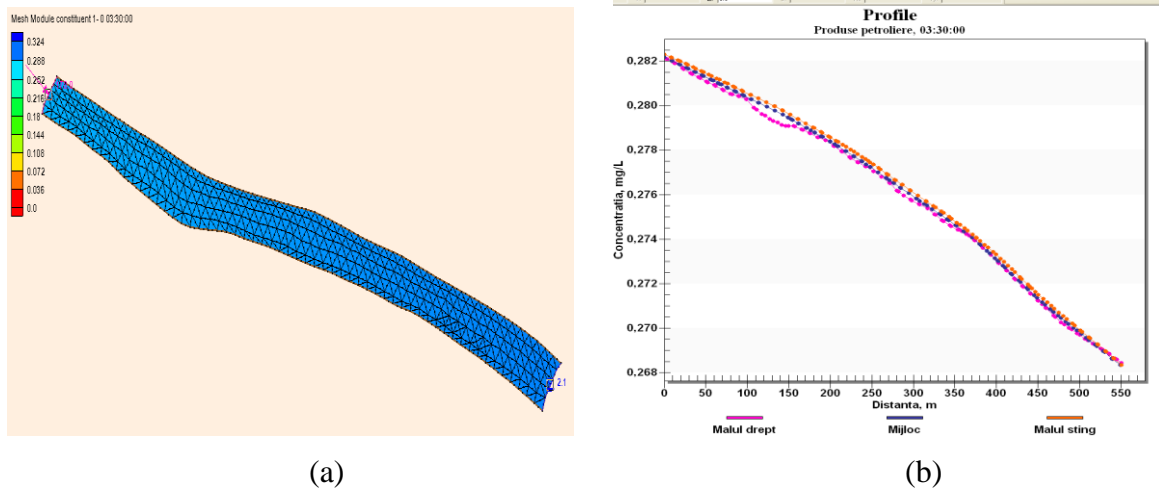


Fig. A3.116. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) peste 3 ore și 30 min.

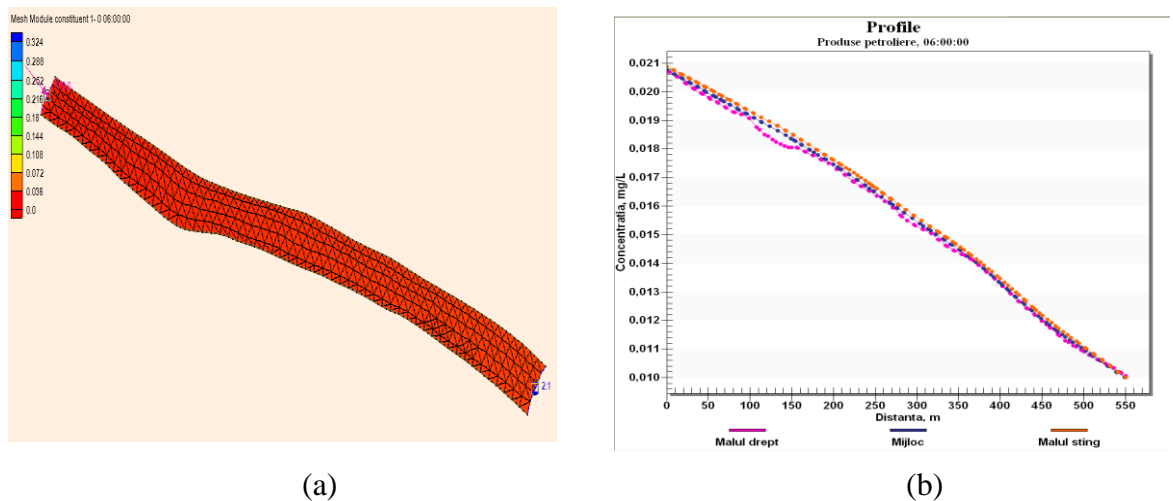


Fig. A3.117. Câmpul de concentrații (a) și reprezentarea grafică (b) a concentrației peste 6 ore.

Concentrația poluantului în punctul de prelevare a probelor se prezintă în figura A3.118.

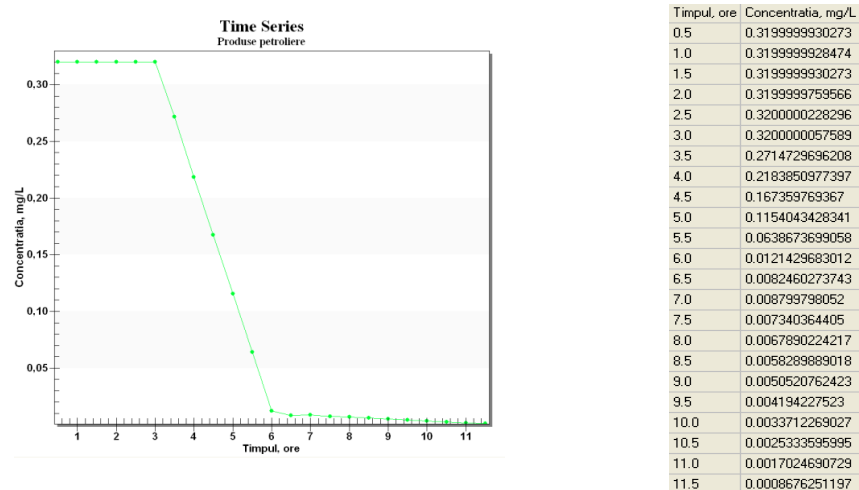


Fig. A3.118. Evoluția temporală a concentrației poluantului în punctul de prelevare a probelor.



RO-BOPI 6/2014, din 30.06.2014 G01P

(11) 129605 A2

(11) 129606 A2

Fig. 1

(11) 129606 A2
 intrările analogice următorii senzori: un senzor (SN) de nivel, un senzor (SpH) de pH și un senzor (SC) de conductivitate, iar la intrările digitale are conectați: un senzor (SG) de gaz, un senzor (TUR) de turbiditate și un senzor (ST) de temperatură, în timp ce la ieșirile digitale vor fi prevăzute niște motoare ce acționează o valvă (VAR) de alimentare rețea și o valvă (VGR) de golire rețea, prin intermediul plăcii de achiziții date (PAD) fiind transmise informații către un server (PCS) pe care rulează un program de monitorizare a calității apei potabile.

Revendicări: 2
 Figuri: 3

Fig. 1

(11) 129606 A2 (51) G01N 33/18 (2006.01); G08F 17/40 (2006.01); (21) a 2012 00922 (23) 02.12.2012 (41) 30.06.2014/02014 (71) UNIVERSITATEA "ȘTEFAN CEL MARE" DIN SUCEAVA, STR. UNIVERSITĂȚII NR. 13, SUCEAVA, SV, RO (72) CIUFUDEAN CALIN HORĂȚIU, STR. ȘTEFAN CEL MARE NR. 4, BL. 6, SC. A, AP. 4, VATRĂ DORNEI, SV, RO; BUZUGA CORNELIU, STR. FULTEI NR. 520, VICOVU DE SUS, SV, RO; PILOTE CONSTANTIN, B.D. GEORGE ENESCU NR. 12, BL. BELVEDERE, SC. D, AP. 17, SUCEAVA, SV, RO; PAȚA SERGIU DAN, STR. MIHAIL SADOVEANU NR. 5, SC. C, ET. 4, AP. 15, SUCEAVA, SV, RO; ORHEI LIVIU GABRIEL, SAT CRUCEA, COMUNA CRUCEA, SV, RO; TORAC-MITRIC ABEL LUCIAN, STR. LUNCII NR. 82, RĂDĂUȚI, SV, RO; MARUȘIC GALINA, STR. STUDENȚILOR NR. 3, BL. 1, AP. 310, CHIȘINĂU, MD (54) SISTEM DE MONITORIZARE A CALITĂȚII APEI POTABILE

(57) Invenția se referă la un sistem automat de monitorizare a calității apei potabile, ce presupune verificarea unor parametri cum ar fi: pH, conductibilitate electrică, turbiditate, temperatură, nivel, miros și consum, în mod automat, continuu și în timp real. Sistemul conform invenției este constituit dintr-o placă de achiziții date (PAD), ce are conectați la

(11) 129607 A2 (51) G01P 13/00 (2006.01) (21) a 2012 00858 (22) 22.11.2012 (41) 30.06.2014/02014 (71) FLOW METER S.R.L., BD. METALURGIEI NR. 4, CLĂDIREA 20/2, PARTER, IAȘI, IS, RO (72) HĂGAN MARIUS GHEORGHE, SAT VĂLENI ȘOMCUTEI NR. 162, ȘOMCUTA MARE, MM, RO; FRIEDMANN ILIE, SPLAI BĂHLUI 24, BL. C1, SC. E, AP. 3, IAȘI, IS, RO (54) SENZOR DE PRESIUNE DINAMICĂ DIFERENȚIALĂ

(57) Invenția se referă la un senzor de presiune dinamică, diferențială, pentru măsurarea vitezei de deplasare a unui fluid într-o conductă sau într-un spațiu deschis, și a presiunii statice exercitate de acesta. Senzorul conform invenției este alcătuit dintr-o membrană (4) sferică, elastică, în interiorul căreia sunt inserate niște armături mobile și, respectiv, fixe, care formează niște capacități (CV1...CV6) variabile, ale căror valori sunt în funcție de presiunea dinamică a mediului în care este amplasat senzorul, iar presiunea statică este măsurată cu ajutorul unor senzori (6a...6c) compensatori de presiune, valorile capacităților fiind convertite în numere, prin intermediul unor convertitoare (14) capacitate-număr, membrana (4) devenind plutoare în atmosferă, dacă este umplută cu un gaz mai ușor decât aerul, în acest mod

67

Aprob

Director Serviciului Hidrometeorologic de Stat

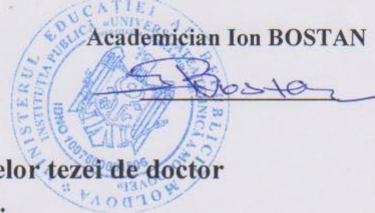
Dr. Anatolie PETUNȚICĂ



Aprob

Rector Universității Tehnice a Moldovei

Academician Ion BOSTAN



Act

**Cu privire la implementarea rezultatelor tezei de doctor
a dnei Galina Marusic**

Comisia mixtă formată din reprezentanții *Serviciului Hidrometeorologic de Stat*: prim-vice-direc-tor **Svetlana Știrbu**, vice-direc-tor **Mazur Alexandru** și reprezentanții UTM: pro-rector cercetare științifică dr. hab., prof. univ. **Valerian Dorogan**, șef depart-ment Cercetare Științifică dr., conf. univ. **Sergiu Zaporojan** au întocmit prezentul act care confirmă că rezultatele tezei de doctor *Modelarea evoluției spațio-temporale a caracteristicilor ecosistemelor acvatice de tip rîu în vederea optimizării parametrilor calității apelor* au fost aplicate la determinarea calității apei în activitatea *Serviciului Hidrometeorologic de Stat* prin următoarele contribuții:

1. Elaborarea aplicației în limbajul de programare *Java* cu posibilitatea de vizualizare a gradului de calitate a apei rîului Prut și a sectoarelor studiate din localitățile s. Criva, s. Șirăuți, s. Braniște, or. Ungheni, s. Valea Mare, or. Leova, or. Cahul, s. Giurgiulești, reeșind din valorile IPA medii anuale pentru perioada 2009 - 2013.
2. Crearea bazei de date și completarea ei cu informații referitoare la valorile concentrațiilor medii anuale ale parametrilor de calitate a apei în sectoarele menționate pentru perioada 2008-2013, precum și cu depășiri ale CMA pe parcursul anilor 2011, 2012 și 2013.
3. Elaborarea rețelei de calcul și generarea modelelor numerice cu privire la determinarea hidrodinamicii și evoluției spațio-temporale a transportului și dispersiei poluanților pentru sectoarele menționate.
4. Implementarea rezultatelor științifice obținute în scopul determinării transportului și dispersiei poluanților în sectorul rîului Prut din localitatea s. Criva pe data de 06.05.2014, precum și în sectorul rîului Prut din localitatea or. Ungheni pe data de 15.05.2014 pentru modelarea numerică a transportului și dispersiei produselor petroliere și a fenolilor.

Utilizarea rezultatelor menționate permite determinarea corectă a gradului de calitate a apei în toate punctele finite ale sectorului modelat și, prin urmare, prevenirea situațiilor excepționale de poluare a apei.

Membrii comisiei: Prim-vice-direc-tor

Vice-direc-tor

Pro-rector cercetare științifică UTM

Șef depart-ment Cercetare Științifică

Svetlana Știrbu

Mazur Alexandru

dr. hab., prof. univ. Valerian Dorogan

dr., conf. univ. Sergiu Zaporojan



S.C. „Software și Sisteme Informatic - Bucovina” S.A.

Suceava, str. Nicolae Bălcescu, nr. 1, cod poștal 720066

tel./ fax 0230-523810, tel. 0722-387525, 0744-774858

CUI RO11672880; J33 / 122 / 1999

e-mail: office@ssi-bucovina.ro, website: www.ssi-bucovina.ro



Aprob

Director S.C. Software și Sisteme Informatic Bucovina S.A., România

Beatrice ȘTEFĂNESCU



ACT

de implementare a rezultatelor științifice ale tezei de doctor

Prin prezentul act se certifică faptul că rezultatele tezei de doctor „Modelarea evoluției spațio-temporale a caracteristicilor ecosistemelor acvatice de tip râu în vederea optimizării parametrilor calității apelor”, elaborată de către dna Galina MARUSIC, membru echipei de proiect “Parteneriat științific Republica Moldova - România în vederea dezvoltării unor soluții inovative de monitorizare a evoluției spațio-temporale a sistemelor de tip „râu”, din cadrul Programului de colaborare bilaterală între Academia de Științe a Moldovei și Autoritatea Națională pentru Cercetare Științifică din România (ANCS) , perioada de desfășurare 2010-2012, au fost puse în practică în cadrul S.C. Software și Sisteme Informatic Bucovina S.A., România, în scopul cercetărilor științifice cu privire la studiul evoluției spațio-temporale a hidrodinamicii și dispersiei poluanților în sistemele de tip “râu”, în special, în sectorul râului Suceava din municipiul Suceava, România. Rezultatele obținute în urma cercetărilor se propun periodic autorităților din cadrul Sistemelor Județene de Gospodărire a Apelor din România, pentru determinarea corectă a parametrilor apei și inițierea măsurilor necesare cu privire la asigurarea calității acesteia.



ADMINISTRAȚIA NAȚIONALĂ
„APELE ROMÂNE”
ADMINISTRAȚIA BAZINALĂ DE APĂ



PRUT-BÂRLAD

Str. Th. Vascauteanu Nr.10 Iasi Tel: 0232-218192 Fax: 0232-213884

dispecer@dap.rowater.ro <http://www.apeprut.ro> <http://www.rowater.ro/daprut>

A.N. "APELE ROMÂNE"	
ADMINISTRAȚIA BAZINALĂ DE APĂ	
PRUT-BÂRLAD	
Str. Th. Văscăuteanu nr. 10, Iași, cod 700462	
Nr. înreg. INTRARE/IESIRE	7774
Date	06.05.2015

ADEVERINȚĂ

de implementare a rezultatelor științifice ale tezei de doctorat

Prin prezentul act se confirmă că rezultatele tezei de doctorat *“Modelarea evoluției spațio-temporale a caracteristicilor ecosistemelor acvatice de tip râu în vederea optimizării parametrilor calității apelor”*, elaborate de către doamna Galina Marusic, doctorand în anul IV la Universitatea Tehnică a Moldovei, au fost comunicate Administrației Bazinale de Apă Prut-Bârlad.

Rezultatele obținute prin acest studiu ar putea permite evaluarea calității apei cu o acuratețe mai mare, și optimizarea parametrilor calității apei.

Director,

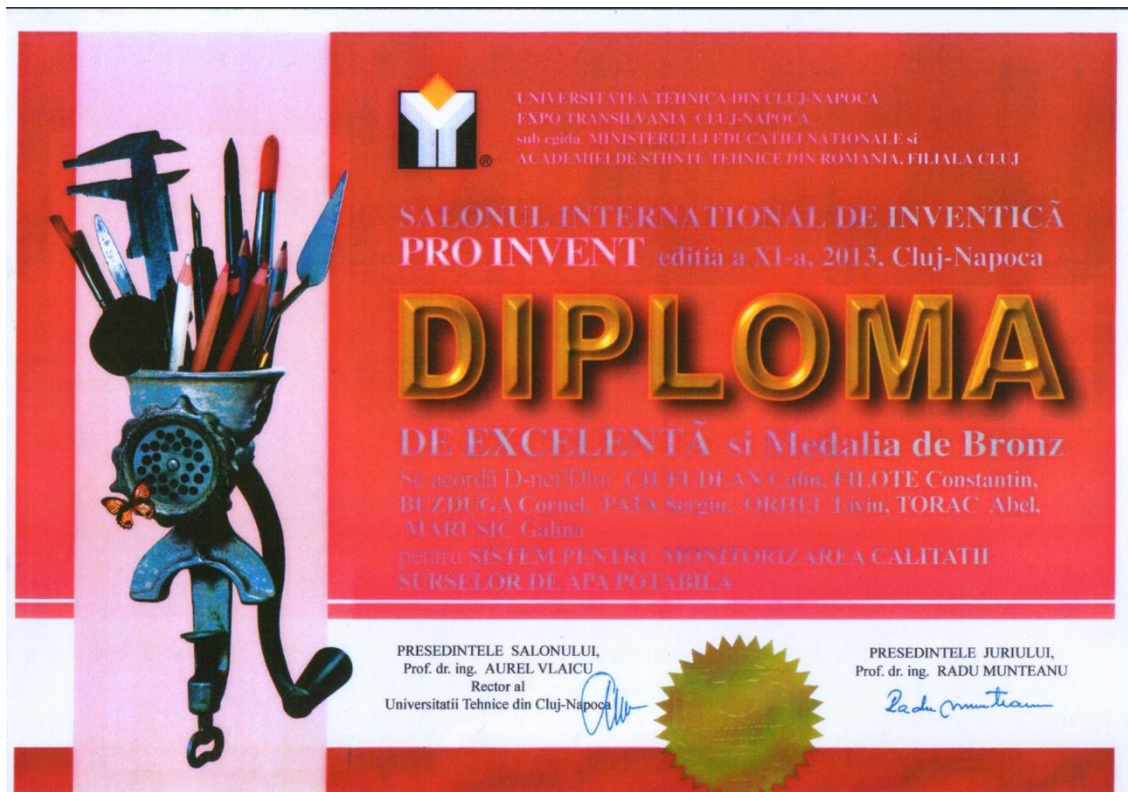
ing. Corneliu Crețu



Purtător de cuvânt,

Dan Buruiană

Anexa 6. Aprecierea rezultatelor cercetărilor științifice



Medalie de bronz, Pro Invent, 2013



Medalie de bronz, EuroInvent, 2013e

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnata, declar pe proprie răspundere că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice, în caz contrar urmând să suport consecințele, în conformitate cu legislația în vigoare.

Marusic Galina

Semnătura



Data: 04.05.2015

CURRICULUM VITAE

Date personale

Nume și Prenume: MARUSIC GALINA

Data și locul nașterii: 02.03.1970,
s. Făgădău, r. Fălești,
Republica Moldova;

Situația familială: căsătorită, doi copii



Studii: Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău (1988-1993);
Universitatea Tehnică a Moldovei (2003-2004);
Universitatea Tehnică a Moldovei (2010-2014).

Formarea profesională:

1993 – diplomă de licență, specializarea “Fizică”, facultatea de fizică, Universitatea de Stat din Moldova.

2004 – diplomă de masterat, specializarea “Tehnologii Informaționale”, Universitatea Tehnică a Moldovei.

2010 – 2014 – studii de doctorat, specialitatea 01.05.04 „Modelare matematică, metode matematice, produse program”, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Activitatea profesională și administrativă:

1993-1995 – Profesor de informatică și fizică, școala Nr. 33, Chișinău.

2001-2002 – Lector asistent, catedra *Tehnologii Informaționale*, UTM.

2002 – 2014 - Lector superior, catedra *Automatică și Tehnologii Informaționale*, UTM.

2010 - Lector superior, catedra *Informatica Aplicată*, UTM.

2008 – 2011 - Șef adjunct al catedrei *Automatică și Tehnologii Informaționale*, UTM.

2011 - Șef Doctorantură UTM.

Cursuri univesitare ținute:

Metode numerice, Matematica Discretă, Proiectarea Sistemelor Informaționale, Limbaje Formale și Proiectarea Compilatoarelor, Programarea Calculatoarelor, Structuri de Date și Algoritmi, Programarea în Limbajul C++.

Domeniile de activitate științifică:

Modelare matematică și numerică, Dinamica computațională a dinamicii fluidelor, Tehnologii de programare.

Participări în proiecte internaționale și naționale:

Proiect bilateral „Parteneriat științific Republica Moldova - România în vederea dezvoltării unor soluții inovative de monitorizare a evoluției spațio-temporale a sistemelor de tip „râu”, perioada de desfășurare 2010-2012.

Cunoașterea limbilor:

Română, Engleză, Rusă.

Date de contact

Telefon: (373 22) 23-54-48

Tel. mob. (373 79) 69-53-81

e-mail: galinamarusic@yahoo.com