



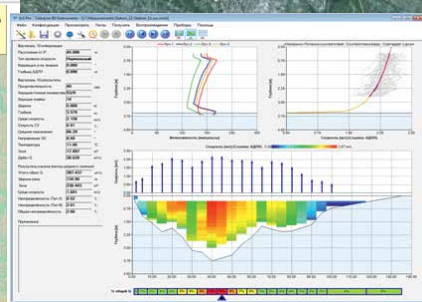
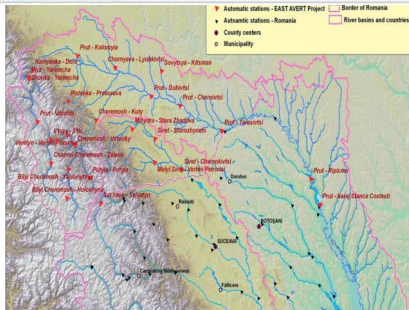
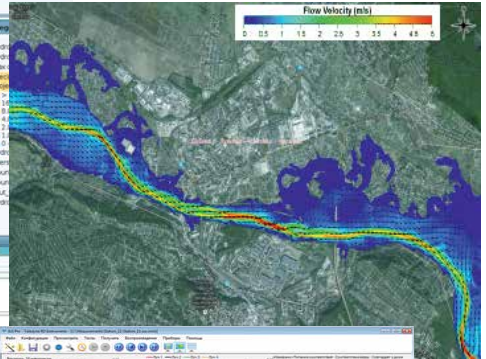
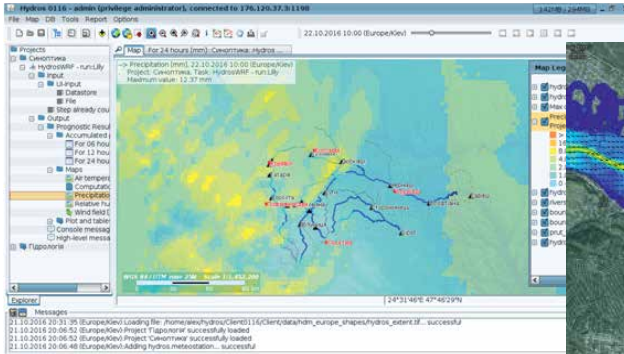
This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION



Integrated Flood Forecasting and Warning System EAST-AVERT

Sistemul integrat de Prognoză și Avertizare a Viiturilor EAST-AVERT

Ref: The trilateral project *“The prevention and protection against floods in the upper Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT”*,

cod 966, funded by the Joint Operational Programme
Romania - Ukraine - Republic of Moldova,
European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI)

Common borders. Common solutions

The content of the present publication was realized within the Project EAST AVERT MIS ETC 966 implementation by the technical project partners experts under the coordination of Mr. Marius Matreata, PhD.

Conținutul prezentei publicații a fost realizat în cadrul implementării Proiectului EAST AVERT MIS ETC 966 de către experții tehnici ai partenerilor de proiect sub coordonarea dlui Dr. Marius Mătreată.



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

CONTENT

1. Introduction
2. EAST-AVERT Integrated Flood Forecasting and Warning System
3. Models chain for short term, high spatial and temporal resolution Flood Forecasting developed for the Prut and Siret River basins in Ukraine
4. Meteorological Forecasting System based on the Numerical Weather Prediction Model WRF
5. Hydrological Rainfall-Runoff Model TOPKAPI-UKRAINE
6. One Dimensional Hydrodynamic Model RIVTOX
7. Historical hydro-meteorological data for model calibration
8. Input GIS maps for distributed hydrological model setup
9. Measured crosssections of Prut and Siret river
10. Simulations of catastrophic flood of 2008
11. Description of forecasting system workflow
12. 2D Hydraulic model COASTOX-UN
13. Tuning of the model on observation results (2008, 2010 floods)
14. HYDROS – the software system integrating the modelling modules of the forecasting system and providing the user interfaces
15. Interface of 2D model COASTOX implemented for the modelling of “high flood risk areas”
16. The medium term hydrological rainfall-runoff modeling system for upper Siret and Prut River Basin
17. HEC-RAS routing model for Prut River, downstream the entrance in Romania
18. Conclusions

CONȚINUT

1. Introducere
2. Sistemul integrat de prognoză și de avertizare a inundațiilor EAST-AVERT
3. Ansamblul de modele pentru prognoza pe termen scurt a inundațiilor, la înalta rezoluție spațială și temporală, dezvoltate pentru bazinele hidrografice Prut și Siret din Ucraina
4. Sistem de prognoză meteorologică bazat pe modelul WRF de prognoză meteorologică numerică
5. Modelul ploaie-scurgere TOPKAPI-UCRAINA
6. Modelul hidrodinamic unidimensional RIVTOX
7. Date istorice hidrometeorologice pentru calibrarea modelului
8. Date GIS pentru configurarea modelului hidrologic distribuit
9. Secțiunile transversale măsurate ale râurilor Prut și Siret
10. Simulările inundațiilor catastrofale din 2008
11. Descrierea fluxului de lucru al sistemului de prognoză
12. Modelul hidraulic 2D COASTOX-UN
13. Ajustarea modelului pe baza datelor observate (inundațiile din 2008, 2010)
14. HYDROS - sistemul software care integrează modulele de modelare ale sistemului de prognoză și furnizează interfețele cu utilizatorii
15. Interfața modelului 2D al COASTOX implementată pentru modelarea „zonelor cu risc crescut de inundații”
16. Sistemul de modelare hidrologica ploaie-scurgere de medie durată pentru partea superioară a bazinelor hidrografice Siret și Prut
17. Modelul de propagare HEC-RAS pentru râul Prut, în aval de intrarea în România
18. Concluzii



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

1. Introduction

On a global scale, floods account for over 65% of people affected by natural disasters and they are the most damaging of all natural disasters. Better forecasting floods and with a greater lead time, is the main sustainable way of adapting to and managing such disasters.

Operational hydrological forecasting and warning systems can be used to respond to floods as they occur and to reduce their costs in term of lives, property and other damages.

The general desirable main characteristics of a good flood forecasting system are the following:

- **Timeliness (sufficient lead-time):** Increase of the lead-time is mainly limited by the availability of reliable quantitative precipitations forecasts, but also can be limited by the hydrological models or forecasting methodologies that are implemented.
- **Accuracy (usually related to the forecasts accuracy of the magnitude and time of the flood peak and of the resulting levels):** The more accurate the forecast the better flood control/modification and damage mitigation measures can be implemented.
- **Reliability (associated with accuracy, but is related to the overall long-term reliability of the flood forecasting system):** It should always forecast a flood when one occurs and it should

1. Introducere

La nivel global, inundațiile afectează peste 65% dintre victimele dezastrelor naturale, fiind cel mai distrugător dezastru natural. Principala modalitate durabilă de adaptare la aceste dezastre și gestionare a lor este reprezentată de o mai bună prognoză a inundațiilor și un timp mai mare de anticipare.

Sistemele de prognoză și de avertizare hidrologică operațională pot fi folosite pentru a reduce pagubele produse de inundații în materie de vieți omenești, proprietăți și alte daune.

Principalele caracteristici generale ale unui bun sistem de prognoză a inundațiilor sunt următoarele:

- **În timp util (suficient timp de anticipare):** Creșterea timpului de anticipare este limitată, în principal, de existența unei bune prognoze a cantităților de precipitații, dar poate fi limitată și de metodele hidrologice sau metodologiile de prognoză implementate.
- **Acuratețe (de obicei legată de acuratețea prognozelor privind magnitudinea și momentul de producere al debitului de vârf, precum și a nivelurilor corespunzătoare):** Cu cât prognoza este mai precisă, cu atât mai bine pot fi implementate măsurile de control și atenuare a inundațiilor
- **Încredere (asociată cu acuratețea, însă este legată de încrederea generală pe termen lung asupra prognozelor elaborate prin sistemul de prognoză a inundațiilor):** Ar trebui să prognozeze întotdeauna



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

not forecast floods when doesn't occur. The reliability affects the general public perception and confidence on warning messages.

In general Operational Hydrological Forecasting Systems could have the following main components:

- **Monitoring networks and Data acquisition systems:** Is the basic component for an operational system, and the data type and availability have major implications on the modeling part of the system.
- **Rainfall forecasts models:** Is the most important part for the forecast lead-time increase. Unfortunately the present results of the numerical meteorological models are not enough accurate for the hydrological forecasts applications.

Rainfall-runoff forecasts models: The possible approach extend from the simple forecast relations, event type model, through conceptual semi-distributed models, which are still the most used models in operational, to complex physically based models.

- **Flood routing and flood plain models:** The hydrological routing methods are still extensively used, but the general direction is to use appropriate hydraulic models, which take into account the river geometry, and allow reasonable estimations of flood maps.
- **Flood impact analysis component:** If flood maps are available, flood impact

o inundație atunci când urmează să se producă și nu ar trebui să prognozeze inundații atunci când nu urmează să se producă. Această caracteristică afectează percepția publicului larg și încrederea în mesajele de avertizare. În general, Sistemele de Prognoză Hidrologice În general, Sistemele de Prognoză Hidrologică Operaționale pot avea următoarele componente principale:

- **Rețele de monitorizare și sisteme de colectare a datelor:** Reprezintă componenta de bază pentru un sistem operațional, iar tipul și disponibilitatea datelor au implicații majore asupra componentei de modelare a sistemului.
- **Modelele de prognoză a precipitațiilor:** Reprezintă cea mai importantă componentă pentru creșterea timpului de anticipare a prognozelor hidrologice. Din păcate, rezultatele actuale ale modelelor meteorologice de prognoză numerice nu sunt suficient de precise pentru aplicațiile de prognoze hidrologice.
- **Modele de prognoză ploaie-scurgere:** Posibilitatea abordării variază de la relațiile simple de prognoză, modele tip eveniment, la modelele conceptuale semi-distribuite, care continuă să fie cele mai utilizate modele în activitatea operațională și până la modelele complexe bazate fizic.
- **Modelele de propagare a viiturilor și de inundare a luncilor:** Metodele de redirecționare hidrologică sunt încă utilizate pe scară largă, însă tendința este de a utiliza modele hidraulice adecvate, care au în vedere geometria albiilor



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

analysis could be finally obtained by superimposing flood maps with GIS georeferenced spatial data on constructions, traffic, agriculture, etc. Implementation of Flood Forecasting and Warning Systems need to be understood and planned as a continuous process. After each implementation stage, based on the lessons learned, on the new scientific and technological development both for the models and monitoring, the design and plan for the next system upgrade need to be done.

Also, all type of hydrological forecasting models need to be calibrated, and the calibration process is also a continuous periodical process, and sometimes the models parameters could be improved/adjusted even after each important flood event.

râurilor și care permit estimări rezonabile ale hărților de inundabilitate.

- **Componenta de analiză de impact al inundațiilor:** Dacă sunt disponibile hărți de inundabilitate, analiza impactului pe care îl au inundațiile ar putea fi obținută prin suprapunerea acestora cu datele spațiale georeferențiate GIS asupra construcțiilor, rețelei de transport, agriculturii etc. Implementarea Sistemelor de Prognoză și de Avertizare în caz de Inundații trebuie înțeleasă și planificată ca un proces continuu. Pe baza lecțiilor învățate, a noilor dezvoltări științifice și tehnologice în materie de modele și monitorizare, este necesară proiectarea și planificarea următoarei actualizări a sistemului după fiecare etapă de implementare.

Totodată, este necesară calibrarea tipurilor de modele de prognoză hidrologică, procesul de calibrare fiind, de asemenea, un proces periodic continuu, iar, uneori, parametrii modelelor pot fi îmbunătățiți/ajustați chiar și după fiecare inundație importantă.

2. EAST-AVERT Integrated Flood Forecasting and Warning System

In order to satisfy the specific needs for improving the real time forecasting and warning system capabilities in Prut and Siret transboundary River Basins, the following general structure have been selected by the project partners:

- A detailed spatial and temporal scale hydrological model for the upper part of the Siret and Prut River basins, in

2. Sistemul integrat de prognoză și de avertizare a inundațiilor EAST-AVERT

Pentru a satisface nevoile specifice de îmbunătățire a capacității sistemului de prognoză și de avertizare în timp real în bazinele hidrografice transfrontaliere Prut și Siret, partenerii proiectului au selectat următoarea structură generală:

- Un model hidrologic detaliat la nivel spațial și temporal pentru partea superioară a bazinelor hidrografice Siret și Prut din



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

Ukraine, in order to provide short-term detailed rainfall-runoff, and flood routing capabilities.

- Also a high resolution local numerical weather prediction model is used to provide adequate, improved quantitative precipitation forecasts.
- For the same area, for the routing and the flood inundation mapping needs, a hydraulic model was implemented.
- Both type of models, for the upper part of Prut and Siret, in Ukraine, are also used for flood hazard maps generation, in this part of the basins.
- A second type of model, a conceptual hydrological rainfall-runoff model was implemented, in order to satisfy the needs of medium term forecasts and scenarios analysis for the Siret and Prut river basins at the entrance in Romania.
- These forecasts will be used both by the partners from Romania and Moldova, in order to optimize the operation of Stânca-Costesti reservoir for flood defense in Prut river basin, and by Romanian partners for optimize the operation of reservoirs on Siret river.
- For the Prut River, downstream the entrance in Romania, a hydraulic model was implemented by the Romanian and Moldavian partners, based on HEC-RAS hydraulic model, including the Stânca Costesti reservoir. This hydraulic model was used for the flood hazard maps generation on Prut River, and will also

Ucraina, pentru a asigura o prognoză hidrologică detaliată de scurtă durată.

- De asemenea, se utilizează un model local de prognoză meteorologică numerică de înaltă rezoluție pentru a furniza prognoze cantitative adecvate și îmbunătățite ale precipitațiilor.
- Pentru aceeași zonă, a fost implementat un model hidraulic pentru simularea propagării scurgerii în albie și realizarea hărților de inundabilitate.
- Pentru partea superioară a Prutului și Siretului din Ucraina, ambele tipuri de modele sunt de asemenea utilizate pentru generarea hărților de hazard la inundații.
- A fost implementat un al doilea tip de model, un model hidrologic conceptual de tip ploaie-scurgere, pentru realizarea prognozelor și analizelor de scenarii pe termen mediu pentru bazinele hidrografice Siret și Prut la intrarea în România.
- Aceste prognoze vor fi utilizate atât de partenerii din România, cât și de cei din Moldova, pentru a optimiza funcționarea lacului de acumulare Stânca Costești, cu rol de apărare împotriva inundațiilor din bazinul hidrografic Prut. Partenerii români vor utiliza aceste prognoze și pentru a optimiza funcționarea lacurilor de acumulare de pe râul Siret.
- Pentru râul Prut, în aval de intrarea în România, partenerii români și moldoveni au implementat un model hidraulic utilizând modelul HEC-RAS, incluzând lacul de acumulare Stânca Costești. Acest model hidraulic a fost utilizat pentru generarea hărților de hazard la inundații pe râul Prut



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

be used for more accurate real-time forecasts during extreme flood events.

și va mai fi utilizat pentru îmbunătățirea prognozelor hidrologice în timpul evenimentelor extreme de inundații.

3. Models chain for short term, high spatial and temporal resolution Flood Forecasting developed for the Prut and Siret River basins in Ukraine

The detailed Flood Forecasting system for the Prut and Siret River Basins, in Ukraine, it is based on the chain of the following modelling components:

- The numerical weather forecasting model (based on the customization of the USA open source numerical meteorological model WRF);
- The distributed physically based “rainfall runoff model” predicting the lateral inflow from watershed to river network, based on the customization of the model / code TOPKAPI-UKRAINE (TOPKAPI-U), developed in the UCEWP on the basis of the well-known distributed model TOPKAPI, developed in the University of Bologna.
- The hydraulic flood routing model based on the full Saint Venant equations describing propagation of flood waves in the river network in 1-D approximation (it was used the customization of the model code RIVTOX, developed in the UCEWP, for Prut and Siret river network.
- The two dimensional model of the

3. Ansamblul de modele pentru prognoza pe termen scurt a inundațiilor, la înalta rezoluție spațială și temporală, dezvoltate pentru bazinele hidrografice Prut și Siret din Ucraina

Sistemul detaliat de prognoză a inundațiilor pentru bazinele hidrografice Prut și Siret din Ucraina se bazează următoarele componente de modelare:

- Modelul numeric de prognoză meteorologică numerică (bazat pe personalizarea modelului meteorologic numeric american open source, WRF);
- Modelul fizic distribuit „ploaie-scurgere”, care prognozează aflusul lateral din bazinul de recepție în rețeaua hidrografică, are la bază utilizarea modelului/codului TOPKAPI-UCRAINA (TOPKAPI-U), dezvoltat în cadrul UCEWP pe baza renumitului model distribuit TOPKAPI, dezvoltat în cadrul Universității din Bologna.
- Modelul hidraulic de propagare a scurgerii, bazat pe ecuațiile Saint Venant complete care descriu propagarea undelor de viitură în rețeaua hidrografică cu aproximație 1-D (s-a utilizat modelul cod RIVTOX, dezvoltat în cadrul UCEWP pentru rețeaua hidrografică Prut și Siret).
- Modelul bidimensional de propagare în canalele hidrografice și în luncile inundabile învecinate bazat pe soluțiile numerice ale



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

river flow in the river channels and the surrounding floodplains based on the numerical solutions of the 2D shallow water equation on the unstructured grid to produce the quality simulation of the flooding zone for the floods of the different probability of exceeding in correspondence with the European Floods Directive.

As the main graphical user interface, it was used the specialized software shell – model interface, developed in JAVA environment by UCEWP, named HYDROS, that provides the following functionalities:

- coupling of the model chain by the set-up and processing of the fluxes of the information between the different modules of the modelling system;
- data retrieval from the data bases of the monitoring systems and external modelling system (for the meteorological forecast);
- data transfer from 1D and 2D hydraulic models to the GIS server established within the project to prepare the flood zooming / risk maps by the GIS tools;
- user interfaces for each module of the system;
- date exchange with the transboundary Project's partners;

ecuației 2D pentru ape de suprafață pe rețeaua nestructurată pentru a produce simularea zonei inundabile pentru viiturile cu diverse probabilități de depășire în conformitate cu Directiva europeană privind inundațiile.

Ca principală interfață grafică pentru utilizatori a fost utilizat softul specializat dezvoltat în mediul JAVA de către UCEWP, denumit HYDROS, care asigură următoarele funcționalități:

- cuplarea modelelor în lanț prin configurarea și procesarea fluxurilor de informații dintre diferitele module ale sistemului de modelare;
- preluarea datelor din bazele de date ale sistemelor de monitorizare și ale sistemului de modelare externă (pentru prognoza meteorologică);
- transfer de date de la modelele hidraulice 1D și 2D la serverul GIS stabilit în cadrul proiectului pentru a pregăti hărțile de zoom/risc a inundațiilor prin intermediul instrumentelor GIS;
- interfețe cu utilizatorul pentru fiecare modul al sistemului;
- schimb de date cu partenerii transfrontalieri ai proiectului;

4. Meteorological Forecasting System based on the Numerical Weather Prediction Model WRF

Weather Research and Forecasting (WRF) Model is a contemporary mesoscale numerical weather prediction system designed for

4. Sistem de prognoză meteorologică bazat pe modelul WRF de prognoză meteorologică numerică

Modelul de cercetare și prognoză meteorologică (WRF) este un sistem actual de prognoză meteorologică numerică la mezoscară conceput



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

both atmospheric research and operational forecasting needs by several USA agencies and universities. The input data for the regional implementation of WRF can be downloaded from the servers NOMADS of the USA agency <http://nomads.ncep.noaa.gov/>

Within the EAST AVERT Project the software system was developed and installed in the server on Chernovtsy (in DPDWM), with four times update per 24 hours, automatic computation of the detailed weather forecast in the areas of the Prut and Siret basin in Ukraine up to 7 days on the basis of automatic retrievals of the global model results from the NOMADS servers, as boundary conditions.

The simulations are performed on a sequence of 3 nested domains (Fig. 1) with the outer (first) domain having resolution of 27 km, second domain having resolution of 9 km and the inner (third domain) having resolution 3 km (Fig. 1, 2).

atât pentru cercetarea atmosferică, cât și pentru nevoile de prognoză operațională de câteva agenții și universități americane. Datele de intrare pentru implementarea regională a WRF pot fi descărcate de pe serverele NOMADS ale agenției americane <http://nomads.ncep.noaa.gov/>

În cadrul proiectului EAST AVERT, sistemul software a fost dezvoltat și instalat pe serverul din Cernăuți (în DPDWM), fiind actualizat de patru ori în 24 de ore, calculul automat al prognozelor meteorologice detaliate în zonele bazinelor de anticipare de 7 zile pe baza preluării autoate a rezultatelor modelului global de pe serverele NOMADS, ca și condiții limită.

Simulările sunt efectuate pe o secvență de 3 domenii întrepătrunse (Fig. 1). Domeniul exterior (primul) are o rezoluție de 27 km, al doilea domeniu are o rezoluție de 9 km, iar domeniul interior (al treilea domeniu) are o rezoluție de 3 km (Fig. 1, 2).

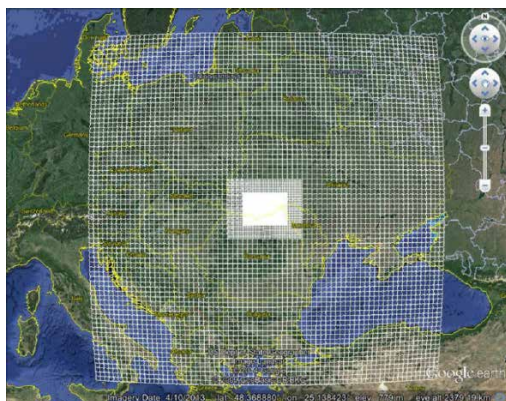


Figure 1 - Three nested domains of the WRF model customized for the basins of the Prut and Siret rivers in Ukraine.

Figura 1 – Trei domenii imbricate ale modelului WRF personalizat pentru bazinele hidrografice Prut și Siret din Ucraina.



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT



Figure 2 - Internal domain of WRF- PRUT - UA model, with a grid 3*3 km
Figura 2 – Domeniul interior al modelului WRF-PRUT-UA, cu o rețea de 3*3km

The model parameters were calibrated on the weather observation data to increase the predictive accuracy of WRF for this specific mountain region (Fig. 3)

Parametrii modelului au fost calibrați pe baza datelor meteorologice înregistrate cu scopul creșterii predictive a WRF pentru această regiune montană specifică (Fig. 3).

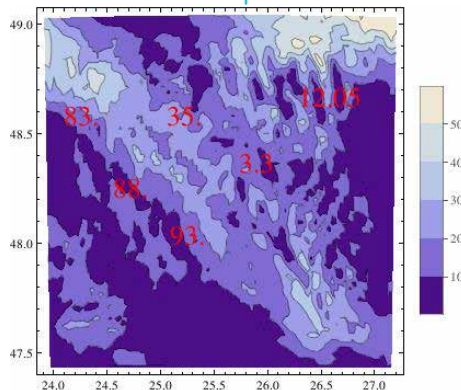


Figure 3 - The distribution of the daily precipitation simulated by WRF in the period of the extreme flood 25.07.2008 and observed precipitation at several monitoring stations.
Figura 3 – Distribuția precipitațiilor zilnice simulată de WRF în perioada de inundații extreme 25.07.2008 și precipitațiile observate la mai multe stații de monitorizare.



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

The results of WRF simulation are transferring from DPDWM to ChHMC for the further use as the input information for the operational Rainfall- Runoff model.

Rezultatele simulării WRF sunt transferate de la DPDWN la ChHMC pentru a fi utilizate ulterior ca informații de intrare pentru modelul operațional precipitații-scurgere.

5. Hydrological Rainfall-Runoff Model TOPKAPI-UKRAINE

TOPKAPI model is a fully distributed rainfall-runoff model based on combining GIS data and kinematic wave approach for routing processes. Due to its distributed nature model it is more easy to assimilate the results of numerical weather prediction systems (in our case regional WRF model). Original TOPKAPI model was developed at the University of Bologna. Many research groups around the world have been developed own implementations of TOPKAPI models that were used for hydrological studies and flood forecasting systems. Ukrainian Center of Environmental and Water Projects (UCEWP) developed own code of TOPKAPI model (TOPKAPI-U) and successfully used it before for hydrological studies of Ukrainian rivers of Transcarpathian region. TOPKAPI-U comprises modules that describe processes of interception, evapotranspiration, snow melting and snow accumulation, subsurface flow, overland flow, channel flow. Model is used for flow calculation from upper subwatersheds of Prut and Siret basins and for lateral inflow calculation to river networks for further routing.

5. Modelul ploaie-scurgere TOPKAPI-UKRAINA

Modelul TOPKAPI este un model precipitații-scurgere complet distribuit bazat pe combinarea datelor GIS cu modelul de propagare de tip undă cinematică. Datorită modelului distribuit, rezultatele sistemelor numerice de prognoză meteorologică sunt mai ușor de asimilat (în cazul nostru, modelul regional WRF). Modelul original TOPKAPI a fost dezvoltat în cadrul Universității din Bologna. Multe grupuri de cercetare din întreaga lume au dezvoltat propriile implementări ale modelelor TOPKAPI utilizate pentru studiile hidrologice și sistemele de prognoză a inundațiilor. Centrul ucrainean de Proiecte de Mediu și Hidrologice (UCEWP) a elaborat propriul cod al modelului TOPKAPI (TOPKAPI-U) și l-a folosit cu succes și mai înainte pentru studii hidrologice asupra râurilor ucrainene din regiunea Transcarpatia. TOPKAPI-U include modele care descriu procesele de interceptare, evapotranspirație, topirea și acumularea zăpezii, scurgerea hipodermică, scurgerea de suprafață, propagare prin albie. Modelul este utilizat pentru calculul debitului afluent din subbazinele de recepție superioare ale bazinelor Prut și Siret și pentru resturile de bazin în rețelele hidrografice pentru propagarea ulterioară.



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

6. One Dimensional Hydrodynamic Model RIVTOX

Model RIVTOX was developed in UCEWP and is based on numerical solving the full set of the Saint-Venant equations. As any other 1D hydrodynamic model RIVTOX operates with cross-section averaged flow variables like flow velocity, flow depth. As boundary conditions model RIVTOX uses flow calculated by rainfall-runoff model TOPKAPI-U.

6. Modelul hidrodinamic unidimensional RIVTOX

Modelul RIVTOX a fost dezvoltat în cadrul UCEWP și este bazat pe rezolvarea numerică a setului complet de ecuații Saint-Venant. Ca orice alt model hidrodinamic 1D, RIVTOX operează cu variabile de debit medii ale secțiunii transversale precum viteza debitului, adâncimea debitului. În ceea ce privește condițiile limită, modelul RIVTOX folosește debitul calculat de modelul hidrologic TOPKAPI-U.

7. Historical hydro-meteorological data for model calibration

There are 16 legacy manual hydrometrical gauging stations and 5 meteorological stations within Ukrainian part of Prut and Siret river basins (Figure 4). Hydrometrical stations carry out twice observations per day during normal situations (at 8:00 and 20:00 local time) and every 4 hour during floods. Meteorological stations perform observations according to the general regulations established by World Meteorological Organization: precipitation is measured every 6 hours and air temperature every 3 hours.

7. Date istorice hidrometeorologice pentru calibrarea modelului

Există 16 stații de măsurare hidrometrice manuale vechi și 5 stații meteorologice în zona ucraineană a bazinelor hidrografice Prut și Siret (Fig. 4). Stațiile hidrometrice efectuează de două ori pe zi observații în situații normale (la orele locale 8:00 și 20:00) și o dată la 4 ore în timpul inundațiilor. Stațiile meteorologice efectuează observații în conformitate cu regulamentele generale stabilite de Organizația Mondială de Meteorologie: precipitațiile sunt măsurate o dată la 6 ore, iar temperatura aerului o dată la 3 ore.



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

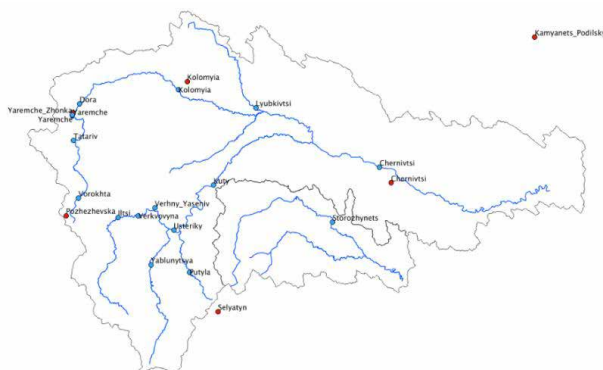


Figure 4 – Sites of hydrometrical stations (blue points) and meteorological stations (red points)
Figura 4 – Locațiile stațiilor hidrometrice (punctele albastre) și ale stațiilor meteorologice (punctele roșii)

For calibration and verification of rainfall-runoff model TOPKAPI-U it was used the historical hydrometeorological data for period of 2003 – 2010. Collected data include water levels, discharges, precipitation, air temperature measured by hydrometrical stations and precipitation, minimal and maximal daily air temperature, daily wind speed, daily relative humidity and daily sunshine duration for meteorological stations. Also it was collected daily flow and precipitation data for the same time period for Romanian hydrometrical stations Oroftiana (only precipitation), Radauti-Prut and Siret-Siret.

For a better, improved real-time monitoring of the evolution of hydro-meteorological situation in the upper Prut and Siret River Basins, within the EAST-AVERT Project was installed a new automated stations network (Figure 5).

Pentru calibrarea și verificarea modelului hidrologic TOPKAPI-U s-au folosit istoricul hidrometeorologic din perioada 2003 – 2010. Datele colectate includ nivelul apei, debite, temperatura aerului măsurată prin stațiile hidrometrice și precipitațiile, temperatura zilnică minimă și maximă a aerului, viteza zilnică a vântului, umiditatea relativă zilnică și durata zilnică a soarelui pentru stațiile meteorologice. De asemenea, zilnic au fost colectate date privind fluxul și precipitațiile pentru aceeași perioadă de timp pentru stațiile hidrometrice românești Oroftiana (numai precipitații), Radauti-Prut și Siret-Siret.

Pentru o monitorizare mai bună și îmbunătățită în timp real a evoluției situației hidrometeorologice din bazinele hidrografice superioare Prut și Siret, în cadrul proiectului EAST-AVERT a fost instalată o nouă rețea de stații automate (Figura 5).



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

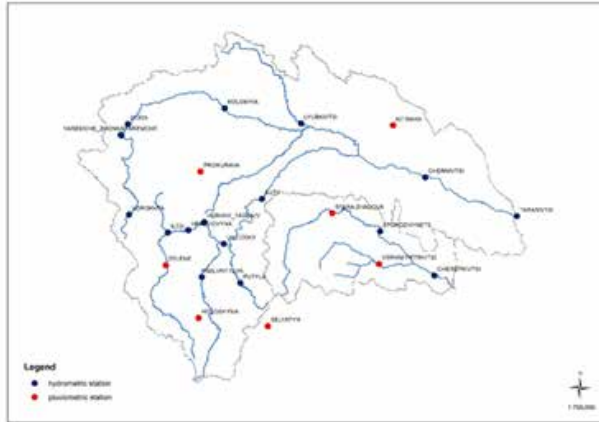


Figure 5 - New EAST-AVERT automated monitoring stations network, for Prut and Siret River Basins
Figura 5 – Noua rețea de stații automate de monitorizare pentru bazinele hidrografice Prut și Siret

8. Input GIS maps for distributed hydrological model setup

Rainfall-runoff model TOPKAPI-U utilizes following GIS data that cover watershed's area: Digital Elevation Model (DEM); Flow directions and Slopes maps which are typically derived from DEM; Soils map; Landcover map; Monthly Leaf Area Index maps (LAI). Following datasets were used for hydrological model of Prut and Siret rivers basins:

- Digital Elevation model SRTM DEM (<http://srtm.csi.cgiar.org>) with spatial resolution 1km (Figure 5). Flow directions and Slopes were derived from DEM using corresponding GIS algorithms (Figure 6 – 7).
- Harmonized World Soil Database v.1.2 (Figure 8) with spatial resolution 1

8. Hărți GIS pentru configurarea modelului hidrologic distribuit

Modelul ploaie-scurgere TOPKAPI-U utilizează următoarele date GIS care acoperă zona bazinului de recepție: modelul digital al terenului (DEM); direcțiile de scurgere și hărțile pantelor care derivă, de obicei, din DEM; harta solurilor; harta acoperirii și utilizării terenului; harta indicelui suprafeței foilare (LAI). Următoarele seturi de date au fost utilizate pentru modelul hidrologic al bazinelor hidrografice Prut și Siret:

- Modelul digital altimetric SRTM DEM (<http://srtm.csi.cgiar.org>) cu o rezoluție spațială de 1km (Figura 5). Direcțiile debitului și pantele au provenit din DEM prin utilizarea algoritmilor GIS corespunzători (Figura 6 – 7).
- Baza de date privind solul adaptată la sistemul internațional v.1.2 (Figura 8) cu o



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

km(<http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>);

- World Landcover dataset - GlobCover v.2.3 dataset (Figure 9) with spatial resolution 300 m (http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php);

- World Leaf Area Index dataset GLASS LAI (Figure 10) with spatial resolution (<http://glcf.umd.edu/data/lai/description.shtml>) with spatial resolution 1 km.

rezoluție spațială de 1 km (<http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>);

- Setul mondial de date privind învelișul solului – setul de date GlobCover v.2.3 (Figura 9) cu o rezoluție spațială de 300 m (http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php);

- Setul de date privind indicele suprafeței foliare la nivel mondial GLASS LAI (Figura 10) cu o rezoluție spațială de 1 km (<http://glcf.umd.edu/data/lai/description.shtml>).

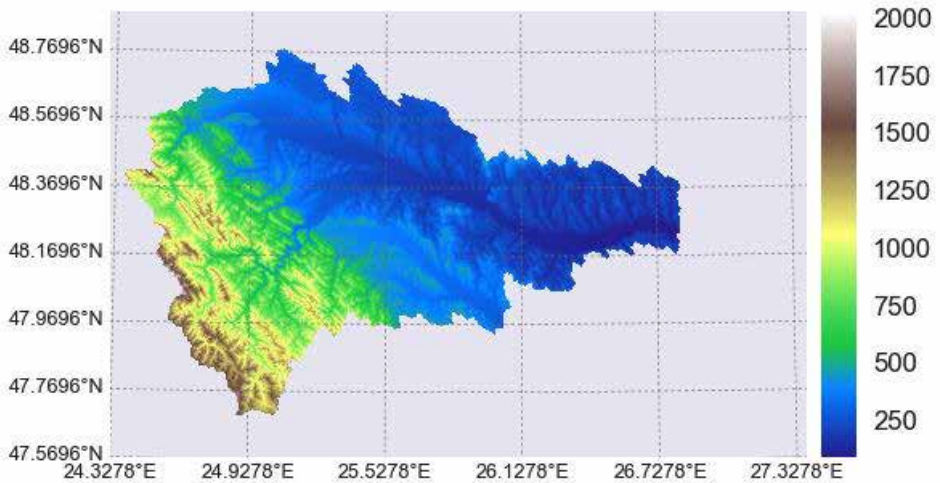


Figure 5 – Digital Elevation Model
Figura 5 – Modelul digital altimetric



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

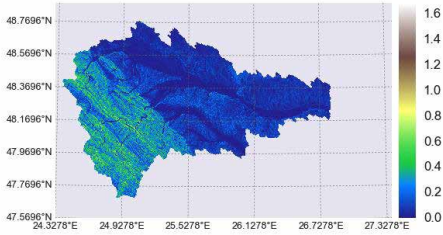


Figure 7 – Slopes map
Figura 7 – Harta pantelor

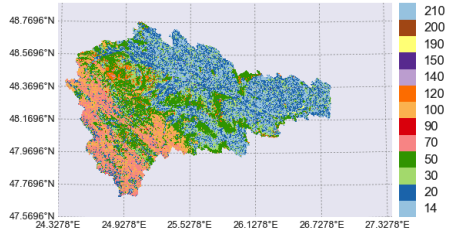
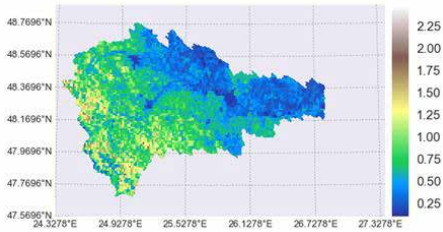
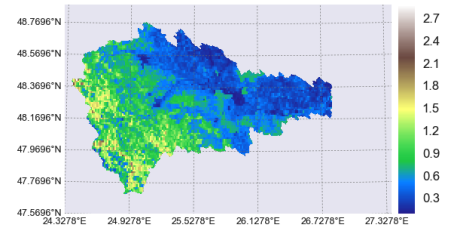


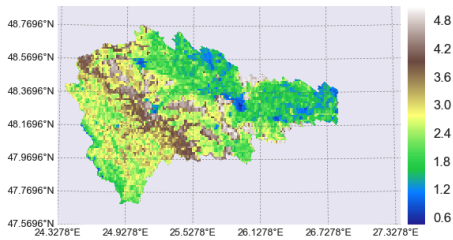
Figure 9 – Landcover map/
Figura 9 – Harta învelișului solului



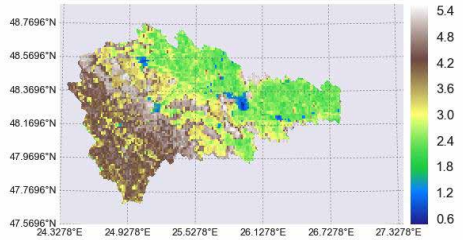
a) Ianuar/lanuarie



c) March/Martie



e) May/Mai



g) July/Iulie



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

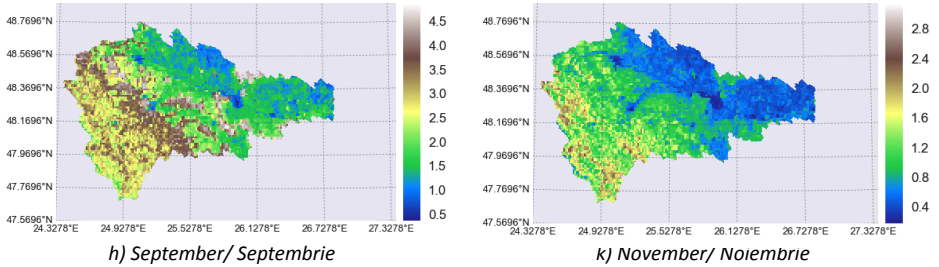


Figure 10 – Seasonal Leaf Area Index (LAI) values for Prut and Siret rivers basins
Figura 10 – Valorile indicelui sezonier al suprafeței foliare (LAI) pentru bazinele hidrografice Prut și Siret

9. Measured crosssections of Prut and Siret river

9. Secțiunile transversale măsurate ale râurilor Prut și Siret

It have been measured 208 crosssections of Prut, Cheremosh and Siret rivers (fig. 10). Crosssections were used to setup hydrodynamic model RIVTOX for flow routing.

Au fost măsurate 208 secțiuni transversale ale râurilor Prut, Ceremuș și Siret (fig. 10). Secțiunile transversale au fost utilizate în vederea configurării modelului hidrodinamic RIVTOX pentru redirecționarea debitului.

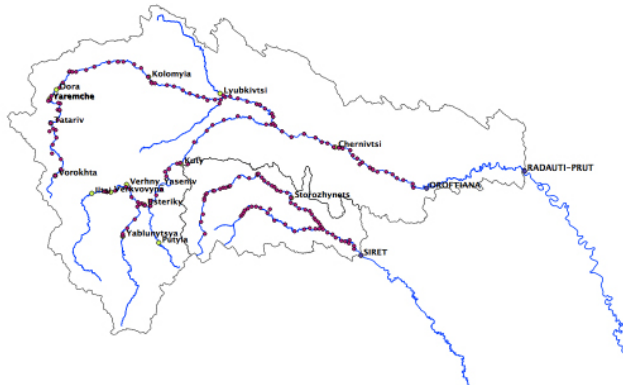


Figure 11 – Sites of crosssections surveys (red dots)
Figura 11 – Locațiile măsurătorilor asupra secțiunilor transversale (punctele roșii)



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

10. Simulations of catastrophic flood of 2008

Chapter presents results of implementation of TOPKAPI-U model for simulations of historical flow during catastrophic summer flood of 2008 for Prut river. Following figures shows the comparison of measured (red color) and simulated flow (blue color), for principal hydrometrical gauging stations.

10. Simulările inundațiilor catastrofale din 2008

Capitolul prezintă rezultatele modelului TOPKAPI-U pentru simularea debitului istoric în timpul inundațiilor catastrofale din vara anului 2008 în cazul râului Prut. Următoarele figuri arată comparația dintre debitul măsurat (culoarea roșie) și debitul simulat (culoarea albastră), pentru principalele stații hidrometrice de măsurare.

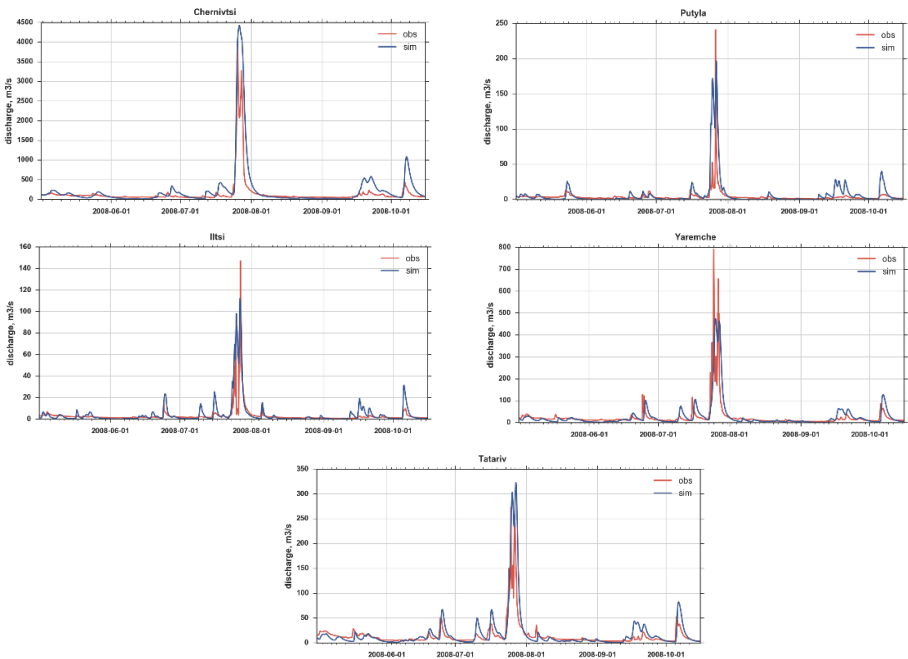


Figure 12 – Observed and simulated flow for principal hydrometrical gauging stations
Figure 12 – Debitul înregistrat și simulat pentru principalele stații hidrometrice de măsurare



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

11. Description of forecasting system workflow

System comprises two servers, namely: Computational server of Numerical Weather Prediction model WRF which is situated in Chernivtsi, Water Resources Directorate of Prut and Dnister rivers basins (BUVR); Computational server of hydrological and hydrodynamic models TOPKAPI-U and RIVTOX (server "HYDROS") which is situated in Chernivtsi Hydrometeorological Center (ChGMC). Also system has connection via FTP with main database of Ukrainian Hydrometeorological Center (UkrGMC) for retrieving data of previous manual observations. Principal scheme of data flow between servers is shown on Figure 13.

11. Descrierea fluxului de lucru al sistemului de prognoză

Sistemul include două servere, și anume: serverul de calcul al modelului de prognoză meteorologică numerică WRF, situat în Cernăuți, Direcția Resurselor de Apă a bazinelor hidrografice Prut și Nistru (BUVR); serverul de calcul al modelelor hidrologice și hidro dinamice TOPKAPI-U și RIVTOX (serverul „HYDROS”), situat în cadrul Centrului Hidrometeorologic din Cernăuți (ChGMC). De asemenea, sistemul beneficiază de conexiune prin FTP cu principala baza de date a Centrului Hidrometeorologic din Ucraina (UkrGMC) pentru recuperarea datelor din observațiile manuale anterioare. Schema principală a fluxului de date între servere este prezentată în Figura 13.

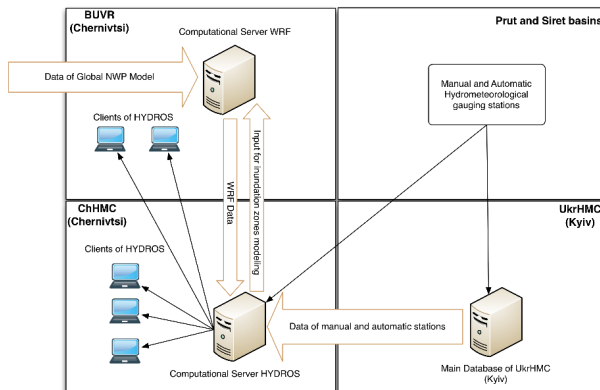


Figure 13 – Principal scheme of data exchange within the System
Figura 13 – Principala schemă privind schimbul de date din cadrul Sistemului



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

Every six hours numerical weather prediction model WRF calculates meteorological forecast with 96 hours lead time and time step 1 hour. WRF model produces NetCDF file that contains spatial fields of precipitation, air temperature, wind speed, relative humidity and incoming solar radiation with resolution 3x3 km. NetCDF file is processed by script which by means of bilinear or nearest neighbour interpolation recalculates WRF spatial fields on computational grid of rainfall-runoff model TOPKAPI-U. Interpolated grids are stored in corresponding HDF5 format file which is meteorological forcing file for model TOPKAPI-U. Before start of the hydrological

O dată la șase ore, modelul de prognoză meteorologică numerică WRF calculează prognoza meteorologică cu un timp de anticipare de 96 ore și pas de timp de 1 oră. Modelul WRF produce fișierul NetCDF care conține câmpurile spațiale de precipitații, temperatura aerului, viteza vântului, umiditatea relativă și radiația solară cu o rezoluție de 3x3 km. Fișierul NetCDF este procesat prin scripturi care prin intermediul interpolării bilineare sau funcție de vecinătate recalculează câmpurile spațiale WRF pe grila de calcul a modelului de ploaie-scurgere TOPKAPI-U. Graficele interpolate sunt stocate în fișierul corespunzător formatului HDF5, care este un fișier cu date meteorologice

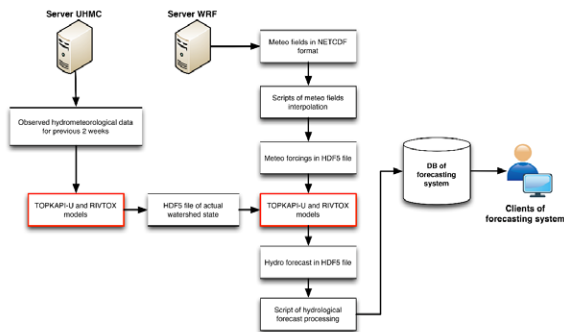


Figure 14 – Workflow of hydrological forecasting for PRUT and Siret in UA
Figura 14 – Fluxul de lucru al prognozelor hidrologice pentru PRUT și Siret în UA



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

forecasting, system retrieves last 15 days observation data of precipitation, water level, air temperature from the main server of UkrHMC. Accordingly to that data TOPKAPI-U and RIVTOX model update current watershed state for beginning time point of forecasts. On the next step hydrological and hydrodynamic models calculate forecast of water flow and levels with lead time 96 hours for corresponding outlets – sites of 16 hydrological stations in Ukraine and 3 stations in Romania, namely Radauti-Prut, Oroftiana-Prut and Siret-Siret. Final results are stored in database of forecasting system and may be viewed in user interface of “HYDROS” system. The general diagram describing the workflow is shown in figure 14.

de intrare pentru modelul TOPKAPI-U. Înainte de a efectua prognoza hidrologică, sistemul integrează datele de observație cu privire la precipitații, nivelul apei, temperatura aerului, corespunzătoare ultimelor 15 zile, de la serverul principal al UkrHMC. În conformitate cu datele respective, modelele TOPKAPI-U și RIVTOX actualizează starea actuală a bazinului de recepție pentru momentul care marchează începutul prognozelor. În următoarea etapă, modelele hidrologice și hidrodinamice calculează prognoza debitului de apă și a nivelului cu un timp de anticipare de 96 de ore pentru punctele de prognoză corespunzătoare – locațiile a 16 stații hidrologice din Ucraina și a 3 stații din România, respectiv Rădăuți-Prut, Oroftiana-Prut și Siret-Siret. Rezultatele finale sunt stocate în baza de date a sistemului de prognoză și pot fi vizualizate în interfața pentru utilizatori a sistemului „HYDROS”. Diagrama generală care descrie fluxul de lucru este prezentată în figura 14.

12. 2D Hydraulic model COASTOX-UN

The modeling code of UCEWP is based on the numerical solution (Finite Volume Method) of the of the 2D shallow water equations. The numerical solution is performed on unstructured mesh of triangular cells, and the numerical algorithm is parallelized demonstrating good increasing of the performance on the multi processors / cores computational systems depending on the number of the processors. The 2 D hydraulic model was applied to

12. Modelul hidraulic 2D COASTOX-UN

Codul de modelare al UCEWP se bazează pe soluția numerică (Metoda volumetrică finală) a ecuațiilor 2D pentru scurgerea de suprafață. Soluția numerică este obținută pe o rețea nestructurată de celule triunghiulare, iar algoritmul numeric este paralelizat, demonstrând o bună creștere a performanței în ceea ce privește sistemele de calcul multiprocesoare/centrale în funcție de numărul de procesoare. Modelul hidraulic 2D a fost aplicat în cele 12



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

selected 12 site of the highest risk of the damages during the high floods for the detailed simulation of the inundation zones for the high floods of the low probability of exceeding (Fig.15).

locații selectate care prezintă cel mai mare risc de producere a pagubelor în timpul inundațiilor mari pentru simularea detaliată a zonelor inundabile în cazul viiturilor cu probabilitate scăzută de depășire (Fig. 15).

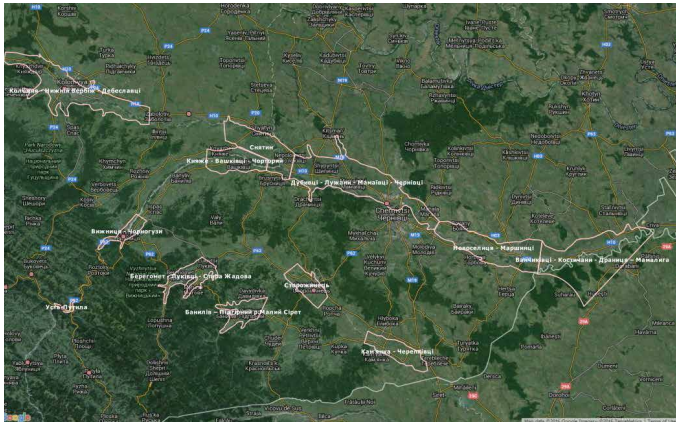


Fig 15 - Twelve sites of the highest risks of the flood damages in the Ukrainian part of Prut and Siret basins to which 2D model COASTOX-UN was implemented.

Fig. 15 – Douăsprezece dintre locațiile cu cel mai mare risc de producere a pagubelor în caz de inundații în zona ucraineană a bazinelor hidrografice Prut și Siret în care a fost implementat modelul 2D COASTOX-UN

The input data for the modeling:

- Digital elevation model (DEM) with high resolution 5 m
- Computational mesh. Keeping features: rivers, reservoirs, dams, roads etc. Cell size - 7-10 m along the river, up to 50 m on the lateral boundaries.
- Manning coefficient distribution on mesh
- At inflow boundary – water discharge measured or predicted
- At outflow boundary – water level

Datele de intrare pentru modelare:

- Modelul digital al terenului (DEM) cu o rezoluție înaltă de 5 m
- Rețeaua de calcul. Caracteristici: râuri, acumulări, diguri, drumuri etc. Dimensiunea celului - 7-10 m de-a lungul râului, până la 50 m pe marginile laterale.
- Distribuția coeficientului Manning pe rețea
- Condiții limită de intrare – debitul măsurat sau prognozat
- Condiții limită de ieșire – nivelul apei (în



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

(according to Manning equation)

conformitate cu ecuația Manning)

13. Tuning of the model on observation results (2008, 2010 floods)

13. Ajustarea modelului pe baza datelor observate (inundațiile din 2008, 2010)

- Water level at gage stations
- Floodmarks for the flood 2008
- The example of the results of the 2D simulations for Chernivtsy some sites are presented on the figures below.

- Nivelul apei la stațiile de măsurare
 - Semne pentru inundațiile din 2008
- Exemplele cu privire la rezultatele simulărilor 2D efectuate în cazul anumitor locații din Cernăuți sunt prezentate în figurile de mai jos.

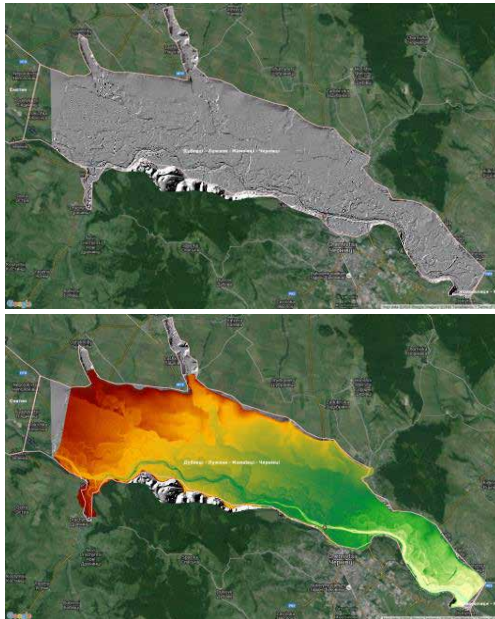


Figure 16 - DEM of the site Dubivtsi-Luzhany-Mamaiivtsi-Chernivtsi (shaded and colored view)
Figura 16 - DEM al locației Dubăuți-Lujeni-Mămăești-Cernăuți (porțiunile umbrite și colorate)



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

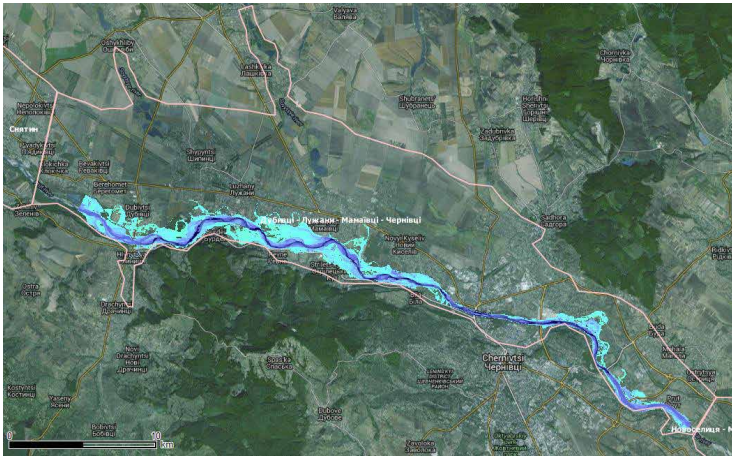


Figure 17 - Water depth map for Chernivtsi site for 10% flood Prut Discharge – 2690 cub.m/s
Figura 17 - Harta adâncimii apei în zona Cernăuți pentru viitura cu probabilitatea de depășire de 10% Deversare Prut – 2690 metri cubi/secundă

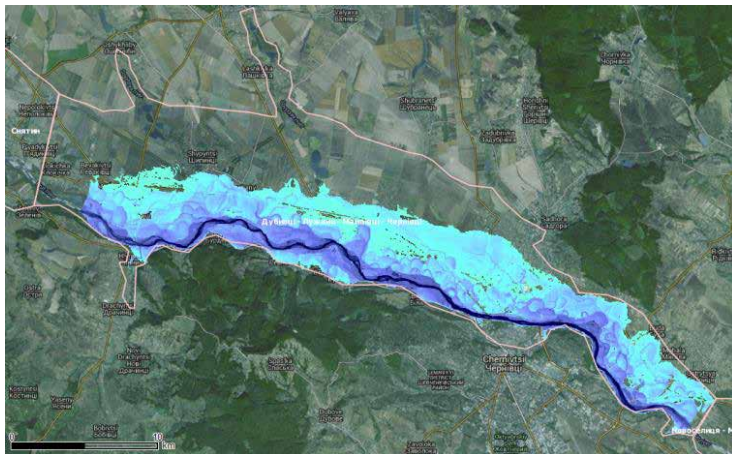


Figure 18 - Water depth map for Chernivtsi site for 0.1% flood Prut Discharge – 7873 cub.m/s
Figura 18 - Harta adâncimii apei în zona Cernăuți pentru viitura cu probabilitatea de depășire de 0,1% Deversare Prut – 7873 metri cubi/secundă



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

14. HYDROS – the software system integrating the modelling modules of the forecasting system and providing the user interfaces

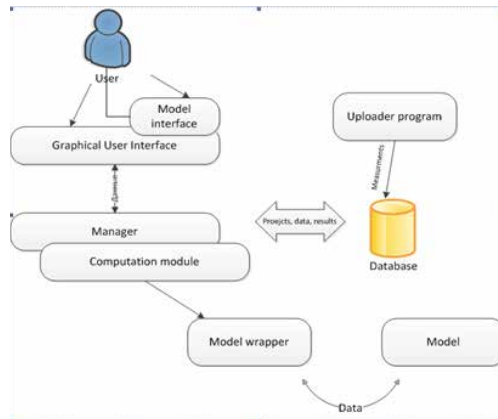
14. HYDROS - sistemul software care integrează modulele de modelare ale sistemului de prognoză și furnizează interfețele cu utilizatorii

The “Hydros” system has a client-server architecture, where the server is located in “DP BUVR” and clients can be located in both ChGMC and on other workstations.

Computational module is responsible for initializing, launching models for performance and getting results. It stores information of tasks and each project you are working with at the moment. This component of the team with the manager runs the execution calculation engine model turns information from a unified data type in the format required

Sistemul „HYDROS” dispune de o arhitectură client-server. Serverul este situat în „DP BUVR”, în vreme ce clienții se pot afla atât în ChGMC, cât și în alte stații de lucru.

Modulul de calcul este responsabil de inițializarea, lansarea modelelor în vederea performanței și obținerii de rezultate. Acesta stochează informațiile cu privire la sarcini și la fiecare proiect derulat. Cu ajutorul componentei de management a execuției proceselor, se rulează motorul de calcul care transformă datele de intrare în formatul necesar pentru fiecare model, colectează și stochează



for each model, collects and stores the results of calculations. Horizontal scaling is maintained at a calculator, that is, to increase productivity is possible to add new nodes, servers, processors.

rezultatele calculelor. Scalarea orizontală este menținută la dispozitivul de calcul, adică, pentru a crește productivitatea există posibilitatea de a adăuga noi noduri, servere, procesoare.



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

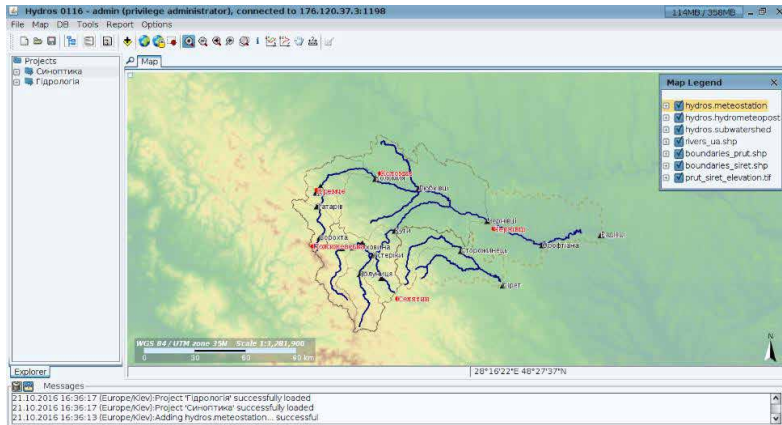


Figure 19 – HYDROS System – main graphical user interface
Figura 19 – Sistemul HYDROS – principal interfață grafică cu utilizatorul

The user enters data through a graphical user interface. This data is transmitted via the Manager and Computation module in a unified data type format where the data are converted into a format of model, and sent to the calculation engine model. After finishing the simulation data is loaded into the shell model, wherein they are converted into system data types and are sent to the system kernel. Results may be stored in a database or displayed in a graphic user interface. The graphical user interface allows the operator of the system to provide convenient system management, input the necessary input data and visualization of calculation results and measurement data coming into the system. Main window containing map with Prut (outlet in Radauti) and Siret (outlet in Siret) river basins including water gages and meteo

Utilizatorul introduce datele printr-o interfață grafică cu utilizatorul. Aceste date sunt transmise prin intermediul modulului Manager și Calcul într-un format de date unificat, în care datele sunt convertite într-un format de model și transmise către modelul motorului de calcul. După terminarea simulării, datele sunt încărcate în modelul shell-ului, urmând ca acestea să fie transformate în tipuri de date de sistem și transmise către nucleul sistemului. Rezultatele pot fi stocate într-o bază de date sau afișate într-o interfață grafică pentru utilizatori. Interfața grafică pentru utilizatori permite operatorului de sistem să asigure gestionarea convenabilă a sistemului, să introducă datele de intrare necesare și să vizualizeze rezultatele calculului și datele de măsurare care intră în sistem. Fereastra principală cuprinde hărți cu bazinele hidrografice Prut (stația hidrometrică Rădăuți)



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

stations (Figure 19).

The client part of the system is a user-oriented component, its' main task is the displaying information to the user and sending data and requests to the Manager. The client provides a graphical interface, which consists of such modules: main module, models' interface module, GIS module, reporting and visualization modules.

The main module controls the other modules and is designed to provide the user with the appropriate functional and display the loaded projects. The main actions performed by the user is to create, copy, delete projects; up, the allocation of tasks within a project, the user interface for call patterns, call visualizer, display information from a database; group tasks, which is sent to the manager: initialization, startup performance problems and getting results.

Module interface displays models of computational models and interfaces designed to collect parameters from the user, check the settings. Communication occurs through "dataitems" tree, which interface module receives from the main module.

An important part of the data is georeferenced data, for which there is a geoinformation module. Geoinformation module is designed to display the spatio-temporal and thematic data, which consist of digital terrain models (levels of heights, land-use categories, soil, rivers and lakes, settlements, boundaries of administrative areas, etc..), The results of calculations and information from the database (Weather forecast maps, measurements of

și Siret (stația hidrometrică Siret), inclusiv stațiile hidrometrice și meteorologice (Figura 19).

Partea din sistem care aparține aplicației client este reprezentată de o componentă orientată către utilizator, sarcina sa principală fiind aceea de a afișa informații pentru utilizator și de a transmite date și cereri către Manager. Clientul oferă o interfață grafică, alcătuită din următoarele module: modulul principal, modulul de interfață module, modulul GIS, modulele de raportare și vizualizare.

Modulul principal controlează celelalte module și este conceput pentru a oferi utilizatorului funcționalitatea corespunzătoare și afișarea proiectelor încărcate. Principalele acțiuni efectuate de utilizator sunt crearea, copierea, ștergerea proiectelor; alocarea sarcinilor în cadrul unui proiect, interfața cu utilizatorul pentru modelele de apele, vizualizarea apelurilor, afișarea informațiilor dintr-o bază de date; sarcinile de grup, care sunt trimise managerului: inițializare, probleme de performanță la pornire și obținerea de rezultate.

Modulul de interfață afișează tipuri de modele și interfețe de calcul concepute pentru a colecta parametrii de la utilizator și verifică setările. Comunicarea are loc prin arborele „dataitems”, pe care modulul de interfață îl primește de la modulul principal.

O parte importantă a datelor o reprezintă datele georeferențiate, pentru care există un modul de geoinformație. Modulul de geoinformație este conceput pentru a afișa datele spațio-temporale și tematice, constând în modele digitale de teren (nivele de înălțime,



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

different characteristics).

The HYDROS software system displays the results of the numerical weather forecasting model WRF:

- Fields of precipitation
- Field temperature
- Wind field
- Humidity field

Project Navigator has a tree structure:

- Cards
 - precipitation
 - air temperature
 - wind
 - air humidity
- Accumulated precipitation
 - for 6 hours
 - for 12 hours
 - 24 hours
- Charts and tables
 - precipitation
 - air temperature
 - wind
 - air humidity

Maps can be animated. Near the slider, that controls the animation, there is a list of all the forecast date to jump to the desired step forecast.

Vertical - subwatersheds, horizontally - the forecast of steps (6, 12, 24 hours). Graphs and tables for each parameter are displayed in the central panel tab. These all weather stations and gauging stations are displayed one hectare plot and in the same table. To schedule the X-axis - forecast steps on the Y-axis - value. For horizontal table - forecasting steps, vertical

categorii de utilizare a terenurilor, sol, râuri și lacuri, așezări, limitele zonelor administrative etc.). Rezultatele calculelor și informațiilor din baza de date (hărțile prognozei meteorologice, măsurători ale diferitelor caracteristici).

Sistemul de software HYDROS afișează rezultatele modelului WRF de prognoză meteorologică numerică:

- Câmpul de precipitații
- Câmpul de temperatură
- Câmpul de vânt
- Câmpul de umiditate

Navigatorul proiectului are o structură de tip arbore:

- Program
 - precipitații
 - temperatura aerului
 - vânt
 - umiditatea aerului
- Precipitații acumulate
 - timp de 6 ore
 - timp de 12 ore
 - 24 ore
- Diagrame și tabele
 - precipitații
 - temperatura aerului
 - vânt
 - umiditatea aerului

Hărțile pot fi animate. În apropierea cursorului care controlează animația, există o listă cu toate datele prognozate pentru a trece la etapa prognozată dorită.

Vertical – subbazine de recepție, orizontal – prognozarea etapelor (6, 12, 24 ore). Graficele și tabelele pentru fiecare parametru în parte sunt afișate în fila panou central. Toate aceste stații meteorologice și de măsurare sunt



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

weather station name or gauging.

afișate pe o suprafață de un hectar și în același tabel. Pentru a programa axa X – etapele de prognoză pe axa Y – valoare. Pentru tabelul orizontal – etapele de prognoză, vertical denumirea stație meteorologice sau de măsurare.

15. Interface of 2D model COASTOX implemented for the modelling of “high flood risk areas”

15. Interfața modelului 2D al COASTOX implementată pentru modelarea „zonelor cu risc crescut de inundații”

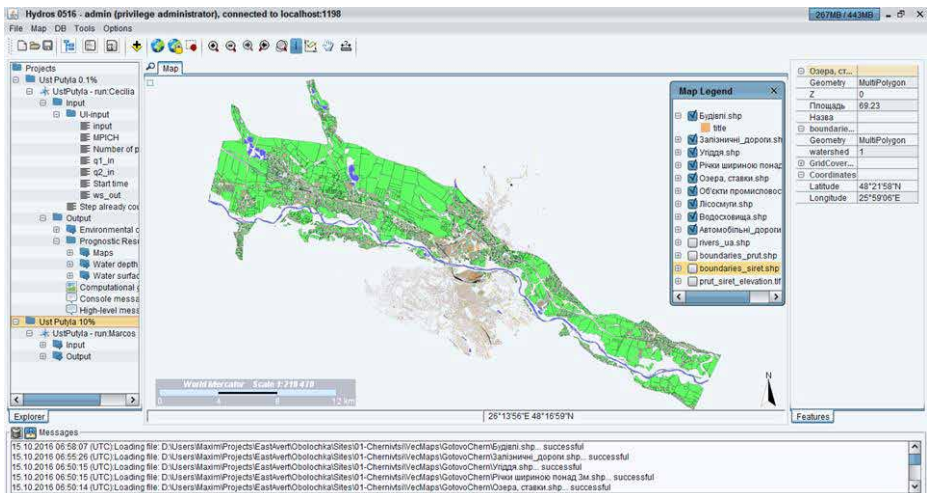


Figure 20 - Flooding zone Chernivtsi site.
Figura 20 – Zona inundabilă a locației Cernăuți.



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

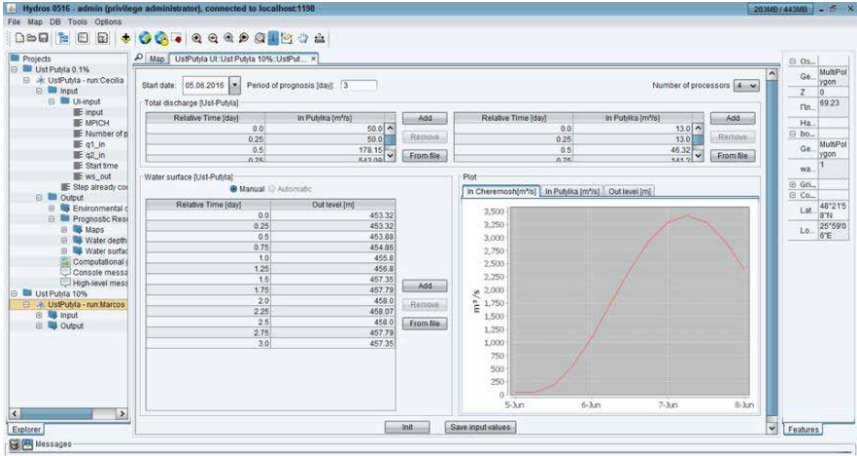


Figure 21 - Coastox model initialization window./Figura 21 – Fereastra de inițializare a modelului Coastox.

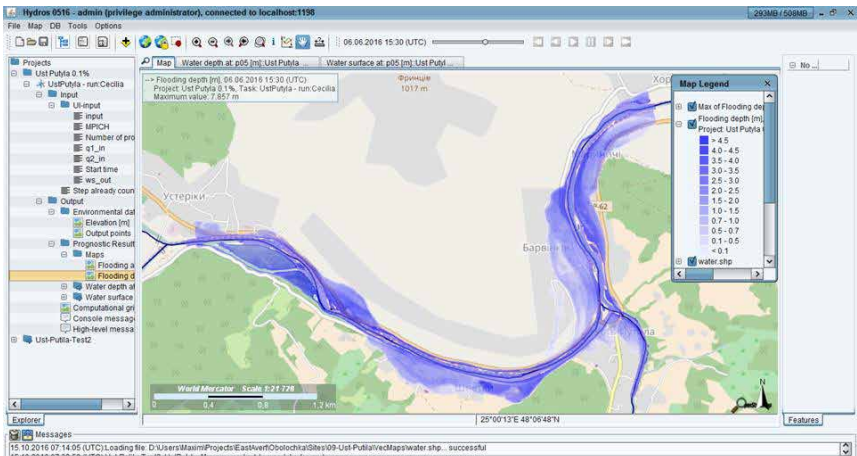


Figure 22 - Water depth map view of Ust-Putyla region
Figure 22 – Harta adâncimii apei în regiunea Gura Putilei

Figure 23 - 0.1% Flood for site 01-Dubivtsi-Luzhany-Mamaivtsi-Chernivtsi. Zoom to Chernivtsi. CRS: WGS 84/Pseudo-Mercator.

Figura 23 – Harta zonei inundate corespunzătoare viiturii cu probabilitatea de depășire de 0,1% la nivelul locației Dubăuți-Lujeni-Mămăești-Cernăuți. Zoom pentru Cernăuți. CRS: WGS 84/Pseudo-Mercator.





This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

16. The medium term hydrological rainfall-runoff modeling system for upper Siret and Prut River Basin

In order to elaborate and provide medium term hydrological forecasts for the upper Siret and Prut river basins, at the entrance in Romania, a second conceptual rainfall-runoff model was implemented.

These medium term forecasts are used in real-time to optimize the reservoirs operation in Siret and Prut River, downstream the entrance in Romania, during the flood events.

This rainfall-runoff model will provide the inflow forecasts to Stâncă Costești, in order to support by scenarios simulations this important reservoir operations for flood management, for real-time decision support.

Also, the short term forecasts elaborated with this system, could be used as a backup in real time, if situations when there are some problems / failure in running the detailed hydrological modeling system for the upper part of Siret and Prut River basins, in Ukraine. The implementation was done using the RS-Minerve System - <https://www.crealp.ch/fr/accueil/outils-services/logiciels/rs-minerve.html>, a freely distributed software that could be used for the simulation of free surface runoff flow formation and routing, in complex hydrological and hydraulic networks using a semi-distributed conceptual scheme. In addition to particular hydrological processes such as snowmelt, glacier melt, surface and underground flow, hydraulic control elements (gates, spillways, diversions, junctions, turbines and pumps) could also be included.

16. Sistemul de modelare hidrologică ploaie-scurgere de medie durată pentru partea superioară a bazinelor hidrografice Siret și Prut

Pentru a elabora și furniza prognoze hidrologice de medie durată pentru partea superioară a bazinelor hidrografice Siret și Prut, la intrarea în România a fost implementat un al doilea model conceptual ploaie-scurgere.

Aceste prognoze pe termen mediu sunt utilizate în timp real pentru a optimiza operațiunile de exploatare a acumulărilor din bazinele Siret și Prut, în aval de intrarea în România, în timpul viiturilor.

Modelul ploaie-scurgere va furniza prognoze ale debitului afluent în acumularea Stâncă Costești, pentru a sprijini prin simulări de scenarii aceste operațiuni importante ale rezervoarelor pentru gestionarea inundațiilor, pentru suportul decizional în timp real.

De asemenea, prognozele pe termen scurt elaborate cu ajutorul acestui sistem ar putea fi utilizate ca backup în timp real, în situațiile în care există anumite probleme/defecțiuni în funcționarea sistemului de modelare hidrologică detaliată pentru partea superioară a bazinelor hidrografice Siret și Prut din Ucraina.

Implementarea a fost efectuată prin intermediul sistemului RS-Minerve - <https://www.crealp.ch/fr/accueil/outils-services/logiciels/rs-minerve.html>, un software distribuit gratuit ce putea fi utilizat pentru simularea formării și redirectionării libere a scurgerilor de suprafață în rețele hidrologice și hidraulice complexe, prin utilizarea unei scheme conceptuale semi-distribuite. Pe lângă procesele hidrologice specifice, cum ar fi topirea zăpezii, topirea



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

This hydrological forecasting system configuration is based on the Sacramento Soil Moisture Accounting System (SAC-SMA) as rainfall-runoff model, the same model that is implemented and used in HFMS-DESWAT National system in Romania, in order to benefit from the experience in model configuration and calibration, and for a better integration with the existing system (Figure 24).

ghețarilor, fluxul de suprafață și subteran, ar putea fi incluse și elementele de control hidraulic (porți, deversoare, deviații, joncțiuni, turbine și pompe).

Această configurație a sistemului de prognoză hidrologică se bazează pe modelul de estimare a umidității solului Sacramento (SAC-SMA) ca model de ploaie-scurgere, același model fiind implementat și utilizat în sistemul național HFMS-DESWAT din România, pentru a beneficia de experiența în configurarea și calibrarea modelului și de o mai bună integrare în sistemul existent (Figura 24).

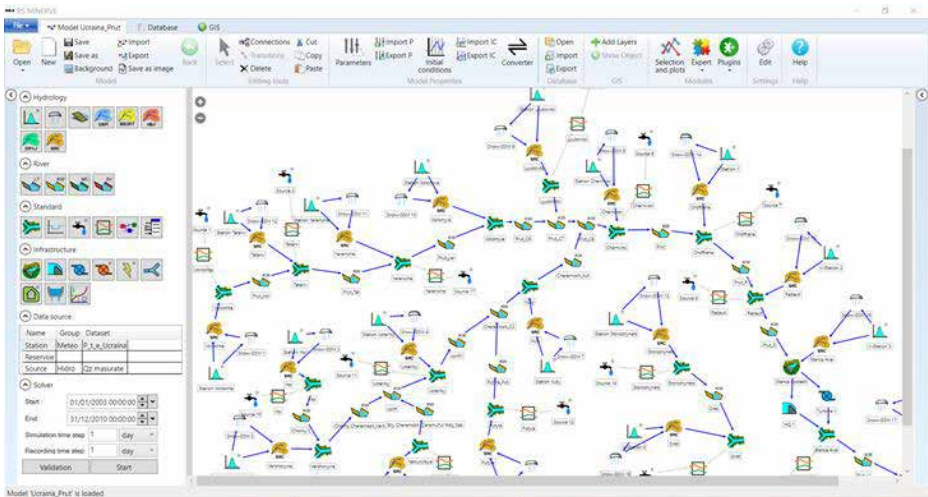


Figure 24 - General structure of the medium term hydrological forecasting system, for Prut and Siret River Basins, within the RS-Minerve modelling system
Figura 24 – Structura general a sistemului de prognoză hidrologică de medie durată pentru bazinele hidrografice Prut și Siret din cadrul sistemului de modelare RS-Minerve



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

17. HEC-RAS routing model for Prut River, downstream the entrance in Romania

HEC-RAS is a software which was developed by Hydrologic Engineering Center (HEC), a department of the Institute of Water Resources (IWR) in the U.S. Corps of Engineer's.

The program may perform hydraulic simulations/analysis regarding:

- steady flow;
- unsteady flow;
- sediment transport/mobile bed;
- water temperature/water quality.

With HEC-RAS software hydraulic parameters for steady and unsteady flow for a study area (a river, a certain sector of river floodplains, lakes and dams etc) can be computed. To successfully configure and run the software, accurate and actual input data are needed, consisting in general by:

- topographical data – cross sections, descriptions of built structures (bridges, inline structures, lateral structures, water intakes etc.), situation plans, aerial photos, digital terrain models;
- hydrological data – the value of flow across all areas of interest, flow hydrograph, rating curves, traces of extraordinary floods for models calibration etc.;
- data regarding river scheme;
- information on land use, vegetation coverage and soil in the area of interest in order to determine the roughness coefficients.

The goal of performing HEC-RAS is to achieve

17. Modelul de propagare HEC-RAS pentru râul Prut, în aval de intrarea în România

HEC-RAS este un software dezvoltat de Centrul de Inginerie Hidrologică (HEC), un departament al Institutului de Resurse de Apă (IWR) din cadrul Corpul Inginerilor din S.U.A. Programul poate efectua simulări/analize hidraulice cu privire la:

- debit constant;
- debit variabil în timp;
- transport sedimente/pat mobil;
- temperatura apei/calitatea apei.

Cu ajutorul software-ului HEC-RAS se pot calcula parametrii hidraulici corespunzători unui debit constant și variabil în timp pentru o zonă de studiu (un râu, un anumit sector al luncilor inundabile, lacuri și diguri etc.). Pentru a configura și rula cu succes software-ul, sunt necesare date de intrare exacte și reale, reprezentate în general de:

- date topografice – secțiuni transversale, descrierea structurilor construite (poduri, structuri în linie, structuri laterale, prize de apă etc.), planuri de situație, fotografii din aer, modele digitale de teren;
- date hidrologice – valoarea debitului în toate zonele de interes, hidrograful de debit, curbele de clasificare, urmele unor inundații extraordinare pentru calibrarea modelelor etc.;
- date privind schema rețelei hidrografice;
- informații privind utilizarea terenului, stratul de vegetație și solul din zona de interes pentru a determina coeficienții de rugozitate.

Scopul realizării HEC-RAS este acela de a



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

Costesti reservoir. This hydraulic model was used for the flood hazard maps generation on Prut River, and will also be used for more accurate real-time forecasts during extreme flood events.

Stâncă Costești. Acest model hidraulic a fost utilizat pentru generarea hărților de hazard la inundații pe râul Prut și urmează a fi utilizat și pentru prognoze mai exacte în timp real pe perioada inundațiilor extreme.

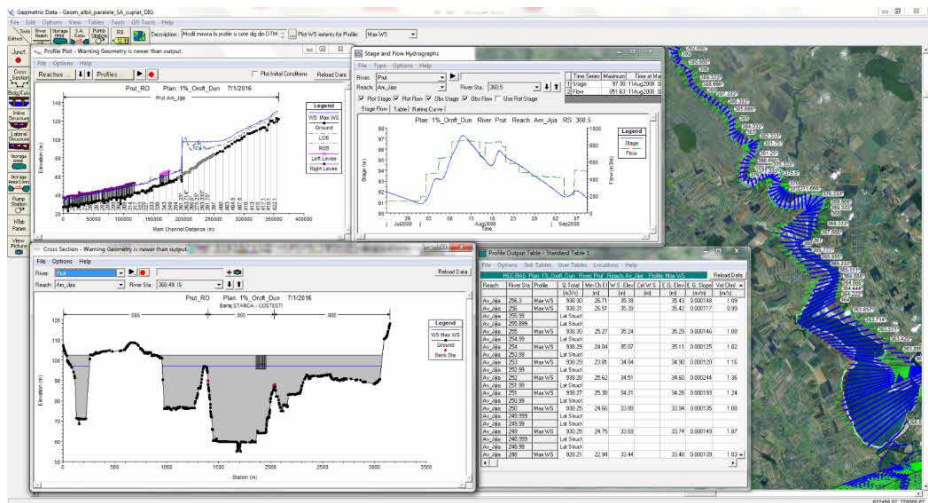


Figure 26 - Prut River - Stâncă Costești Dam sector analyzed within the HEC-RAS model interface/ Figura 26 – Râul Prut – Sectorul digului Stâncă Costești analizat în cadrul modelului de interfață HEC-RAS



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013
Common borders. Common solutions



This project is funded by the
EUROPEAN UNION



MINISTRY OF ENVIRONMENT



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
CROSS BORDER COOPERATION

European Neighbourhood and Partnership Instrument (ENPI) Siret and Prut River Basins, through the implementation of a modern monitoring system with automatic stations EAST AVERT

18. Conclusions

One of the main objective of EAST-AVERT Project was to improve the flood forecasting and warning systems capabilities in Prut and Siret River Basins by developing a modern integrated monitoring and warning system, better common forecasting procedures, to protect localities and population living in the border areas.

The new integrated Flood Forecasting and Warning System, implemented within the EAST-AVERT Project, make use of multiple hydrological and hydraulic forecasting models, adequate for simulation of hydrological processes at different spatial and temporal scales, and is including robust models that could be run in interactive way by the forecaster.

The integrated forecasting system has a modular, flexible, and robust structure in order to allow the Hydrological Forecasts Centers from Romania, Ukraine, Moldova to cooperate in real-time for the hydrological forecasts and warnings elaboration, and in order to be able to elaborate the forecasts products for the upper Siret and Prut River Basins under different type of failure scenarios, of data communication interfaces and/or flood forecasting system components.

The system improved capabilities are based not only on the new implemented specialized hydrologic and hydraulic forecasting models, but also on the high resolution and improved accuracy of the regional numerical weather forecasting model, and from the new installed automated stations which provide significantly improved real-time monitoring capabilities for the hydrological and meteorological parameters evolution, within the upper Siret and Prut River Basins.

18. Concluzii

Unul dintre principalele obiective ale proiectului EAST-AVERT a fost îmbunătățirea capacităților de prognoză și de avertizare a inundațiilor în bazinele hidrografice Prut și Siret prin dezvoltarea unui sistem integrat modern de monitorizare și de avertizare integrat, proceduri comune de prognoză mai bune pentru protejarea localităților și a populației care trăiește în zonele de frontieră.

Noul sistem integrat de prognoză și de avertizare a inundațiilor, implementat în cadrul Proiectului EAST-AVERT utilizează numeroase modele hidrologice și hidraulice de prognoză, adecvate pentru simularea proceselor hidrologice la scări spațiale și temporale diferite, incluzând, totodată, modele solide prin intermediul cărora persoana însărcinată cu prognoza poate recurge la o abordare interactivă.

Sistemul integrat de prognoză dispune de o structură modulară, flexibilă și solidă, care permite Centrelor de Prognoză Hidrologică din România, Ucraina și Moldova să coopereze în timp real pentru prognoze hidrologice și emiterea de avertizări și pentru a elabora produse de prognoză corespunzătoare părții superioare a bazinelor hidrografice Siret și Prut sub diferite tipuri de scenarii de nefuncționare a interfețelor de comunicații de date și/sau componente ale sistemului de prognoză a inundațiilor.

Capacitățile îmbunătățite ale sistemului se bazează nu numai pe noile modele hidrologice și hidraulice de prognoză recent implementate, ci și pe rezoluția ridicată și pe acuratețea îmbunătățită a modelului regional de prognoză meteorologică numerică, precum și pe stațiile automate recent instalate, care oferă capacități de monitorizare în timp real îmbunătățite semnificativ pentru monitorizarea evoluției parametrilor hidrologici și meteorologici la nivelul părții superioare a bazinelor hidrografice Siret și Prut.



Romania-Ukraine-Republic of Moldova
Joint Operational Programme 2007-2013

Common borders. Common solutions

The European Union is made up of 28 Member States who have decided to gradually link together their know-how, resources and destinies. Together, during a period of enlargement of 50 years, they have built a zone of stability, democracy and sustainable development whilst maintaining cultural diversity, tolerance and individual freedoms.

The European Union is committed to sharing its achievements and its values with countries and peoples beyond its borders.

The Joint Operational Programme Romania-Ukraine-Republic of Moldova 2007-2013 is financed by the European Union through the European Neighborhood and Partnership Instrument and co-financed by the participating countries in the programme.



This publication has been produced with the assistance of the European Union. The contents of this publication are the sole responsibility of Ministry of Environment of Romania and can in no way be taken to reflect the views of the European Union or of the Romania-Ukraine-Republic of Moldova Joint Operational Programme 2007-2013 management structures.

Project implemented by Ministry of Environment - Romania

Contact: Marisanda PÎRÎIANU, Project Coordinator, tel.: +40.756.089.972, e-mail: marisanda.pirianu@mmediu.ro
Silvia NEAMȚU, Project Coordinator Assistant, tel: +40.754.231.242, e-mail: silvia.neamtu@mmediu.ro