

MODELUL JFLOW® – O POTENȚIALĂ SOLUȚIE PENTRU CARTOGRAFIEREA HAZARDULUI LA INUNDAȚII LA SCARA BAZINULUI HIDROGRAFIC

Robert BERRY¹, Mathew TANCOCK¹, Jonathan COOPER², Daniela RADULESCU³

¹JBA Consulting, Regatul Unit al Marii Britanii

²JBA Consulting, Irlanda

³JBA Consult Europe, Romania

Robert.Berry@jbaconsulting.com, Mathew.Tancock@jbaconsulting.com, Jonathan.Cooper@jbaconsulting.ie,
Daniela.Radulescu@jbaconsulting.ro

REZUMAT:

Este de așteptat ca riscul global la inundații să crească din cauza schimbărilor climatice și a dezvoltării economice și sociale în zonele cu risc. Pot fi întreprinse însă acțiuni de gestionare a acestor riscuri și de reducere a impactului asupra mediului natural și construit. Hărțile de inundabilitate corecte / exacte și la o scară adecvată disponibile în timp util sunt esențiale pentru a fundamenta acțiuni / măsuri și a prioritiza în mod eficient investițiile asociate acestora.

Cu toate acestea, generarea de modele de inundabilitate eficiente la o scară adecvată nu reprezintă o sarcină ușoară, fiindcă necesită utilizarea unor tehnologii de vârf și a unor tehnici analitice capabile să producă și să analizeze cantități uriașe de date.

O soluție potențială la această problemă o constituie JFlow®, un model hidraulic bidimensional 2D, care rezolvă ecuațiile Navier-Stokes utilizând procesoare grafice (GPU) pentru efectuarea calculelor.

JFlow® a fost elaborat în anul 2002. De atunci, modelul a evoluat în complexitate și funcționalitate (viteza de simulare, extinderea spațială a zonei modelate, dimensiunea gridului / grilei, rezoluția, interfața cu utilizatorul). În anul 2012, JFlow® a câștigat medalia de bronz la Academia Regală de Inginerie MacRobert Awards, recunoscându-i-se natura inovatoare a algoritmilor utilizați și tehnologia GPU de ultimă generație propusă. În prezent, JFlow® este un pachet de software de vârf la nivel mondial pentru simularea riscului de inundații la orice scară (de la nivel local până la nivel regional/continental), acoperind inundațiile fluviale, pluviale, costiere precum și cele generate de cedarea unui baraj.

Lucrarea prezintă o scurtă evoluție a dezvoltării modelului, principalele caracteristici și capacități ale JFlow® precum și câteva studii de caz / exemple / aplicații în diferite bazine hidrografice din lume.

ABSTRACT:

Global flood risk is expected to increase due to climate change and development in areas at risk. Actions can be taken to manage these risks and reduce the impacts on our physical and naturally built environment. To inform these actions and allow investment in risk management to be prioritised effectively, the availability of accurate, timely and scalable flood mapping is essential.

However, generating efficient flood models at scale is not easy. It requires the use of cutting edge technology and analytical techniques to produce and analyse petabytes of data.

A potential answer to this problem is JFlow®, a 2D hydraulic model. It solves the shallow water equations (Navier-Stokes), using graphics processors (or GPUs) to perform the calculations.

JFlow® model was born in 2002. Since then, the model has evolved in terms of complexity and functionality (simulation model speed, spatial expansion of the modelled area, grid size, resolution, end-user interface).

In 2012, JFlow® was a bronze medal winner in the Royal Academy of Engineering MacRobert Awards, recognising the innovative nature of JFlow®'s algorithms and the cutting-edge use of GPU technology.

Currently, JFlow® is a world-leading software package for simulating flood risks at anything from local to continental scales including river, surface water, coastal and dam break floods.

The paper presents a brief history of JFlow®, the main features and capabilities of the model and some study-cases / examples / applications in different river basin in the world.

Cuvinte cheie: cartografierea hazardului, JFlow® software, modelare rapidă, tehnologie de vârf

1. Introducere

Încrederea sporită din ultimii ani în modelarea 2D a propagării viturilor și a determinării zonelor inundabile a condus la eforturi deosebite din partea companiilor producătoare de soft în sensul diminuării timpilor de rulare a modelului, în special pentru studiile care implică analiza incertitudinii sau simularea scenariilor multiple. Astfel, au apărut o serie de modele, bazate pe diverse abordări pentru modelarea curgerii apei, considerand o topografie variabilă. Una dintre cele mai utilizate abordări se bazează pe aplicarea simplificată a ecuațiilor de curgere a fluidelor Navier-Stokes (recomandate în cazul unor adâncimi medii ale apei).

Alegerea unui model eficient de inundabilitate la o scară adecvată nu este ușoară. Necesitatea cartografierii hazardului de inundație pe suprafețe mari necesită utilizarea unor tehnologii de vârf și a unor tehnici analitice capabile să producă și să analizeze cantități uriașe de date. O soluție potențială la această problemă o constituie modelul JFlow®, dezvoltat de JBA Consulting, model prezentat în prezentul articol.

2. Cerințe de cartografiere a hazardului la inundații în România. Informații disponibile

În prezent, managementul strategic al riscului de inundații din România urmează orientările Strategiei naționale de management al riscului la inundații pe termen mediu și lung (HG 846/2010) și prevederile Planurilor de Management al Riscului la Inundații (HG 972/2016). Termenul limită pentru implementarea măsurilor prevăzute în Planul de Management al Riscului la Inundații (ciclul 1) este 2021, în conformitate cu prevederile Hotărârii de Guvern mai susmenționate. În ceea ce privește ciclul 2, termenele pentru îndeplinirea cerințelor Directivei Inundații se prezintă, după cum urmează :

- Actualizarea zonelor cu risc potențial semnificativ la inundații - decembrie 2018;
- Completarea / actualizarea hărților de hazard și de risc la inundații - decembrie 2019 ;
- Elaborarea Planurilor de Management al Riscului la Inundații (integrate pentru prima dată cu Planurile de Management al Bazinelor Hidrografice) pentru toate Administrațiile Bazinale de Apă - decembrie 2021.

Cerințele de implementare a Directivei 2007/60/EC (ciclul 2) cu referire la hărțile de hazard și hărțile de risc la inundații presupun parcurgerea unui proces lung și foarte complex. Va fi necesară elaborarea de hărți de hazard cu acoperire națională, cu considerarea nu numai a inundațiilor fluviale, dar și a Inundațiilor provenite din apele subterane și a inundațiilor marine, a Inundațiilor pluviale (inclusiv modelarea 2D în zonele urbane, desemnate ca având risc semnificativ la inundații) precum și a inundațiilor provocate de ruperea de baraje.

Sunt surse și mecanisme de inundație care nu au fost considerate în primul ciclu de raportare al Directivei 2007/60/EC și care sunt obligatorii pentru toate Statele Membre, în conformitate cu prevederile Directivei Inundații și cu cerințele specifice ale Ghidului CE - *Technical support in relation to the implementation of the floods directive (2007/60/EC) - A user guide to the floods reporting schemas, 2013.*)

O a doua cerință de cartografiere a hazardului la inundații în România se referă la condițiile de accesare a fondurilor europene prin Programul Operațional Infrastructura Mare (POIM 2014-2010), program de investiții majore demarat recent în țara noastră, evidențiate în Ghidul privind Studiile de Fezabilitate pentru proiectele de Management al Riscului la Inundații (ghid la realizarea căruia JBA Consulting a avut o contribuție semnificativă, ca unic consultant - subiect al unui contact-cadru / Framework Contract cu JASPERS, în cursul anului 2015 – 2016). Ghidul stabilește un model indicativ pentru studiul de fezabilitate, document care însoțește cererea de finanțare pentru proiectele pregătite pentru cofinanțare

europăeană în cadrul POIM și printre altele impune o modelare de detaliu în situația ipotetică de implementare a proiectelor pentru care se solicită finanțare, în scopul cuantificării efectelor măsurilor din proiectele propuse (modelare pentru testarea măsurilor și pentru suportul analizei de opțiuni).

A treia cerință de cartografiere a hazardului la inundații reprezintă o necesitate stringentă în România și se referă la elaborarea hărților de zonare a hazardului și riscului, dedicate planificării spațiale. În ciuda publicării hărților de risc la inundații în cadrul Planurilor de Management al Riscului la Inundații, nu au fost elaborate politici și strategii de dezvoltare spațială care să țină cont de acestea (caz în care dezvoltarea neadecvată va deveni o problemă).

Este de așteptat ca riscul global la inundații să crească și din cauza schimbărilor climatice și a dezvoltării în zonele cu risc. Evident, pot fi întreprinse acțiuni de gestionare a acestor riscuri și de reducere a impactului asupra mediului natural și construit. Pentru a fundamenta acțiuni / măsuri și a putea prioritiza în mod eficient investițiile asociate este esențială elaborarea în timp util de hărți de inundabilitate corecte / exacte și la o scară adecvată, bazate pe date actuale și de încredere.

Datele disponibile în prezent, în țara noastră, pentru cartografierea hazardului sunt prezentate succinct (ca tip de informație) în tabelul nr. 1.

Tabelul nr.1

Informații disponibile	Informații insuficiente
<ul style="list-style-type: none"> • Date hidrologice – niveluri, debite • Date meteorologice (precipitații, zăpadă) • Folosința terenului / Sol / Geologie 	<ul style="list-style-type: none"> • Model Digital de Teren (MDT) • Infrastructura de apărare • Sistemul de canalizare și drenaj* • Amprenta clădirilor • Informații privind evenimente de inundații din trecut

* Date disponibile, care însă necesită colaborare cu autoritățile locale

În același tabel, sunt evidențiate și datele lipsă sau datele insuficiente (sub aspect cantitativ, calitativ, al acoperirii spațiale / temporale, al acurateții etc).

În funcție de datele disponibile și de scopul modelării, s-au definit patru niveluri de complexitate în ceea ce privește metoda / abordarea de modelare. În tabelul nr. 2 se prezintă un sumar al acestor abordări, diferențiate pe niveluri de complexitate, ierarhie rezultată ca urmare a experienței JBA în modelarea hazardului / riscului la inundații.

Tabel nr. 2

Nivel de complexitate	Metoda de modelare	Date necesare (Datasets)	Utilizări ale modelului (scop)
4	Modelarea curgerii prin albie, lunca inundabilă și rețeaua de drenaj <i>Grad mare de detaliere. cost</i>	Rezoluții foarte bune: MDT 1-5 m date LIDAR Măsurători de detaliu: batimetrie, rețea de drenaj, structuri ingineresti Analiza de detaliu (nivel local) – debite și precipitații	Pentru proiectare și construcție Analiza / proiectarea schemelor de apărare și drenaj Evaluarea / Înțelegerea riscului la inundații în zone cu grad mare de expunere

	<i>ridicat, acuratețe</i>	Date de calibrare/validare (din diferite surse)	
2, 3	Modele generalizate - lunci inundabile <i>Echilibru între acuratețe vs cost/timp</i>	MDT bazate pe măsurători LIDAR, fotogrametrie sau radar: ➔ 2 – 10 m LIDAR/fotogrametrie pentru Nivelul 3 ➔ 5 – 20 m fotogrametrie sau radar pentru Nivelul 2 Analiza hidrologică regională (date stații hidrometrice). Curbe de precipitații IDF	Analiza riscului la inundații la scară regională / națională Evaluare costuri asigurare - risc la inundații
1	Modele de complexitate redusă <i>Cost scăzut, rapid</i>	Rezoluție: SRTM (30 m rezoluție) Bazine nemonitorizate hidrologic Asumarea / considerarea unor ipoteze la nivel macro (regional / național)	Analiza orientativă / indicativă a riscului la inundații Evaluare costuri asigurare - risc la inundații Suport pentru o cartografiere ulterioară de detaliu Evaluarea riscului la inundații în zone cu grad redus de expunere (zone rurale)

Pentru o înțelegere facilă, în figura nr. 1 se prezintă, ca exemplu, rezultatele unei modelări în cazul nivelelor de complexitate 1 și 3.

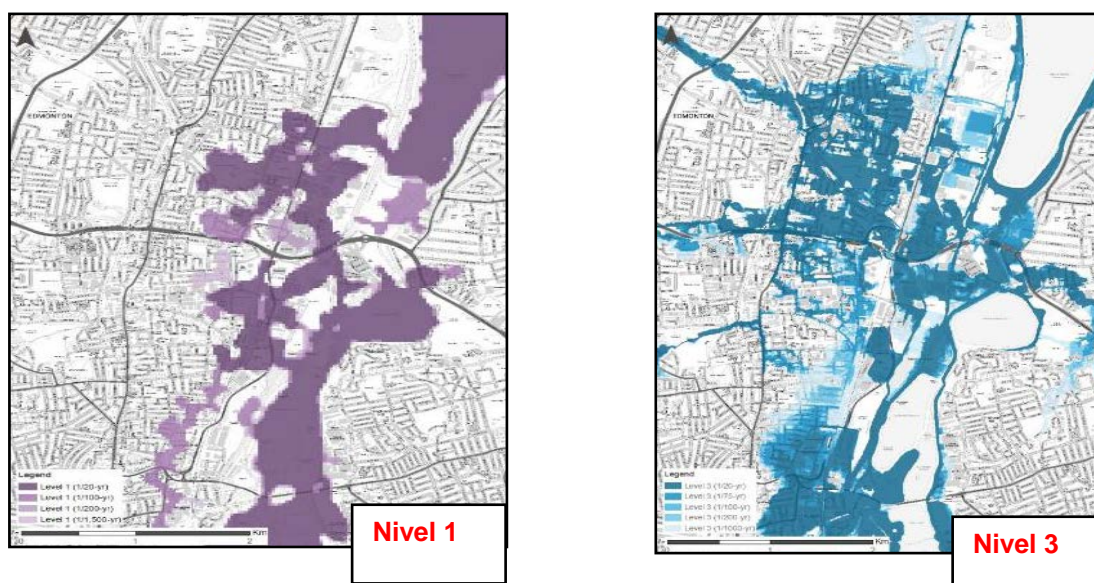


Fig. 1. Nivelul de complexitate 1 versus Nivelul de complexitate 3

În figura nr. 2 se prezintă comparativ rezultatele unui MDT, în două situații diferite din punct de vedere al acurateții / rezoluției (model de suprafață al terenului - DSM, rezoluție în plan 30 m versus model de elevație al terenului, obținut pe bază de măsurători LIDAR, rezoluție în plan, 5 m).

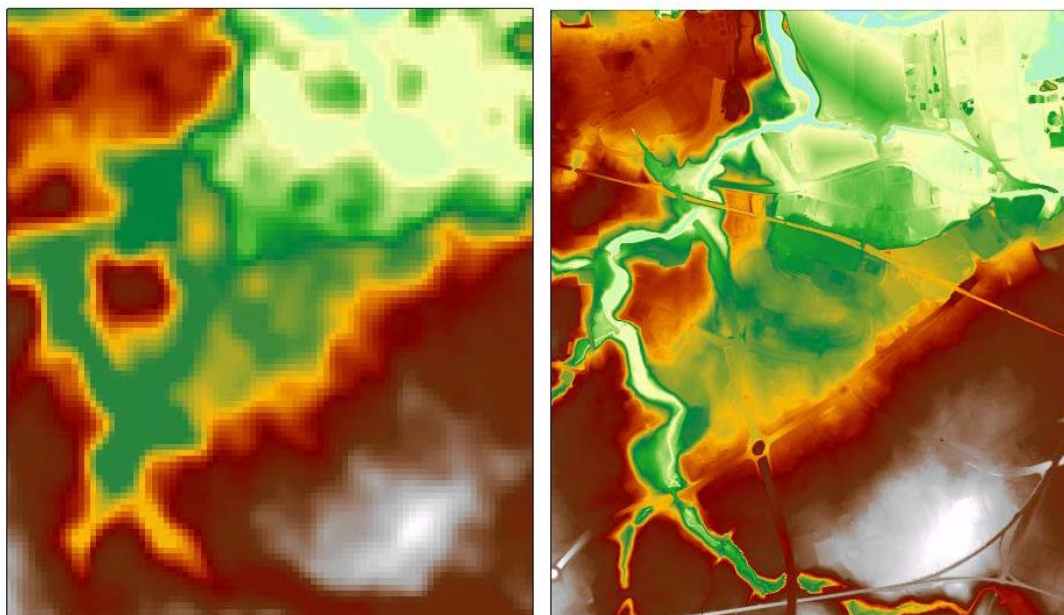


Fig. 2. Comparare DSM (30 m) cu MDT (LIDAR, 5 m)

După cum se poate observa, existența unui model digital al terenului de acuratețe ridicată prezintă o importanță deosebită în modelarea hazardului și riscului la inundații. De altfel, experiența JBA Consulting a permis realizarea unei ierarhizări a datelor (tipurilor de informații) relevante din acest punct de vedere. Astfel, fără nici o îndoială cel mai important lucru (fără de care nu se poate vorbi de cartografierea hazardului la inundații) este modelul digital al terenului; urmează datele hidrologice (ca *input data*), datele de calibrare și validare ale modelului și datele privind batimetria albiei. În figura nr. 3 se prezintă ierarhizarea datelor funcție de importanța în modelarea inundațiilor.

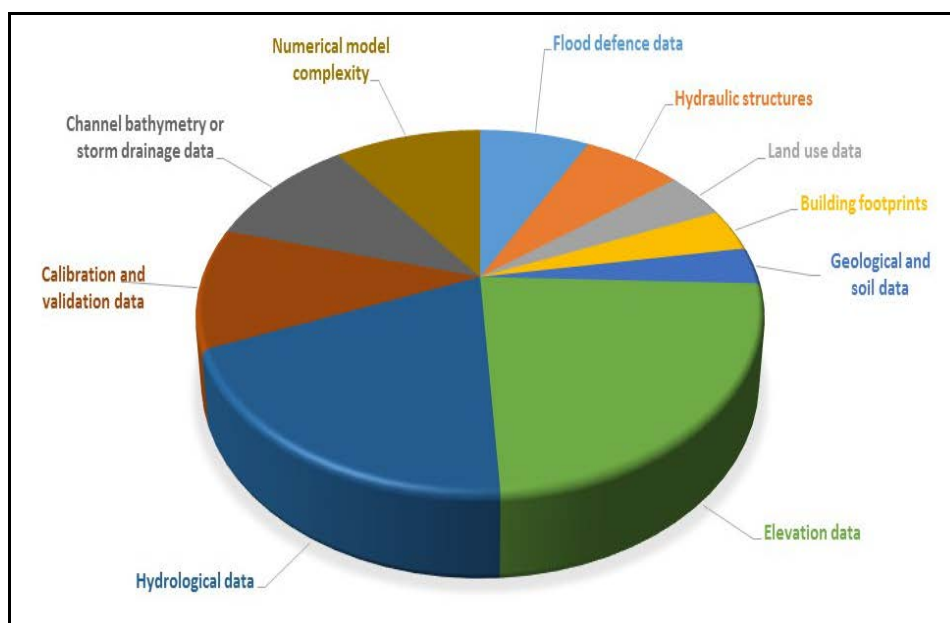


Fig. 3. Importanța datelor în modelarea hazardului și riscului la inundații

Existența unui Model Digital al Terenului de rezoluție bună este indispensabilă atât pentru respectarea angajamentelor pe care România le are ca stat membru al Uniunii Europene în implementarea Directivelor EU Directiva 2007/60/EC, Directiva Cadru Apă 2000/60/CE; Directiva INSPIRE 2007/2/CE) cât și pentru a asigura fundamentarea promovării proiectelor integrate majore în cadrul POIM 2014 – 2020.

În figura nr. 4 se prezintă multiplele beneficii multiple ale unui MDT și a modelării de nivel 3 la scara națională.

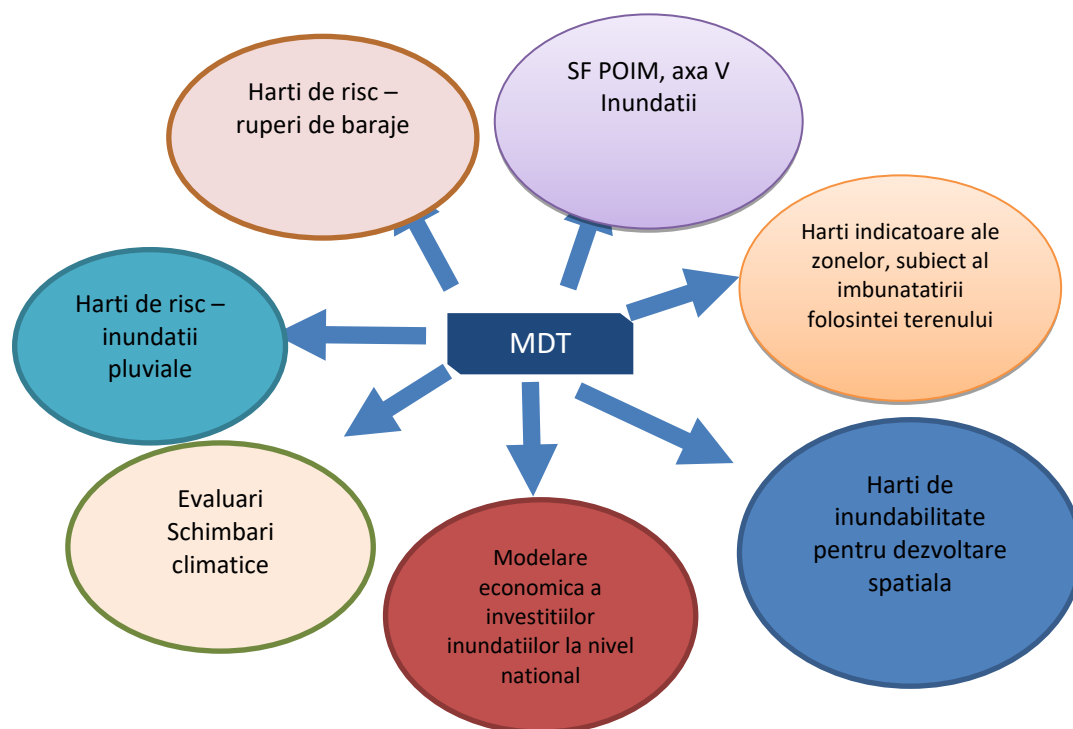


Fig. 4. Beneficiile Modelului Digital al Terenului (MDT)

3. Istoria modelului JFlow®. Caracteristici și capabilități ale modelului

Modelului JFlow® este conceput pentru modelarea foarte rapidă a zonelor inundabile a cursurilor de apă, a inundațiilor pluviale, a ruperilor de baraj (inclusiv într-o cascadă de lacuri de acumulare) precum și în modelarea inundațiilor din apele subterane. Nu este conceput pentru modelarea curgerii prin albie minore și a transportului de sedimente sau a dispersiei poluanților. Modelului hidraulic este implementat pe un grid obișnuit folosind MDT disponibil și nu necesită nici un alt proces de generare a rețelei (gridul secundar). Acest lucru simplifică configurarea modelului și permite interpretarea directă a rezultatelor modelului în raport cu MDT.

Rezultatele modelului JFlow® sunt fie de tip statistic, fie de tip grid, respectiv: hărți de adâncime maximă a apei, viteză și durată (până la care se obține adâncimea maximă) și curbe de hazard (o funcție instantanee de adâncime și viteză). Scenariile pot fi imaginate pentru diverse intensități ale ploii (1 : 10 ani; 1 : 100 ani; 1 : 1000 ani etc), considerând diverse durate ale evenimentului (1, 3, 6 ore). Debitul poate fi furnizat, fie într-o celulă / punct, fie pe întreaga secțiune transversală.

JFlow® a fost evaluat utilizând cazurile de testare propuse de Agenția de Mediu din Marea Britanie (Raportul Stiințific SC080035/SR2 *Evaluarea pachetelor de modelare hidraulică 2D*), performând în raport cu alte modele (MIKE, ISIS).

Principalele repere în evoluția modelului JFlow® se prezintă în cele ce urmează:

- 2002 – se “naște” JFlow®, ca un model 2D de complexitate redusă
- 2007 – se integrează tehnologia GPU pentru modelarea inundațiilor; se lansează JFlow®-GPU (Graphic Processor Unit)
- 2010 – se lansează JFlow® + (JFlow® 7.1)
- 2013 – se dezvoltă JFlow® / interfața ArcGIS și se aduc multiple modificări algoritmilor, având ca rezultat creșteri semnificative ale vitezei de rulare
- 2014 – se lansează JFlow® multiGPU: permite simulări simultane, în paralel (multiple GPU devices); dimensiunea maximă a gridului a crescut de la cca. 27 milioane la 1.7 miliarde celule. Aceasta a conferit modelului o abilitate exponențială de calcul.

Modelul JFlow® a fost proiectat pentru a funcționa în paralel pe Unități de Procesare Grafică (UPG), care să permită rularea modelelor 2D la o rezoluție spațială foarte mare și pe zone extinse. Mai mult decât atât, dezvoltările software-ului au fost realizate în paralel cu un sistem de monitorizare și programare performantă, permițând modelului JFlow® al JBA să ruleze permanent (24/7/365) într-o rețea de computere dedicate. « Rețeaua » JFlow® cuprinde în prezent 250 de mașini și este capabilă să ruleze aproximativ 500 de modele în paralel, devenind astfel cel mai mare supercomputer de modelare a inundațiilor din lume. Dezvoltând acest sistem de modelare a inundațiilor, în ultimii 10 ani s-a reușit obținerea unor îmbunătățiri considerabile în eficiența procesării. Ca urmare a recunoașterii caracterului inovator al algoritmilor JFlow® și a utilizării tehnologiei de vârf GPU, în 2012, JFlow® a câștigat medalia de bronz la *Premiul MacRobert pentru inovare*⁵ al Academiei Regale de Inginerie (*Royal Academy of Engineering's MacRobert Award for innovation*).



Fig. 5. Acordarea premiului pentru inovare MacRobert Award

Modelele sunt configurate folosind baze de date, iar acest lucru oferă un mijloc foarte ordonat de a stoca cantități semnificative de informații. Motorul de modelare este controlat printr-o interfață web, permițând configurarea, funcționarea/rularea și monitorizarea proiectelor și modelelor din orice locație în care este disponibilă o conexiune la internet.

În prezent, JBA a actualizat/upgradat sistemul JFlow® pe dispozitivele NVIDIA GeForce GTX 1080. Dispozitivele GTX 1080 au mai multă memorie, permițând ca modelele de 150-200 milioane de celule grid să fie rulate pe un singur dispozitiv.

Aplicatii ale modelului JFlow®. Studii de caz

a. Harta de inundabilitate la scară națională pentru Anglia și Țara Galilor, pentru inundații pluviale

În anul 2012 JBA a furnizat o hartă actualizată de inundabilitate la scară națională pentru Anglia și Țara Galilor, în cadrul unui studiu comandat de Environment Agency, UK. Această cartografiere a evidențiat cele mai grave situații de inundații sub aspectul extinderii inundațiilor, adâncimilor, vitezelor în mai multe scenarii (1: 30 ani, 1: 100 ani și 1: 1.000 ani). Durata precipitațiilor considerate a fost de o ora, trei și respective șase ore, pentru fiecare perioadă de revenire (în total nouă scenarii modelate). Modelarea hidraulică a fost efectuată la o rezoluție spațială de 2 m. Scara și suprafața acoperită de model au reprezentat o provocare deosebită din punct de vedere al managementului datelor. Cu toate acestea, datorită vitezei JFlow® și a inovării IT importante, s-au realizat cele cca. 70.000 simulări necesare în mai puțin de patru săptămâni. Abordarea utilizată s-a încadrat la nivelul 3 de complexitate. În tabelul nr. 4 se prezintă câteva date tehnice, caracteristice acestui studiu de caz, iar în figura nr. 6 se prezintă un exemplu de hartă de hazard pentru inundații (având sursa pluvială).

Tabelul nr. 4

Date de elevație	MDT rezoluție 2m – bazat pe LIDAR și radar
Prelucrare MDT	5 luni pentru crearea și verificarea a 91,000 prelucrări
Domeniul de modelare	7,100 tiles / grid de 5 km x 5 km (cu 500 m suprapunere)
Model de inundabilitate	JFlow® – 2D SWE Aprox. 70,000 simulări; Durata – 1 luna, 200 computere ruland 24 / 7
Hărți de inundabilitate	15 hărți la nivel național, produse la un grid de rezoluție de 2 m în cca. 1 - 2 săptămâni
Acoperire	Anglia și Țara Galilor

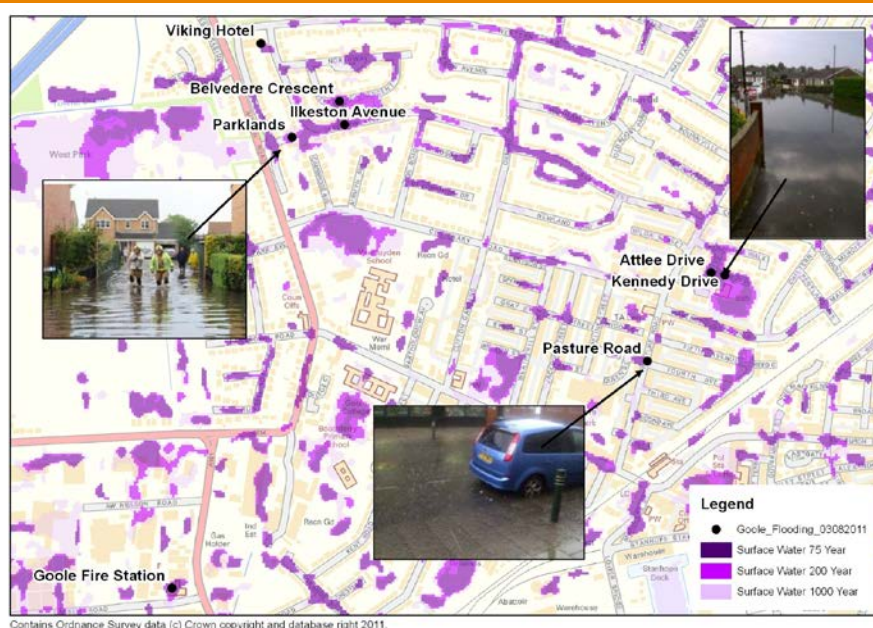


Fig. 6. Harta de hazard pentru inundații (având sursa pluvială), realizată pentru Anglia și Țara Galilor (detaliu)

b. Studiu comparativ JFlow® – TUFLOW, pentru modelarea zonei urbane Glasgow, UK

Prezentul studiu de caz a fost realizat de JBA Consulting, fiind comandat de Agenția de Mediu din Anglia și Țara Galilor și se bazează pe modelarea inundațiilor într-un scenariu ipotetic de blocare a unui canal într-o zonă din apropierea orașului Glasgow; studiul a folosit datele utilizate în studiile comparative de modelare 2D elaborate anterior (Hunter et al., (2008), Lamb et al., 2009). Studiul de caz utilizează un MDT de rezoluție în plan 2 m x 2 m, tip grid (figura nr. 6) și un coeficient de rugozitate cu variabilitate spațială. Un hidrograf de debit ipotetic este aplicat (ca date de intrare a modelului) în punctul marcat în partea dreaptă sus a grid-ului; punctele marcate cu 1, 2, 3 și 4 sunt puncte de monitorizare (figura nr. 7)

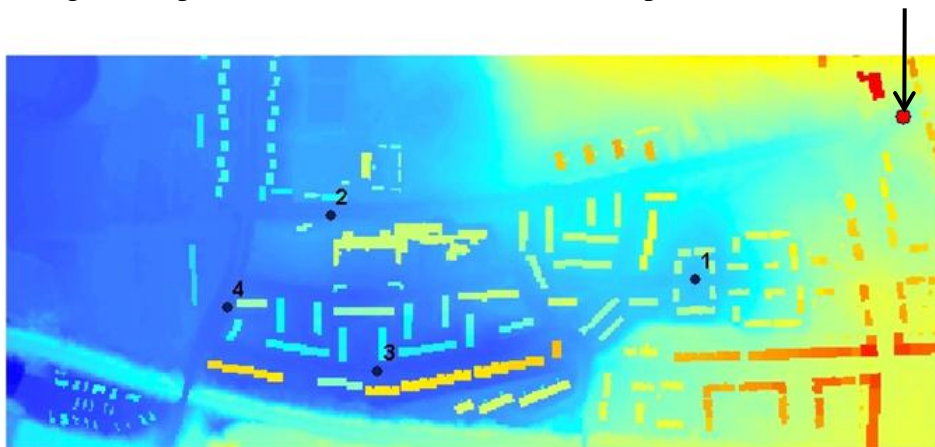


Fig. 7. Studiul de caz – zona urbană Glasgow

Figura nr. 7 prezintă adâncimile maxime de inundație simulate. Deși nu există observații disponibile pentru acest studiu de caz ipotetic, există rezultate ale unor alte modele hidraulice binecunoscute, inclusiv TUFLOW, care este utilizat pe scară largă în studiile de modelare a inundațiilor din Marea Britanie. Pentru comparație, sunt prezentate rezultatele obținute cu modelul TUFLOW.

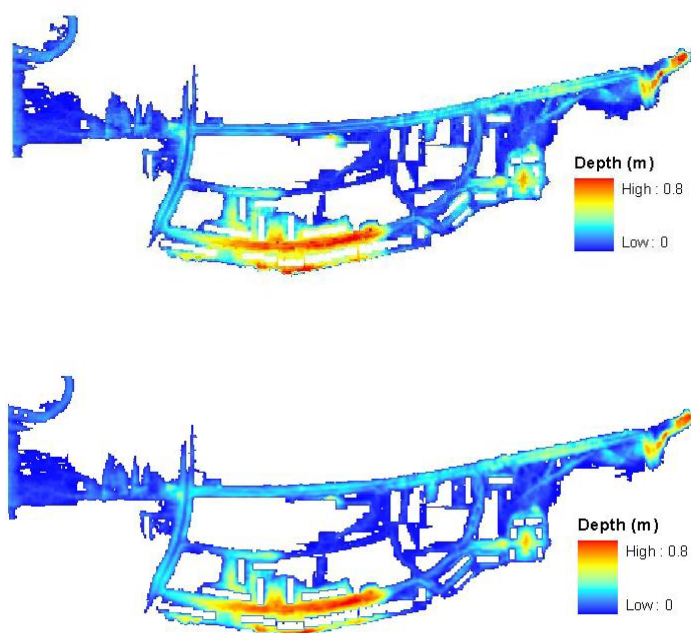


Fig. 8. Gridul de adâncimi maxime. Imaginea de sus: rezultate JFlow®; Imaginea de jos: rezultate TUFLOW

Cu toate că prin utilizarea unor scheme numerice diferite s-au obținut mici / ușoare diferențe ale adâncimilor modelate se poate observa că, la modul general, cele două modele generează rezultate similare, în special cu privire la vitezele maxime (figura nr. 9). Rezultatele obținute prin modelul TUFLOW sunt ușor mai omogene, după cum este de așteptat la un model ce utilizează o schemă numerică cu soluție implicită.

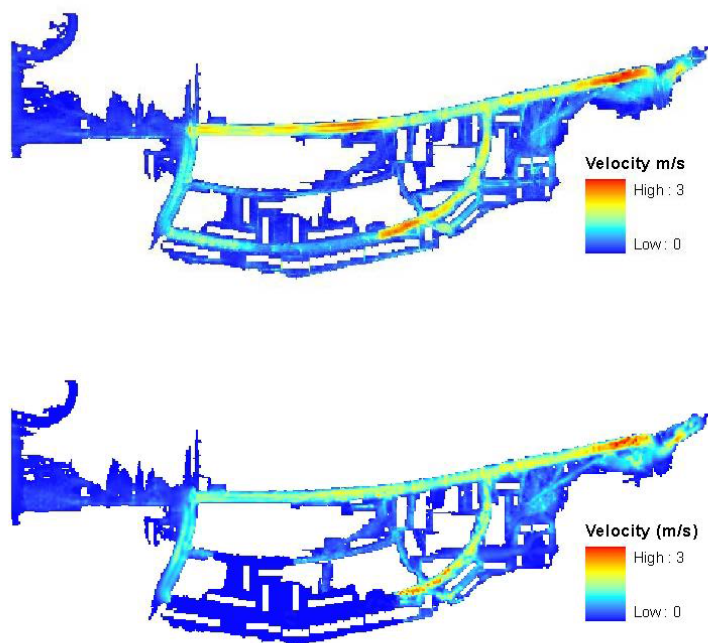


Fig. 9. Viteze maxime ale apei (rezultate grid). Imaginea de sus / superioară: modelul JFLOW®.
Imaginea de jos / inferioară: modelul TUFLOW.

În concluzie, rezultatele testelor realizate demonstrează că schema utilizată de JFlow® furnizează rezultate de adâncime și viteză care sunt comparabile cu alte modele utilizate pe scară largă în industria de software, în cazul unei aplicații de modelare a inundațiilor urbane. De asemenea, arată că implementarea schemei dezvoltate pentru JFlow®, în paralel, pe unități de procesare grafică (GPU) rulează cu o viteză semnificativ mai mare decât codul serial corespunzător pe un procesor convențional.

În cazul acestui studiu de caz (Glasgow), testele standard au fost efectuate utilizând o placă grafică NVIDIA GeForce GTX285. Timpul de rulare pentru simularea test prin metoda JFLOW® GPU a fost de 46 secunde (PC-ul utilizat fiind echipat cu un procesor AMD Phenom II 2.8 Ghz cu 3GB RAM).

c. Elaborarea hărții pluviale de înaltă rezoluție pentru Flandra

În anul 2016, JBA Consulting a fost contractată de Agenția Flamandă de Mediu să dezvolte și să perfecționeze o metodologie pentru cartografierea inundațiilor pluviale, de înaltă rezoluție, adecvată pentru implementarea acesteia în întreaga Flandra. Această metodologie a fost testată pe două zone pilot (două bazine hidrografice din apropierea orașelor Bruxelles și Antwerp), iar rezultatele obținute au fost comparate cu cunoștințele locale și observațiile din evenimentele pluviale anterioare.

Modelele utilizate pentru a crea hărțile pluviale de inundații se bazează pe hietograme aplicate la o rețea obișnuită de model 2D, iar scurgerea rezultată este apoi direcționată pe gridul modelului (rezoluție 2m × 2m, generată de modelul digital de teren de care Flandra dispune pentru întreaga suprafață (rezoluție 1 m). Pentru fiecare celulă a gridului / de rețea, se definește un coeficient de scurgere, bazat pe utilizarea

terenului, tipul solului și pantă, făcându-se o distincție între zonele impermeabile (clădiri și drumuri) și alte zone impermeabile (cum ar fi, de exemplu, rampele de acces privat și terasele). Simulările au fost efectuate utilizând modelul hidraulic JFlow® 2D.

S-au configurat 102 sub-modele pentru perioadele de revenire (T2, T10, T25, T100, T1000), atât pentru situația curentă, cât și pentru orizontul de timp 2100, ținând seama de schimbările climatice.

Rulările au durat aproximativ o lună. Pentru toate scenariile mai sus-menționate s-au realizat hărți de adâncime maximă a inundațiilor și hărți de viteză maximă a curgerii.

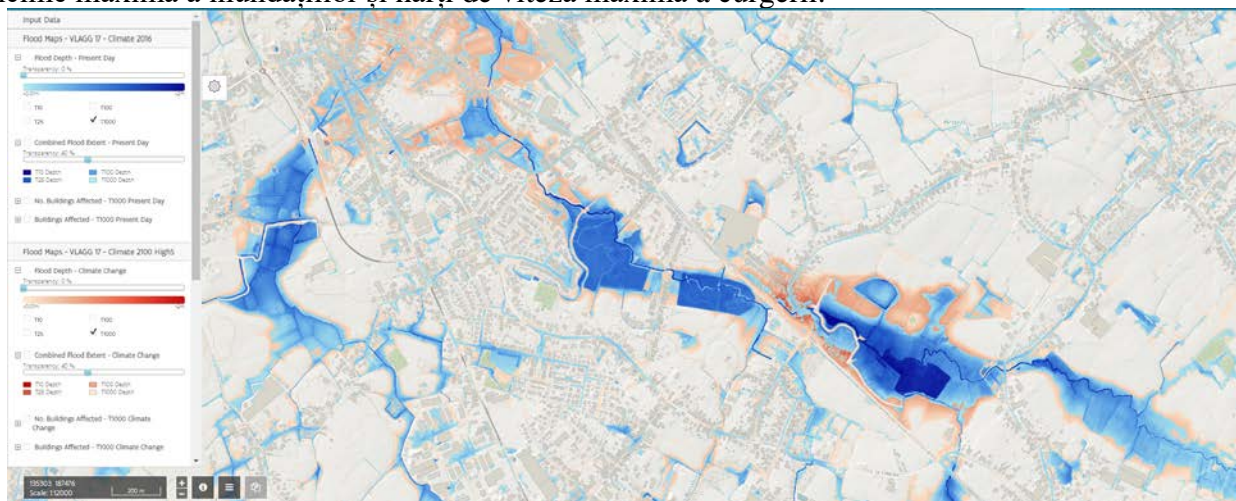


Fig. 10. Harta de adâncime maximă T-1000 în apropiere de Lebbeke - 2016 (albastru) și 2100 (roșu)

S-au realizat și hărți combinate care arată gradul de inundare pluvială pentru diferite perioade de revenire în cadrul aceleiași hărți (integrate). Aceste hărți sunt utile factorilor de decizie din domeniul managementului riscului la inundații (figura nr. 11).

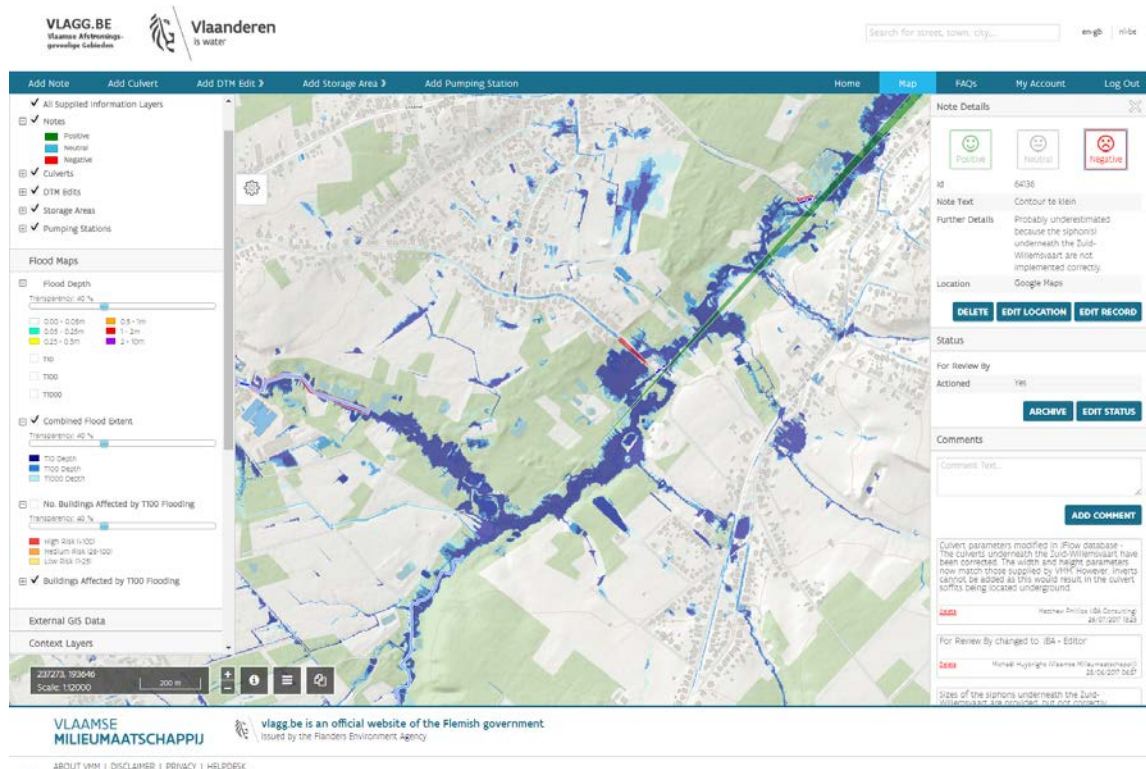


Fig. 11. Captură de ecran a website-ului elaborat în cadrul proiectului (www.VLAGG.be). Hărți combinate de inundații în apropiere de Opglabbeek cu observații / comentarii de revizuire on-line

Hărțile au făcut obiectul unui proces de revizuire externă; astfel, un prim draft al hărții pluviale de inundații a fost prezentat părților interesate / factorilor de decizie în domeniu, împreună cu un website specializat, elaborat pentru revizuire hărți online, permițând afișarea rapidă a tuturor adâncimilor în diferite scenarii (T10, 100 și 1000)

Toate municipalitățile implicate (peste 300), operatorii de apă și administrațiile de drumuri au fost invitate să evalueze calitatea hărților în zona în care își desfășoară activitatea. Pe baza expertizei locale a acestora, s-au transmis online scoruri pozitive, neutre sau negative pentru locațiile analizate, pe care au evidențiat-o pe hartă, inclusiv opinii cu privire la supra- sau subestimarea benzilor de inundabilitate (referitor la contur). În cazul evaluărilor negative, evaluatorii externi au fost invitați să furnizeze informații suplimentare în cadrul sistemului.

Utilizatorii au avut opțiunea de a adăuga informații suplimentare cu privire la canale, poduri (inclusiv dimensiuni), de a propune o editare a modelului digital de teren sau de a adăuga stații suplimentare de pompare și / sau zone de retenție. Cu integrarea acestor informații locale, extrem de valoroase, simulările au fost reluate apoi.

Dezvoltarea colaborativă a hărții pluviale de inundații a fost primită deosebit de pozitiv. Abordarea de modelare propusă, bazată pe interfața web capabilă să integreze expertiza locală a generat rezultate performante, de înaltă clasă care au depășit rezultatele clasice furnizate (doar) de modelele de inundabilitate.

Se preconizează că această hartă a inundațiilor pluviale să fie utilizată în raportarea către Comisia Europeană, împreună cu hărțile fluviale și costiere, generate și raportate de Flandra anterior, în ciclul 1, astfel încât să completeze informațiile solicitate de CE sub aspectul surselor de inundații.

4. Viziune strategică privind abordarea viitoare a cartografierii riscului la inundații în România

România se confruntă cu inundații în fiecare an, valoarea pagubelor anuale, în medie, fiind de cca. 250 milioane de euro. Ca răspuns la acestea, autoritățile din domeniul apelor au investit în ultimul deceniu în modelarea și cartografierea inundațiilor fluviale cca. 50 milioane de euro. Unul din programele de mare anvergură dedicate acestui obiectiv a fost Programul național, finanțat de la bugetul de stat și prin POIM – Axa V Inundații, *Planul național pentru prevenirea, protecția și diminuarea efectelor inundațiilor*, program care a presupus o multitudine de activități considerate „pionierat” pentru România, la data demarării acestui program (anul 2005).

Politica românească de reducere a riscului de inundații fluviale se bazează pe o strategie care presupune o combinație de măsuri privind protecția, prevenirea și pregătirea pentru a reduce riscul de inundații într-un mod sustenabil. Un rol semnificativ în implementarea măsurilor respective îl joacă hărțile de inundabilitate disponibile. Deși în decursul ultimului deceniu studiile bazate pe modele hidraulice 1D s-au dezvoltat în mod spectaculos, contribuind la calitatea îmbunătățită a hărților de hazard, nu trebuie uitat că acuratețea acestor hărți este strâns legată de calitatea modelului numeric digital al terenului.

În plus, trebuie remarcat faptul că în conformitate cu cerințele Directivei 2007/60/EC statele membre ale UE trebuie să furnizeze Comisiei Europene informații privind sursa inundațiilor. Dat fiind faptul că România a raportat numai inundații fluviale în primul ciclu de raportare a Directivei (în procesul elaborării hărților de hazard și de risc la inundații), devine evident că este necesară o cartografie suplimentară a inundațiilor pluviale cu atât mai mult cu cât în decursul ultimilor ani România a experimentat o serie de inundații pluviale, care au provocat daune semnificative și, din păcate, cele mai

multe victime omenești. Aceste evenimente ilustrează în mod clar necesitatea unor hărți pluviale de inundații la nivel local, de municipalitate, care să fie integrate în politica de planificare spațială / teritorială și în politicile existente privind managementul apei, dar în egală măsură și a unei hărți pluviale de inundații la nivel de țară, care să pună în evidență zonele unde sistemele de drenaj ale apelor de suprafață sunt deficitare sau zonele cu potențial de stocare (zonele umede viitoare).

Mai mult decât atât, în conformitate cu Ghidurile U.E. și cerința expresă a Directivei 2007/60/EC, viitoarele Planuri de Management al Riscului la Inundații (ciclul 2) trebuie să ia în considerare zonele de extindere a inundațiilor și zonele care au potențialul de a reține apa (cum ar fi luncile naturale) și trebuie să promoveze practici de utilizare durabilă a terenurilor, măsuri de îmbunătățire a retenției apei, măsuri de inundare controlată a anumitor zone, managementul integrat al apei și al solului, protecția mediului etc. În acest fel se va asigura și coordonarea mai bună a celor două Directive, Directiva Cadru Apă, respectiv Directiva Inundații. Fără un Model Digital al Terenului adecvat însă aceasta integrare nu va fi posibilă.

Având în vedere cele prezentate anterior, respectiv necesitățile cartografice ale României (inclusiv sub aspectul acoperirii naționale, rezoluției etc.) dar și obligativitatea angajamentelor pe care România le are ca stat membru al Uniunii Europene în implementarea Directivelor EU (cu precădere Directiva 2007/60/EC și Directiva INSPIRE 2007/2/CE), rezultă că o modelare bidimensională la scară largă folosind abordările convenționale nu este eficientă. În aplicațiile practice de modelare a inundațiilor este nevoie de schemă numerică robustă și stabilă, care să facă față unor situații reale, cum ar fi propagarea undelor de viitură în zonele adiacente cursului de apă (pe un teren uscat) și / sau peste praguri (cazul ruperilor de pantă a albiilor). În plus, viteza de calcul devine din ce în ce mai importantă în cazul utilizării analizei de scenarii și a tehnicilor de tip Monte Carlo (tehnică statistică utilizată în modelarea sistemelor probabilistice cu determinarea probabilităților unei varietăți de rezultate), care necesită realizarea a numeroase simulări.

Un model rapid (*“quick”*), ca JFlow®, reprezintă o soluție potențială pentru cartografierea hazardului la inundații la scară națională sau regională (la scara bazinului hidrografic). Pentru cartografierea inundațiilor pe scară largă (de exemplu, la nivel național), autorii recomandă / consideră pe baza experienței anterioare că cea mai practică și eficientă soluție este construirea unei rețele de PC-uri echipate cu hardware GPU. Dezvoltarea instrumentelor software adecvate permite utilizarea unei astfel de resurse fie pentru analize cu volume mari de informație, precum în cazul analizelor de tip Monte Carlo, fie pentru programarea simulărilor / testărilor individuale.

Modelul JFlow® poate fi utilizat în managementul strategic al riscului la inundații și, mai mult decât atât, constituie un instrument suport foarte bun în investigarea posibilităților de atenuare naturală a viiturilor. Având în vedere că utilizează platforme computaționale GPU, timpii de rulare sunt reduși semnificativ.

Modelul poate fi testat ușor în diferite scenarii (schimbări climatice, promovarea unor investiții și testarea efectelor hidraulice al implementării acestora) și este construit ca un instrument de comunicare / vizualizare (2D). În prezent, este aplicat, la scară națională, în 168 de țări din lume.

Recent, a fost folosit pentru prima dată în România, pentru dezvoltarea primei hărți de inundabilitate pluvială pentru București și zona metropolitană.

Bibliografie

- [1] G. Vaes, P. Willems, 2003. *Areal rainfall correction coefficients*. 6th international workshop on precipitation in urban areas, Pontresina, Switzerland.
- [2] R. Lamb, A. Crossley, S. Waller, 2009. *A Fast-Two-Dimensional Floodplain Inundation Model*. Proceedings of the ICE - Water Management 162(6), 363-370.
- [3] A. Crossley, R. Lamb, S. Waller, P. Dunning, 2010. *Fast 2D Flood Modelling using GPU Technology*. European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, Austria.
- [4] A. Crossley, R. Lamb, S. Waller, 2010b. *Fast solution of the shallow water equations using GPU technology*, BHS International Symposium, Newcastle, UK.
- [5] H. Tabari, M.T. Taye, P. Willems, 2014. *Bijsturing van de Vlaamse klimaatscenario's voor hydrologische en hydrodynamische impactanalyse inclusief hydrologische extremen, studie uitgevoerd in opdracht van de Afdeling Operationeel Waterbeheer*.
- [6] Rădulescu D., Rândașu S., Chendeș V., Ion M.B., Mătreacă M., Achim D., Ghiță E., 2014. *Aspecte privind desemnarea zonelor cu risc semnificativ la inundații și elaborarea hărților de hazard la inundații în România în vederea îndeplinirii prevederilor Directivei 2007/60/CE*, Lucrările Conferinței științifice Anuale a Institutului Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, București, ISBN 978-973-0-18825-7
- [7] Chendeș V., Rădulescu D., Rândașu S., Ion M. B., Achim D., Preda A. , 2015. *Aspecte metodologice privind realizarea hărților de risc la inundații raportate în cadrul Directivei 2007/60/EC*, Hidrotehnica
- [8] Kris Cauwenberghs, Tom Feyaerts, Neil Hunter, Joost Dewelde, Thomas Vansteenkiste, Michael Huybrighs, Guido Vaes, Rob Berry, 2017. *Collaborative development of high resolution pluvial flood maps for Flanders*
- [9] ****Technical support in relation to the implementation of the floods directive (2007/60/EC) - A user guide to the floods reporting schemas*, 2013.