

# CALCULUL PERFORMANT: OPORTUNITĂȚI ȘI PERSPECTIVE PENTRU CERCETARE

*Dr. Petru BOGATENCOV  
Dr. Grigore SECRIERU  
Institutul de Matematică  
și Informatică, AȘM*

*HIGH PERFORMANCE COMPUTING: OP-  
PORTUNITIES AND PERSPECTIVES FOR RE-  
SEARCHES*

*The role of High Performance Computing (HPC) in the modern scientific research is crucial. It considerably determines the level of development of the scientific knowledge based society. Mathematical modeling forms a solid theoretical and applied basis in describing, simulating and studying the complex problems. The regional and European cooperation in the field of HPC represents an important factor for developing the area of scientific research and perspectives of the European future for our state.*

## Introducere

Ultimele cinci decenii se caracterizează prin dezvoltarea vertiginoasă a instrumentelor (hardware) și tehnologiilor de calcul, fapt care a avut un impact semnificativ asupra cercetării, educației, economiei și societății în ansamblu. Transpunerea pe calculator a modurilor de rezolvare a problemelor, în funcție de complexitatea acestora, este o abordare generală și presupune elaborarea unor succesiuni de operații (numită programă-software) care, fiind descrise într-un limbaj de programare și executate de calculator, urmează să ducă în mod univoc la obținerea soluțiilor numerice.

Conceptul clasic al lui Von Neumann despre computerul serial a fost incorporat în mașinile de calcul, a căror viteză de calcul a crescut considerabil odată cu înlocuirea tuburilor cu tranzistore și circuite integrate. Totuși, un semnal electric se propagă într-un mediu cu o anumită rapiditate ce determină limita fizică a numărului de operații pe secundă.

Următorul pas în creșterea vitezei de calcul s-a datorat paralelismului și calculatoarelor cu procesoare multiple. Un algoritm paralel permite efectuarea simultană a mai multor operații la un calculator cu multe procesoare. În acest context un rol

important îi aparține tehnologiilor HPC (High-Performance Computing – calculul performant), bazate pe supercalculatoare cu multiple procesoare, tehnologii Grid, Cloud computing etc. Ca urmare, este de menționat faptul că puterea de calcul a supercalculatoarelor a depășit pragul fenomenal de peta ( $10^{15}$ ) operații pe secundă în anul 2008.

Acest articol prezintă evoluția calculatoarelor seriale și a calculatoarelor cu procesoare multiple, aspecte de transpunere practică în modelarea proceselor fizice (dinamica gazului, mecanica corpului solid) și experiența autohtonă de participare la realizarea proiectului 261499 HP-SEE (High-Performance Computing Infrastructure for South East Europe's Research Communities) [1], finanțat de Comisia Europeană în cadrul programului PC7, precum și la realizarea altor proiecte internaționale în domeniul calculului performant.

## Evoluția tehnicii de calcul: probleme și soluții

Pentru exemplificare și o mai bună înțelegere a noțiunilor și tehnologiilor expuse, în continuare vom trece în revistă unele aspecte importante ale evoluției mașinilor de calcul.

Primele încercări în acest sens datează de prin secolul al XVII-lea. Este vorba, bunăoară, de mașina inventată de Blaise Pascal în anul 1642.

Un salt esențial și principal s-a produs în anii 1944-1946 odată cu apariția primelor calculatoare electronice seriale în baza arhitecturii cu program memorat von Neumann. Unul dintre acestea ar fi, de exemplu, calculatorul ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator).

Ideile arhitecturii cu program memorat au avut consecințe tehnologice și organizatorice importante prin transmiterea calculatorului însuși a funcției de gestionare a procesului de calcul prin intermediul unei liste de instrucțiuni. Prin urmare, omul a fost îndepărtat pentru totdeauna de la realizarea fizică a procesului de calcul. Cu timpul, design-ul și performanțele tehnice ale calculatoarelor s-au dezvoltat considerabil în comparație cu anii patruzeci ai secolului trecut, dar principiile arhitecturii von Neumann stau în continuare la baza calculatoarelor contemporane.

Un computer de tip „scalar” conține un singur procesor central. La baza unui sistem de calcul paralel se află un computer cu mai multe procesoare (numite nuclee sau miezuri), care lucrează concomitent, fiind numit și supercalculator datorită unor caracteristici fenomenale de calcul. Imaginea celui mai puternic supercalculator din lume este văzută în figura 1.



Figura 1

**Clasificația sistemelor de calcul paralel:  
performanță și realizări**

Odată cu înlocuirea tuburilor cu tranzistore și circuite integrate a crescut considerabil viteza de calcul. Dar pentru modelarea numerică a problemelor complexe cu care se confruntă știința și tehnica, se cer calculatoare cu o putere de calcul tot mai mare.

O altă direcție în căutarea metodelor de mărire a vitezei de calcul este paralelismul, care permite efectuarea simultană a mai multor operații [2]. Structura unui sistem modern de calcul paralel e constituită în continuare din componenta tehnică hardware și componenta produselor program (software). Modul de calcul al supercomputerelor se numește „calcul paralel”. Prin calcul paralel numim realizarea în paralel pe mai multe procesoare a unor instrucțiuni care pot fi aceleași sau diferite. Preventiv, problema este supusă divizării în sub-probleme mai simple care pot fi rezolvate simultan. Această idee de subdivizare stă la baza calculului paralel în scopul rezolvării mai rapide a unei probleme.

Programarea paralelă nu este o simplă extensie a programării seriale. Experiența arată ca modul de abordare a eficienței algoritmilor bazați pe tehnici seriale nu este același în cazul paralel. Pe de o parte,

nu toți algoritmi secvențiali pot fi paralelizați. Pe de altă parte, o mulțime de algoritmi numerici seriali standard dispun de un grad înalt de paralelism: conțin numeroase segmente de calcul, care sunt independente unul de altul și pot fi executate simultan la calculatoare cu multe procesoare. Viitorul calculatoarelor paralele depinde, în mare măsură, de efortul care se face pentru elaborarea celor mai eficienți algoritmi paraleli.

O altă problemă este viteza totală de calcul care depinde de numărul de procesoare și de arhitectura internă a supercalculatorului, de însăși problema, de metoda de programare utilizată și de alți factori. Un supercalculator funcționează coordonat astfel încât se atinge o mare și totală performanță de calcul. În acest domeniu există o listă (actualizată de două ori pe an) a celor mai rapide 500 de supercalculatoare din lume („Top 500”), care se bazează pe testul standardizat „Linpack” [3]. În tabelul 1, conform ediției 38 a „Top 500” din noiembrie 2011, sunt prezentate primele trei cele mai rapide supercalculatoare și cel mai puternic supercalculator din fostele republici URSS.

Viteza de calcul (performanța) a celor mai puternice supercalculatoare din lume se măsoară în

*Tabelul 1*

Locul	Calculatorul	Numărul de nuclee	Viteza (PetaFlops)	Țara
1.	<a href="#">K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect</a>	705024	10.5	Japonia
2.	<a href="#">NUDT YH MPP, Xeon X5670 6C 2.93 GHz, NVIDIA 2050</a>	186368	2.5	China
3.	<a href="#">Cray XT5-HE Opteron 6-core 2.6 GHz</a>	224162	1.7	SUA
	...			
18.	<a href="#">T-Platforms T-Blade2/1.1, Xeon X5570/X5670 2.93 GHz, Nvidia 2070 GPU, Infiniband QDR / 2011 T-Platforms</a>	33072	0.67	Rusia

Peta ( $10^{15}$ ) Flops. Flops este acronimul expresiei din limba engleză „Floating point Operations Per Second (operații în virgulă mobilă pe secundă)” și reprezintă o măsură a performanței calculatorului, îndeosebi în domeniul calculelor științifice unde se folosește frecvent calculul în virgulă mobilă.

În prezent, Japonia găzduiește cel mai rapid calculator din lume „**K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect**”, cu 705024 nuclee și o viteză de 10.5 PetaFlops. Dar un nou pas este anunțat să-l facă compania americană Cray care își propune să creeze în anul 2013 un sistem (numit Titan) cu o putere de 20 PetaFlops pentru suma de 97 milioane de dolari.

Cu certitudine că provocarea de a construi cel mai puternic supercalculator din lume continuă. Modelul paralel depinde, în mare măsură, și de caracteristica memoriei accesate de procesoare: partajată, distribuită sau mixtă. Dinamica creșterii puterii de calcul în ultima perioadă de timp se prezintă în felul următor:

- Anul 1988: Cray Y-MP cu 8 procesoare, viteza GigaFlops ( $10^{12}$ );
- Anul 1998: Cray T3E cu 1 024 procesoare, viteza TeraFlops ( $10^{12}$ );
- Anul 2008: Cray XT5 cu 150 000 procesoare, viteza PetaFlops ( $10^{15}$ ).

De unde și concluzia că fiecare zece ani puterea de calcul se majorează de 1 000 de ori (numărul procesoarelor de circa 100 de ori). O simplă extrapolare ne sugerează depășirea barierei de 1 ExaFlops -  $10^{18}$  operații în virgulă mobilă pe secundă în jurul anului 2018.

În apropierea Republicii Moldova cel mai performant calculator se află în România, supercalculatorul „**IBM BlueGene/P**”, pornit în Universitatea de Vest din Timișoara în anul 2011 [4]. Este un calculator cu o putere de calcul de 13 Tera Flops ( $10^{12}$ ) care a costat 1 milion de euro, realizat în cadrul unui proiect internațional în valoare totală de 10 milioane de euro finanțat din fondurile europene, care se va finaliza în anul 2013 cu amenajarea a 60 de laboratoare.

În Republica Moldova funcționează clustere cu multe procesoare la USM (Universitatea de Stat a Moldovei) și IMI (Institutul de Matematică și Informatică) al AȘM. La USM clusterul are 48 de procesoare și a fost lansat în cadrul unui proiect internațional CRDF-MRDA. În AȘM clusterul cu procesoare de tip Two Intel Xeon 5130 (Quad Core), care conține 48 de procesoare, a fost creat în urma cooperării dintre IMI AȘM și Asociația RENAM. Puterea de calcul a acestor clustere este modestă în comparație cu calculatoarele menționate anterior din „Top 500” și din România.

### Colaborarea regională și europeană în domeniul HPC

Instituțiile europene acordă o deosebită atenție dezvoltării resurselor și tehnologiilor HPC prin lansarea de inițiative importante. În ultimii ani, aceste inițiative vizează crearea centrelor de supercomputere și integrarea lor într-o infrastructură unică europeană de HPC. Având în vedere contribuțiile valoroase direcționate spre dezvoltarea resurselor HPC, în Europa a fost elaborată și pusă în aplicare modalitatea utilizării colective a resurselor unice și costisitoare de calcul.

În prezent, coordonarea activităților în domeniul respectiv este organizată în cadrul valorosului proiect european PRACE (*Partnership for Advance Computing in Europe* – Parteneriatul pentru Computing avansat în Europa). Inițiativa PRACE nu este doar un proiect, ea reprezintă de asemenea și asociația pan-europeană, activitatea căreia este orientată spre crearea unei Ecosisteme unice de calculatoare, care va reuni furnizori de resurse de calcul și diverse comunități de utilizatori – instituții academice, instituții de învățământ, firme specializate de HPC software, întreprinderi mari, mici și mijlocii.

Infrastructura unică HPC în dezvoltare include mai multe nivele și poate fi reprezentată ca o piramidă. În vârful acestei piramide stau resursele de calcul – nivelul zero (*Tier-0*), care constituie 6-7 centre de supercomputere de calitate europeană (cu o putere de calcul de petaflops); mai jos se plasează resursele nivelului 1 (*Tier-1*) – nivelul centrelor naționale de supercomputere. La baza piramidei sunt plasate resursele nivelului 2 (*Tier-2*) – sistemul centrelor HPC a instituțiilor de cercetare, universităților și companiilor mari. Pentru resursele de calcul ale fiecărui nivel, în cadrul inițiativei PRACE, sunt elaborate cerințe specifice și fiecare sistem trebuie să fie certificat pentru a putea fi inclus în infrastructura europeană unică HPC.

Odată cu inițiativele pan-europene, Comisia Europeană sprijină dezvoltarea infrastructurilor și serviciilor HPC pentru comunitățile regionale. Pentru Moldova importantă este participarea în proiectul regional HP-SEE (High-Performance Computing Infrastructure for South East Europe’s Research Communities) [1,5].

Obiectivele de bază ale proiectului HP-SEE țin de dezvoltarea instrumentelor de organizare a accesului la infrastructura și serviciile HPC în regiunea Europei de Sud-Est și asigurarea comunității de cercetare multidisciplinare cu acces la resursele și serviciile de calcul performant cu dezvoltarea programării paralele.

Conceptul proiectului consolidează împreună 14 țări din regiunea europeană de Sud-Est. Proiectul

a pornit cu doar câteva instalații HPC disponibile, inaccesibile pentru cercetările transfrontaliere, în timp ce țările cu puține resurse, ca Republica Moldova, nu au nici măcar mecanismul stabilit pentru interfața pan-europeană a inițiativei HPC. Inițiativa europeană HP-SEE condiționează participarea egală a tuturor țărilor din regiune la dezvoltarea eInfrastructurii în conformitate cu tendințele europene.

Proiectul HP-SEE se concentrează pe o serie de acțiuni strategice. În primul rând, pe unirea instalațiilor existente și viitoare HPC din regiune într-o infrastructură comună și oferirea soluțiilor operaționale pentru ea. În al doilea rând, pe deschiderea accesului la infrastructuri HPC pentru comunități de utilizatori noi, inclusiv cele din țările cu resurse modeste, încurajarea colaborării și furnizarea de capacități cercetătorilor, cu accente asupra grupurilor strategice din fizica computațională, chimie și științele vieții.

În cele din urmă, se va asigura crearea de inițiative naționale HPC. Proiectul HP-SEE are ca scop atragerea sprijinului politic și financiar local pe termen lung pentru eInfrastructura durabilă.

Resursele de calcul pentru infrastructura regională HPC sunt furnizate de către organizațiile din șase țări: Grecia, Bulgaria, România, Ungaria, Serbia, Macedonia.

Alcătuirea internă a infrastructurii regionale HPC este eterogenă, cuprinde supercomputere, Intel / AMD CPU și GPU clustere. Resursele HPC disponibile pentru comunitatea de utilizatori include supercalculatorul Blue Gene / P instalat la Agenția Executivă „**Electronic Communications Networks and Information Systems**” în Centrul de Supercomputing bulgar (BGSC), constituit din două rack-uri, 2048 PowerPC 450 de noduri de calcul cu 8192 de nuclee de procesare și un total de 4 TB (tera bait) de memorie de acces aleatoriu. Sunt acceptate paradigme paralele de programare MPI și OpenMP. O altă sursă este clusterul HPCG IICT plasat în Academia de Științe a Bulgariei. El are 576 de nuclee, organizate într-un sistem „blade”. Există perspective de colaborare cu instituția parteneră Universitatea de Vest din Timișoara (România) privind accesul cercetătorilor moldoveni la supercalculatorul Blue Gene / P.

Este planificat a se adapta pe aceste resurse 26 de aplicații, printre ele și aplicația din IMI AȘM – <http://www.hp-see.eu>.

În cursul derulării proiectului în Republica Moldova, au fost specificate și propuse pentru a fi realizate tehnologii de asigurare a accesului la resursele și serviciile de calcul performant, disponibile în cadrul infrastructurii HPC care se dezvoltă în spațiul SEE. În acest scop a fost modernizată

infrastructura clusterului IMI și organizată testarea unor forme de acces la resursele HPC pentru utilizatorii finali. IMI-RENAM Grid cluster (8 servere) a fost complet transferat pe platformă de virtualizare Citrix XenServer. Au fost obținute conturi de acces pentru specialiștii IMI AȘM către resursele HPC ale Academiei de Științe a Bulgariei (IICT-BAS) și SGI UltraViolet 1000 supercomputer instalat în Academia de Științe a Ungariei (National Information Infrastructure Development Institute – NIIFI). A fost organizată testarea accesului către resursele HPC a clusterului instalat în IICT-BAS și aplicațiilor respective elaborate în IMI AȘM. Persoane din Republica Moldova au participat la o serie de training-uri specializate, care au fost organizate în cadrul cooperării proiectelor HP-SEE, LinkSCEEM-2 și PRACE HPC.

Proiectul internațional HP-SEE include participanți din Republica Moldova: Asociația RENAM (*National Research and Educational Network of Moldova* – Rețeaua Științifico-Educativă Națională din Moldova) și IMI AȘM [5]. Eforturile RENAM sunt concentrate asupra implicării comunităților naționale de utilizare a infrastructurii regionale pentru activități de calcul performant, de formare și asistență operațională. Principala sarcină a IMI AȘM este dezvoltarea de aplicații HPC și realizarea lor în cadrul infrastructurii HPC regionale. RENAM și IMI AȘM sunt implicați în comun în promovarea ideilor proiectului, în organizarea și participarea la evenimente de training la nivel național și regional.

Obiectivele proiectului HP-SEE se încadrează în direcția cercetărilor aplicative legate de tehnologiile calculului performant cu utilizarea calculatoarelor cu multe procesoare. Impactul acestor obiective va contribui la sporirea avansării competitivității potențialului uman și prezintă interes pentru cercetătorii în domeniul matematicii, fizicii, chimiei, medicinei etc. în vederea soluționării problemelor complexe care necesită resurse majore de calcul.

Proiectul urmărește consolidarea colaborării științifice și stimularea cercetării performante prin acțiunile care vizează constituirea inițiativelor HPC pentru a contribui la dezvoltarea regională și alinierea țărilor din Sud-Estul Europei la tendințele pan-europene HPC.

### Modelări practice și aplicații concrete

Scopul principal al unui model matematic este de a îngloba principalele caracteristici ale fenomenului modelat cu un grad înalt de aproximație, astfel încât modelul să poată fi utilizat pentru analiză și predicție. Alternativa modelării matematice o constituie experiența fizică (naturală), dar foarte costisitoare sau imposibilă în multe probleme practice.

În această ordine de idei, modelele numerice, împreună cu sistemele de calculul paralel, tehnologiile cloud computing și Grid, furnizează o perspectivă amplă și eficientă pentru soluționarea problemelor științifice complexe.

Problematica modelării matematice și elaborării metodelor moderne de calcul pentru simularea numerică a curgerii gazelor/fluidelor și dinamicii corpului solid este un domeniu de cercetare practicat de mulți ani în IMI AȘM. În continuare vor fi prezentate rezultatele modelării numerice a unor probleme concrete [6-8].

Procesul curgerii gazelor/fluidelor este modelat în baza unui set de ecuații diferențiale în derivate parțiale, completate de ecuațiile suplimentare care descriu diverse proprietăți fizice specifice. Aceste ecuații sunt discretizate prin diferite metode, cum ar fi metoda diferențelor finite. Pentru a majora eficiența calculului numeric se folosesc metodele grilelor adaptive AMR (Adaptive Mesh Refinement). Tehnologia AMR se bazează pe structura ierarhică a celulelor. Fiecărui nivel de ierarhie îi corespunde nivelul spațial și temporal de soluționare. O astfel de organizare oferă posibilitatea de a adăuga local și dinamic în punctele necesare ale rețelei numărul necesar de celule. O atare metodă are un grad înalt de eficacitate la rezolvarea problemelor dinamicii gazelor, în care apar discontinuități considerabile ale parametrilor.

*Dinamica curgerii gazelor.* Fundamentul teoretic al modelării curgerii gazelor reprezintă ecuațiile Navier-Stokes, care descriu curgerea unei faze de gaz unice. Eliminând din aceste ecuații termenii care descriu viscozitatea, se obține un model mai simplu, descris de ecuațiile lui Euler:

Prin urmare, modelarea procesului curgerii

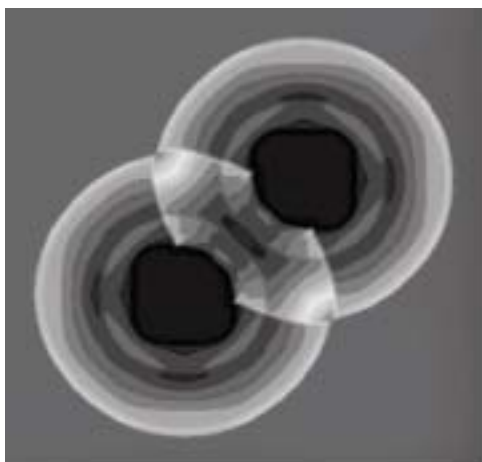
gazelor se reduce la rezolvarea setului de ecuații, completat de numeroase ecuații suplimentare, pentru tratarea schimbului de căldură, gravitației sau a fazelor disperse etc. Domeniul de modelat este divizat în celule mici, rezultând în rețele de discretizare cu multe noduri. Ecuațiile, scrise pentru fiecare nod, sunt asamblate într-un sistem de ecuații global, necesar de rezolvat.

Soluțiile obținute prin modelare sunt validate prin compararea cu valori măsurate pe standuri experimentale (de exemplu, tunele aerodinamice), sau cu soluțiile problemelor test.

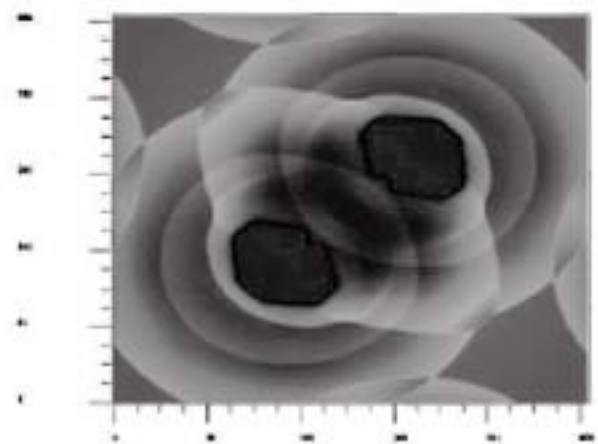
Experimentul numeric se referă la soluționarea problemei Sedov-Taylor de explozie într-un punct (răspândirea undei de șoc sferic-simetrică), complicată prin explozia în două puncte de putere egală și interacțiunea undelor de șoc. Acest exemplu servește și ca test care oferă posibilitatea verificării calității schemei în diferențe finite, prezența sau lipsa oscilațiilor în urma frontului undelor de șoc și gradul de abrupere a frontului undei de șoc. Figura 2 reprezintă modelarea numerică a interacțiunii undelor de șoc în două momente de timp: a) -  $t=2.2631$  și b) -  $t=4.6978$ .

Rezultatele calculului numeric prezentate au fost realizate pe grile consecutiv imbricate cu dimensiuni  $1024 \times 1024 \times 1024$  și 5 nivele de imbricare. S-a demonstrat că algoritmul efectiv se paralelizează pe 8-12 procesoare.

*Dinamica corpului solid.* În practică se folosesc diverse obiecte, precum rezervoarele pentru depozitarea substanțelor inflamabile, toxice și chimice, care pot fi supuse sarcinilor intensive. Investigarea stării acestor obiecte prezintă un interes semnificativ în vederea reducerii riscului de dezastră și de impact asupra mediului. Dinamica învelișului elastoplastic îngropat în sol sub presiunea încărcării explozive se



a)



b)

Figura 2

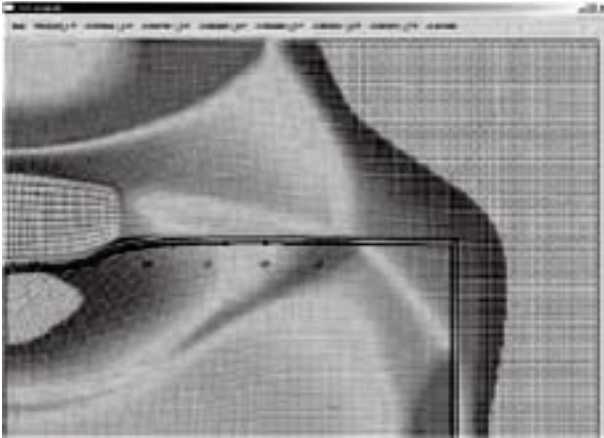


Figura 3

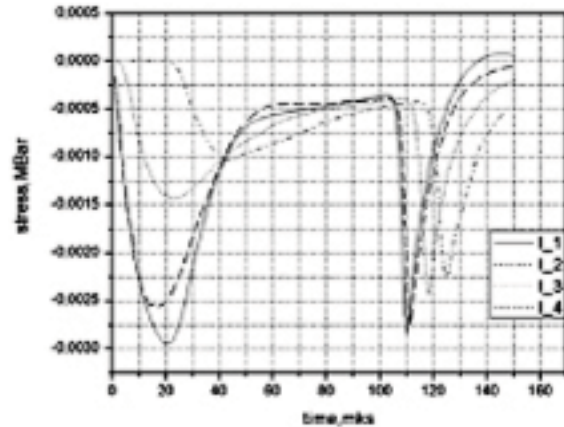


Figura 4

modelează în cadrul unui sistem complex de ecuații bidimensionale în derivate parțiale:

$$\begin{aligned} \sigma' &= k_0(\varepsilon_{kk} - \alpha_v(T - T_0)) - \frac{\Lambda}{3} \int_0^\omega \frac{\partial \dot{\omega}}{\partial \sigma} \bar{c} \\ (\tau'_{ij})^\nabla + \lambda \tau'_{ij} &= 2\mu_0 \dot{\varepsilon}_{ij}, \quad \tau'_{ij} \tau'_{ij} \leq \frac{2}{3} Y_0^2, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \rho c_0 \dot{T} + \alpha_v \dot{\sigma} T &= \tau_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^p + \Lambda \dot{\omega}^2 - \text{div } \bar{q}, \\ \dot{\omega} &= B(\sigma' - \sigma_*)^m H(\sigma' - \sigma_*) \\ \tau_{ij} &= S_{ij} + \Gamma \varepsilon_{ij}, \quad \tau'_{ij} = \tau_{ij} / (1 - \omega), \\ \sigma' &= \sigma / (1 - \omega). \end{aligned}$$

Aici  $T$  este temperatură,  $\rho$  este densitatea,  $\bar{q}$  este flux de căldură,  $\sigma_{ij}$  sunt componentele tensorului de tensiune,  $H(x)$  este funcția Heaviside și alte caracteristici ale materialelor [6].

Pentru sistema (1) a fost elaborată schema cu diferențe finite de ordinul doi, care este o dezvoltare a schemei Wilkins [6-8] ce permite efectuarea calculului numeric performant pentru cercetarea dinamicii învelișului (deformarea, degradarea) sub sarcina încărcării explozive. Unele rezultate numerice sunt prezentate în fig. 3-4.

Domeniul de calcul bidimensional, conturul învelișului (liniile duble negre), locația materialului exploziv (circuitul îndoit al învelișului) și imaginea calitativă tipică a stării de stres în momentul  $t = 150$  mks sunt evidențiate în Fig. 3. Se observă deformarea învelișului ca urmare a încărcării explozive și reflectarea caracteristică a undelor de la frontierele rigide. În domeniul de calcul, pentru a studia comportamentul parametrilor mediului elastoplastice, pot fi stabilite poziții (numite indicatori I1-I7) prezentate în figura 3 cu puncte negre din partea interioară a învelișului. Figura 4 prezintă profile ale dinamicii de stres pentru indicatorii I1 – I4.

În concluzie, soluțiile identificate ne demonstrează că dezvoltarea infrastructurii calculului performant este necesară atât pentru mediul academic, cât și pentru mediul de afaceri în vederea cercetării și tranșării unor numeroase probleme economice. Astfel, rolul HPC în rezolvarea unor chestiuni de complexitate majoră este pe deplin conștientizat și prezintă un factor de importanță primordială pentru dezvoltarea potențialului uman și viitorul european al Republicii Moldova.

#### Bibliografie

1. <http://www.hp-see.eu>
2. Rybakin B. P. *Параллельное программирование для графических ускорителей*. Москва: Издательство НИИСИ РАН, 2011, 261 p. ISBN 978-5-93838-046-2.
3. <http://www.top500.org>
4. <http://www.adevarul.ro>
5. Iliuha, N.; Altuhov, A.; Bogatencov, P.; Secieru, G.; Golubev, A. SEE-HP Project – Providing Access to the Regional High Performance Computing Infrastructure. În: *Proceedings IIS „International Workshop on Intelligent Information Systems”*, September 13-14, 2011, Chișinău, 183-186. ISBN 978-9975-4237-0-0.
6. Rybakin, B.; Secieru, G.; Bogatencov, P.; Gutsuleac, E. Numerical Analysis of the Coupled Problem on Interaction of Ground and Elastic-Plastic Shell under High-Speed Loads. În: *Abstracts 8th International Conference on „Large-Scale Scientific Computations” LSSC’11*, June 6-10, 2011, Sozopol, 72.
7. Wilkins M.L. Modeling the behavior of materials. Struct. Impact and Grashworth. *Proceeding of International Conference. V.2*, London, New York, 1984, p. 243-277.
8. Lugovoi P.Z., Meish V. F., Rybakin B. P., Secieru G. V. Numerical simulation of the dynamics of a reinforced shell subject to nonstationary load. In: Springer, *International Applied Mechanics*, 2008. Vol.44. No 7, p. 788-793.