

## Decision Support Tools for Oil Spill Response Management

Şef lucr.dr.ing Eugen BÂRSAN

Catedra de Navigație și Transport Maritim, Universitatea Maritimă Constanța

*Almost all states that have implemented a national contingency plan for response in case of marine oil pollution were preoccupied to find solutions for support decisions and analysis tools. Some of the software will work only if they are customized for the specific maritime area they will be used. Other programs do not require a specific geographical particularization, but they must be adapted to the technical means available for the oil spill response and the environmental conditions existing at the moment of the spill. This paper will present the use of such software, in case of a major marine oil spill accident that could occur in Romanian maritime waters.*

**Keywords:** *marine pollution, oil, ADIOS 2, crisis management, hydro-meteorological conditions, oil slick, oil spill response.*

### Introducere

În prima problemă care trebuie cunoscută de factorii de decizie implicații în managementul crizei produse de o poluare marină majoră privește evoluția caracteristicilor fizico-chimice ale hidrocarburii deversate în mediul marin, caracteristici care, se modifică rapid în contact cu mediul exterior. Programul care poate fi utilizat și în cazul producerii unei poluării în zona litoralului românesc al Mării Negre, se numește "ADIOS 2" (Automated Data Inquiry for Oil Spills) și a fost realizat de către departamentul Hazardous Materials Response Division (HAZMAT), care activează în cadrul organizației guvernamentale National Oceanic and Atmospheric Administration, SUA. Principala rol al programul ADIOS 2 este acela de a furniza o primă estimare asupra modului în care se vor modifica, în timp, caracteristicile fizico-chimice ale hidrocarburii deversate în mare și în același timp de a evalua efectul pe care unele metode de depoluare îl vor avea asupra masei de petrol existente la suprafața apei.

Elementul de bază al acestui program este reprezentat de baza de date pentru hidrocarburi (>230 tipuri), care pot fi atât produse naturale cât și rafinate. Pentru aceste hidrocarburi sunt introduse toate datele cunoscute referitoare la proprietățile fizico-chimice inițiale, dar și informații bazate pe observații prac-

tice sau studii de laborator, privind comportamentul acestor hidrocarburi în contact cu mediul marin. Cea mai mare parte a acestor produse petroliere este reprezentată de diferitele tipuri de țiței brut care se extrag din zăcămintele petroliere existente pe tot globul și care sunt transportate pe mare. Având în vedere deteriorarea rapidă a caracteristicilor fizico-chimice ale unui produs petrolier în contact cu mediul, ADIOS2 simulează aceste transformări numai pentru o perioadă de 5 zile. Acest interval de predicție este suficient din punct de vedere al operațiunilor și metodelor de depoluare care se pot derula atâta timp cât pata de țiței plutește la suprafața mării. Având în vedere procesul de emulsificare al hidrocarburii și creșterea gradului de vâscozitate, chiar dacă pata de țiței nu a ajuns în intervalul de 5 zile la coastă, acțiunile de depoluare sunt limitate doar la activitatea de colectare a reziduurilor de pe suprafața apei.

### Procesul de „îmbătrânire” a hidrocarburilor modelat de ADIOS 2

Pentru a modela evoluția caracteristicilor hidrocarburii în timp, programul ia în calcul toți parametrii fizico-chimici inițiali, precum și condițiile de mediu introduse de către utilizator și care sunt specifice zonei în care s-a produs deversarea. Schematic, datele de intrare, bazele de date accesate și rezultatele oferite de program sunt prezentate în figura 1.

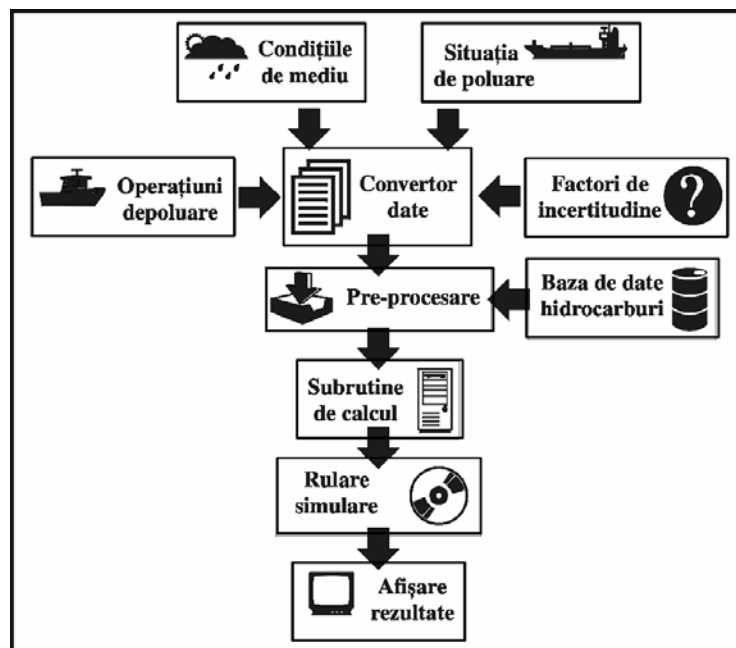


Fig. 1. Structura programului ADIOS 2

Factorii care definesc situația reală existentă sunt: direcția și viteza vântului (poate fi introdus un vânt constant pentru toată perioada de analiză sau pot fi utilizate datele din previziunile meteo, ceea ce implică de regulă un vânt variabil ca direcție și intensitate); gradul de agitație al mării (înălțimea valurilor); proprietățile apei de mare, din punct de vedere al temperaturii, cantitatea de sedimente aflate în suspensie, direcția și viteza curenților marini de suprafață; particularitățile deversării, date de cantitatea de hidrocarburi care a fost deversată, precum și de viteza cu care se produce această deversare (instantanee, continuă, tanc fisurat).

Așa cum va rezulta din exemplele pe care le vom prezenta în continuare, toate aceste elemente interacționează între ele, rezultatele putând fi semnificativ diferite, pe de o parte în funcție de tipul hidrocarburi, iar pe de altă parte în funcție de condițiile de mediu.

Pentru ca simularea privind modul de transformare al hidrocarburi în contact cu factorul de mediu să genereze rezultate cât mai realiste sunt analizate următoarele tipuri de date care caracterizează hidrocarbura:

Densitatea - baza de date a programul ADIOS 2 conține numai acele tipuri de hidrocarburi care au o densitate mai mică decât cea a apei și ca urmare pot pluti pe suprafața mării. Conform experienței practice, o hidro-

carbura care inițial plutește, ajunge să se scufunde doar dacă se amestecă cu sedimentele aflate în suspensie în masa de apă sau în urma procesului de ardere controlată a hidrocarburi, caz în care reziduurile rezultate pot avea o densitate mai mare decât a apei. În industria petrolieră, densitatea unui produs petrolier se exprimă de regulă prin comparație cu densitatea apei, utilizând ca unitate de măsură API, apa dulce având  $API = 10$ . Hidrocarburi de clasă 5, au  $API < 10$  și ca urmare nu vor pluti la suprafața apei.

ADIOS ia în considerare trei factori care duc la modificarea densității produsului petrolier: temperatura apei, gradul de emulsionare, viteza de evaporare a fracțiilor volatile.

Dispersia - hidrocarburi sunt insolubile în apă, dar datorită gradului de agitație al mării, particulele de petrol pot fi antrenate și amestecate în masa de apă. Prin pulverizarea peste pata de țitei a unor substanțe chimice care au rolul de a micșora tensiunea superficială a particulelor hidrocarburi, procesul de dispersie poate fi amplificat. ADIOS folosește pentru simularea acestui proces un model hidraulic conform căruia antrenarea pe verticală a particulelor de petrol, în masa de apă, este direct proporțională cu: energia disipată de val, frecvența de disipare a energiei valurilor (pentru un anumit grad de agitație al mării), volumul de hidrocarbura introdus în masa de

apă la spargerea unui val.

Emulsionarea - reprezintă procesul invers dispersiei. Pentru multe dintre produsele petroliere, naturale sau rafinate, contactul îndelungat cu mediul marin va duce la amestecarea particulelor de apă cu particulele de hidrocarbură care plutesc la suprafața mării. Pe măsură ce fracțiile volatile din hidrocarbură se evaporă, crește concentrația de parafină, ceea ce favorizează procesul de emulsionare al hidrocarburii.

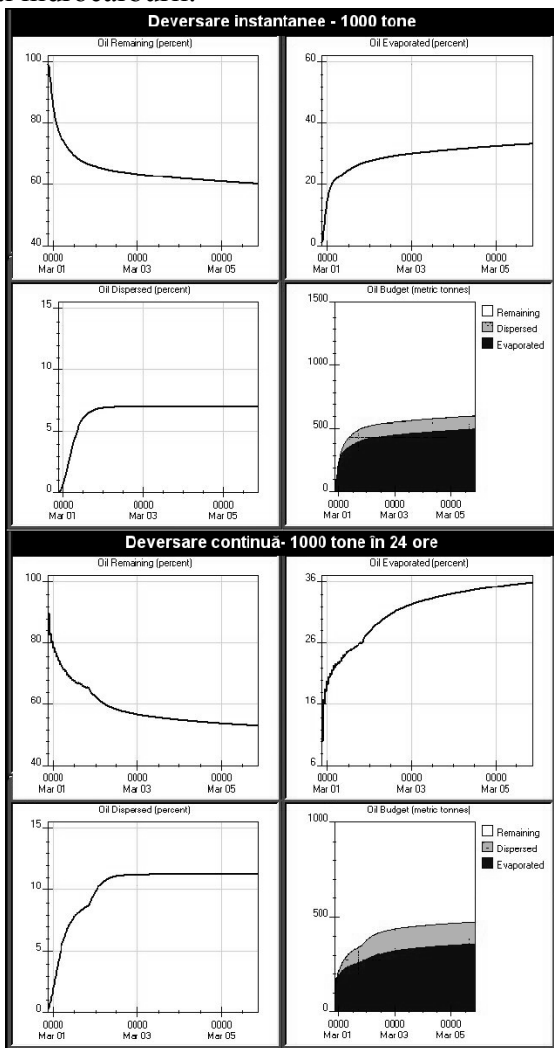


Fig. 2. Influența factorilor de mediu asupra hidrocarburii deversate în mare

Pe baza unor studii de laborator și observații practice, ADIOS calculează procentul de hidrocarbură care se va evapora, înainte de începerea procesului de emulsionare. Utilizatorul are însă posibilitatea să introducă o valoare a constantei de emulsionare, pe baza observațiilor din teren, exprimată prin procent sau prin număr de ore. Exprimarea constantei

prin procent se referă la aprecierea de către utilizator a procentului de hidrocarbură care s-a evaporat deja. În același mod, utilizatorul poate introduce numărul de ore (din momentul producerii deversării) după care a început procesul de emulsionare al hidrocarburii aflate la suprafața apei. Procesul de emulsionare al hidrocarburii depinde de mărimea particulelor de apă și de distribuția acestora în masa hidrocarburii. În momentul în care procesul de emulsionare se încheie, de cele mai multe ori, emulsia rezultată și stabilă va conține 80-90% apă. Momentul începerii procesului de emulsionare este important din punct de vedere al deciziilor legate de operațiunile de depoluare, deoarece din aceste emulsii nu se mai poate face separarea particulelor de petrol de cele de apă și ca urmare, singura soluție de depoluare rămâne colectarea mecanică a emulsiei respective. Baza de date ADIOS conține în primul rând informații bazate pe experiențe de laborator pentru unele produse petroliere, în special pentru cele care au constituit subiectul unor poluări reale. Pentru celelalte tipuri de hidrocarburi, ADIOS va încerca să facă o estimare a modului în care acestea vor emulsiona, comparând proprietățile fizico-chimice inițiale (conținutul de parafină și densitatea) ale acestora cu proprietățile fizico-chimice ale hidrocarburilor la care au fost efectuate teste de emulsionare.

Evaporarea - programul ADIOS 2 utilizează un pseudo-model pentru a simula procesul de evaporare al hidrocarburilor. Produsele naturale și cele distilate sunt interpretate ca amestecuri de substanțe, care nu interacționează între ele. În consecință, pentru fiecare substanță care compune de fapt hidrocarbura, procesul de evaporare este analizat separat. Varianta mai veche a acestui software (ADIOS 1) utiliza pentru simularea procesului de evaporare algoritmul Mackay, care era valabil numai în cazul țiteiului brut, care are o curbă de distilare aproape uniformă. Calculul efectiv al cantității de hidrocarbură evaporate se face în etajul de preprocesare al datelor, fie pe baza temperaturii punctelor de distilare (conținute în fișa tehnică a hidrocarburii din baza de date), fie pe baza densității API, dacă nu există informații despre tempe-

ratura de distilare. Experiențele practice au demonstrat că în realitate, procesul de evaporare depinde numai de temperatura apei de mare în care plutește hidrocarbura. Ca urmare, viteza vântului, grosimea petei de petrol sau procesul de dispersie nu influențează în mod semnificativ procesul de evaporare.

Suprafața petei de petrol - constituie cel mai complex și greu de estimat element în cazul unei poluări. Pentru ADIOS 2, acest fenomen fizic este interpretat într-o formă simplificată, în măsura în care acest factor influențează procesul de dispersie, evaporare și emulsionare hidrocarburi. Suprafața și forma ariei de răspândire a hidrocarburi deversate, pe suprafața apei, depind de: forțele gravitaționale care acționează asupra particulelor de petrol, vâscozitate, tensiunea superficială, curenții marini de suprafață, forța și direcția vântului, gradul de turbulență al apei, modul în care se produce deversarea (rata de deversare). De regulă, pata de țitei se împrăștie sub forma unor benzi, orientate pe direcția vântului, care se pot întinde pe distanțe mari, dar în realitate suprafața compactată a petei nu este foarte mare.

ADIOS 2 utilizează modelul hidrodinamic Fay, pentru a calcula suprafața de răspândire a petei de țitei. Acest algoritm se derulează în trei etape.

În prima fază, se consideră că extinderea petei de petrol se datorează exclusiv forțelor gravitaționale care acționează asupra particulelor de hidrocarbura, condiționate de volumul deversării, vâscozitatea apei și diferența între densitatea apei și cea a hidrocarburi. Durata primei faze este foarte mică de numai 5-10 minute.

În continuare (faza a doua), extinderea petei de petrol se consideră a fi influențată în special de forțele gravitaționale și de vâscozitatea hidrocarburi. În ciuda diferitelor încercări de a modela matematic această fază (Fay, Ahlstrom, Elliot) s-a ajuns la concluzia că aria de acoperire poate fi cel mai bine definită utilizând un parametru de timp empiric. Faza a treia, cea mai importantă, este legată de influența condițiilor hidrometeorologice. Conform experienței practice, s-a stabilit că pata de țitei se deplasează cu o viteză egală

cu 3% din viteza vântului. Aproximativ 2/3 din deplasarea petei de petrol se datorează mișcării valurilor. Agitația mării produce fenomenul de dispersie, care este dinamic, cantitatea de hidrocarburi care rămâne în masa de apă depinzând de mărimea acestor particule. Acest lucru explică forma de cometă, pe care multe dintre petele de petrol o au, cu o concentrație mai mare de hidrocarburi în partea "din vânt" a benzii de petrol și cu o pată care are tendința să se extindă, în direcția vântului, dar unde grosimea și concentrația stratului de petrol este mult mai mică.

### **Studiu de caz pentru zona litoralului românesc**

În continuare este interesant să vedem care este influența altor factori asupra efectelor unei poluări cu hidrocarburi a mediului marin. Scopul principal al studiului fiind o particularizare pentru zona litoralului românesc, vom considera că poluarea este generată de un țitei extras din Rusia și care este tranzitat din portul georgian Batumi sau portul rusesc Novorosisk în portul Constanța.

Pentru început vom analiza influența factorilor de mediu asupra procesului de "îmbătrânire" a hidrocarburi și în același timp în ce măsură aceste condiții hidrometeorologice pot diminua efectele generate de poluare. Pentru a analiza aceste efecte vom compara procesul de evaporare și dispersie pentru țiteiul brut de clasă 3, Sakhalin, în cazul unei deversări instantanee de 1000 tone, care are loc în condiții hidro-meteo diferite. În prima situație vântul are viteza de 10 Noduri, iar curentul marin viteza de 1 Nod, iar în al doilea caz, valorile sunt duble, respectiv vântul bate din aceeași direcție cu viteza de 20 Nd, iar curentul marin de suprafață are viteza de 2 Nd. Conform scării Beaufort, utilizată în navigație pentru aprecierea condițiilor hidrometeorologice, în primul caz este vorba de un vânt de forța 3, care poate genera valuri cu o înălțime medie de 0,75 metri, iar în cel de al doilea caz, de un vânt de forța 5, cu valuri de 2,25 metri.

Rezultatele rulării programului ADIOS 2 pentru cele două situații sunt prezentate în figura 2. După cum se poate observa, în condi-

țiile vântului de forța 3, din cantitatea totală deversată de 1000 tone, în primele 5 zile se va evapora 33% și dispersa în masa de apă alte 6,6%. Ca urmare, la suprafața apei vor rămâne circa 604 tone de țiței. În cazul unui vânt de forța 5, cantitatea evaporată va fi de 32%, deci similară cu cea din varianta precedentă, ceea ce demonstrează faptul că procesul de evaporare nu este influențat semnificativ de gradul de agitație al mării. În schimb, cantitatea de țiței dispersată în masa de apă, va ajunge la 16,4%, deci de aproape 2,5 ori mai mare. Rezultă că peste 50% din cantitatea de țiței brut de tip Sakhalin deversată va dispărea de pe suprafața apei, rămânând practic de depoluat numai 520 de tone.

Cea de a treia analiză o vom face pentru a vedea modul în care rata de deversare a hidrocarburii în mare influențează gradul de poluare al mediului. Vom studia tot cazul unei poluări cu țiței brut Sakhalin, în condițiile unui temperaturi a apei de  $+10^{\circ}\text{C}$ , cu vânt de est de 10 Noduri și un curent marin de suprafață de 1 Nod. În primul caz va fi vorba despre o deversare de 1000 tone produsă instantaneu, iar în cel de al doilea caz despre o deversare, tot de 1000 tone, dar această cantitate se scurge în mare pe parcursul a 24 ore.

În situația inițială, așa cum am văzut când am analizat influența factorilor de mediu, cantitatea de țiței brut care mai rămâne la suprafața apei după 5 zile, este de 604 tone. În varianta în care deversarea celor 1000 de tone se produce cu o rată aproximativ constantă pe parcursul a 24 de ore, programul ADIOS 2 de oferă următoarea estimare (figura 3):

- cantitatea de țiței evaporată crește de la 32% la 36%;
- cantitatea de țiței dispersată în masa de apă crește de la 7% la 11,5%;

Ca urmare, cantitatea de țiței rămasă la suprafața apei reprezintă circa 46% din totalul cantității deversate, ceea ce înseamnă că vor mai rămâne de depoluat circa 460 de tone.

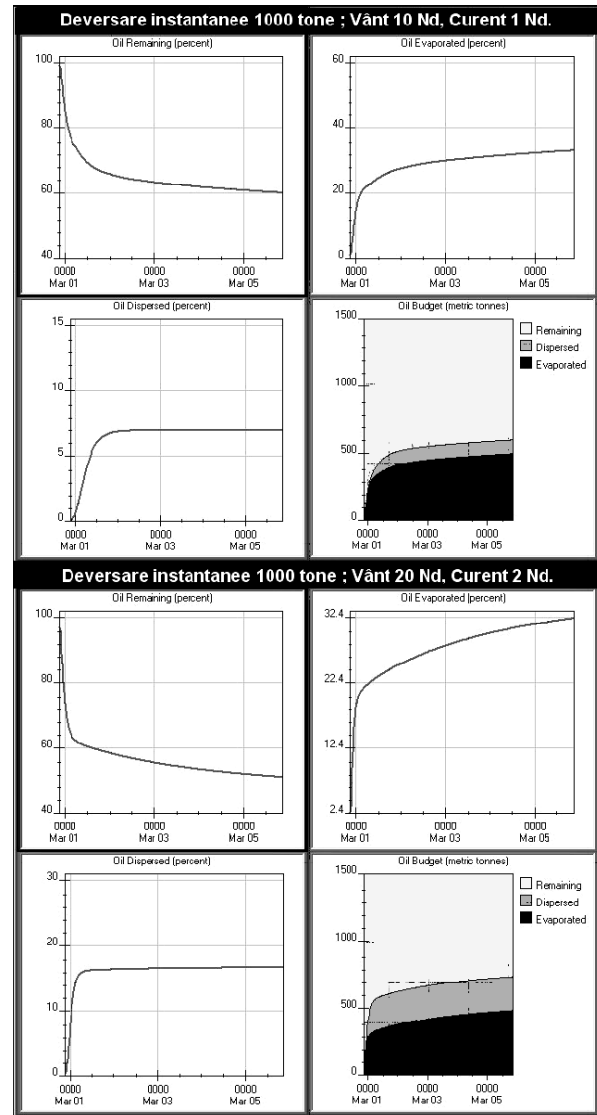


Fig. 3. Influența vitezei de deversare asupra procesului de îmbătrânire al hidrocarburii

### Concluzii

Fără a intra în amănunte legate de modul în care se efectuează operațiunile de depoluare, trebuie precizat faptul că modificările în timp ale caracteristicilor fizico-chimice ale hidrocarburii au un rol determinat asupra operațiunilor care urmează a fi efectuate pentru a reduce impactul negativ al poluării. În acest context, rezultatele analizei oferite de ADIOS 2 sunt importante pentru:

- stabilirea intervalului de timp în care se poate trece la prima fază a operațiunii de depoluare, respectiv împrăștierea dispersanților;
- stabilirea efectului (eficacității) pe care acești dispersanți îl pot avea asupra petei de țiței;
- dimensionarea eforturilor de depoluare,

în funcție de cantitatea de produs petrolier rămas la suprafața apei, după terminarea perioadei de dispersie, ceea ce înseamnă de fapt colectarea cu diferite mijloace mecanice a reziduurilor petroliere.

Așa cum rezultă din rularea simulărilor ADIOS 2 pentru diferite tipuri de produse petroliere, densitatea hidrocarburii are de asemenea un rol determinant nu numai din punct de vedere al evoluției în timp a petei de țigăi, dar în același timp va influența direct cantitatea finală care rămâne în contact cu mediul marin și care eventual poate ajunge să eșueze pe țărm, contaminând cordonul litoral.

Strategia ce urmează a fi adoptată de către Comandamentul de depoluare, va fi în strânsă legătură cu acest prim set de informații, urmând ca pe durata evoluției crizei să se apeleze la alte tipuri de programe menită să ofere noi tipuri de prognoze sau să faciliteze luarea deciziilor.

#### Bibliografie

1. Aamo, O. M., M. Reed, P.S. Daling, Ø. Johansen, 1993, *A laboratory-based weathering model: pc version for coupling to transport model*,. Proceedings of the 1993 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, p.617-626.
2. Bârsan Eugen, 2004, *How much a marine oil spill cleanup costs ?*, Analele Institutului de Marină Civilă, Constanța, Romania

3. Bârsan E., Carp D., 2003, *Economic impact study of Constantza port versus Constantza county*, Journal of Coastal Research, Vol.19, no.4, The Coastal Education and Research Foundation, Palm Beach, Fl. US.

4. Delvigne, G.A. , Sweeney, C.E., 1988, *Natural dispersion of oil*, Oil & Chemical Pollution, 4:281-310.

5. DiCristofaro, D.C. Hanna, S.R., 1989. *OCD: The offshore and coastal dispersion model*. National Technical Information Service, Report No. A085-1, Springfield, VA., USA.

6. Eley, D. D., Hey, M. J. , Symonds, J. D., 1988, *Emulsions of water in asphaltene-containing oils 1. Droplet size distribution and emulsification rates*, Colloids and Surfaces. Vol. 32, p. 87-101.

7. Poon Y.K., Madsen, O.S.,1991, *A two layers wind-driven coastal circulation model*. J. Geophys. Res.,vol 96, C2, 2535-2548.

8. Skognes K., Johansen F., 2003, *Statmap – A 3-Dimensional model for oil spill risk assessment*, SINTEF Applied Chemistry, Environmental Department Trondheim, Norway, Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 6, No. 2, p 103-111, Elsevier Science Ltd

9. \*\*\* Division of Response Services Bureau of Hazardous Materials and Solid Waste Control Department of Environmental, 2002, *Protection marine oil spill contingency plan*, State House Station #17, Augusta, ME 04333-0017