

# Simularea sistemelor

În procesul proiectării, realizării și exploatării sistemelor complexe, modelarea și simularea joacă un rol de incontestabilă importanță, atestată și de sumele imense cheltuite în acest scop în țările dezvoltate.

Dar utilizarea eficientă a acestui instrument de analiză extrem de puternic, numit *simulare*, presupune înțelegerea corectă a mecanismelor sale, a avantajelor pe care le oferă, dar și a posibilelor dezavantaje, cunoașterea factorilor care pot conduce la succes sau la eșec.

Termenul *simulare*, în accepțiunea din domeniul informaticii, se referă la utilizarea calculatorului în procesul de analiză indirectă a unui sistem. Simularea computerizată constă în proiectarea unui model al unui sistem real sau teoretic, în execuția acestui model pe un sistem de calcul și în analiza rezultatelor obținute.

Pe scurt, pentru simularea unui sistem fizic, primul pas care trebuie făcut este crearea unui model matematic cât mai apropiat de modelul fizic, care să-l reprezinte. Aceste modele pot fi de mai multe tipuri: *declarative*, *funcționale*, *spațiale* etc. Există și multimodele, care conțin mai multe modele integrate, fiecare din acestea reprezentând un nivel de granularitate pentru sistemul fizic. Modelul va fi apoi executat prin intermediul unui program, care va simula trecerea timpului și acțiunile care au loc, prin modificarea corespunzătoare a variabilelor de stare asociate. Simularea poate fi făcută la diferite niveluri de abstractizare, în funcție de scopul urmărit prin simulare. Este evident faptul că un model mai apropiat de realitate și mai detaliat va duce la obținerea unor rezultate mai valoroase.

Proiectanții și utilizatorii sistemelor de calcul doresc să obțină o performanță cât mai bună la un preț cât mai scăzut; modelarea și simularea diferitelor tipuri de arhitecturi poate fi foarte utilă înainte de a lua decizii de proiectare pentru un sistem real. Dar simularea nu se folosește numai pentru a optimiza performanțele, ci și pentru verificarea corectitudinii: majoritatea circuitelor integrate produse în prezent sunt simulate înainte de a fi efectiv construite, pentru a identifica și corecta erorile de proiectare. Este important ca simularea să se facă într-o fază timpurie a ciclului de producție, deoarece costul reparării unei greșeli este cu atât mai mare cu cât produsul este mai aproape de finisare.

## Tipuri de sisteme

Orice colecție de elemente care interacționează pentru realizarea unui obiectiv (scop): un circuit electronic sau un aeroport, o autostradă sau o rețea de calculatoare, un lac sau o comunitate umană, o navetă spațială sau un sistem planetar. Fiecare sistem este descris prin mulțimea componentelor sale, relațiile dintre acestea și mulțimea de variabile care definește starea sistemului la un anumit moment de timp.

## Analiza indirectă

Pentru a obține informații despre caracteristicile și comportarea sistemului studiat (care poate fi un sistem existent sau unul ipotetic, inexistent, dar eventual în curs de proiectare). Informațiile obținute pot fi destinate evaluării performanțelor sistemului într-un anumit context, analizei sensibilității sale la diverși factori, optimizării funcționării, alegerii unei variante dintre mai multe posibile, etc. Cu alte cuvinte, pentru a răspunde la întrebări de tipul “*Se conformează criteriilor impuse?*”, respectiv “*Ce se întâmplă dacă ...?*”.

Analiza indirectă este folosită pentru că de obicei analiza directă nu este posibilă, din diverse motive. De cele mai multe ori pentru că sistemul analizat nu are existență materială concretă, fiind vorba de un sistem aflat în curs de proiectare sau reproiectare. Dar chiar în cazul unui sistem existent, analiza directă este imposibilă în multe cazuri, fie pentru că ar putea produce pagube deosebit de mari, prin deteriorarea sau distrugerea sistemului, fie pentru că sistemul nu poate fi pus la dispoziția analistului pentru efectuarea de experimente directe. De asemenea, anumite sisteme au evoluție foarte lentă, care conduce la o durată

inadmisibil de mare a analizei directe, iar pentru alte sisteme nu pot fi generate condițiile în care trebuie analizată comportarea lor. Astfel, în cazul unei clădiri pentru care se studiază comportarea în caz de cutremur este imposibil și inadmisibil să se genereze contextul analizei (cutremure de diferite magnitudini). Și chiar dacă, prin absurd, analiza directă ar fi posibilă, ea ar conduce la deteriorarea clădirii.

În astfel de situații nu există decât o soluție: utilizarea unei alte reprezentări a sistemului analizat, deci a unui *model* al acestuia.

## **Modelul de simulare**

Pentru o clădire, un baraj sau un avion poate fi realizat un model la scară redusă al obiectului analizat, adică este vorba de un *model fizic*. Dar, în marea majoritate a cazurilor, modelul utilizat este un model simbolic, care prezintă, sub formă de *schemă funcțională* sau de *model matematic* (sistem de ecuații algebrice sau diferențiale, relații de recurență etc.), acele aspecte ale sistemului analizat care sunt considerate esențiale din punctul de vedere al obiectivelor analizei.

Din punctul de vedere al reprezentării în timp, modelul poate fi *static* sau *dinamic*, după cum ilustrează particularitățile sistemului modelat la un singur moment, sau pe parcursul unui interval de timp.

La rândul său, un model dinamic poate fi *continuu* sau *discret*, după cum prezintă evoluția în timp a valorilor variabilelor de stare: ca o schimbare care are loc în permanență, respectiv doar la momente de timp izolate. Nu se exclude însă posibilitatea unor modele combinate, care să conțină atât componente continue, cât și componente discrete.

Un alt criteriu de clasificare a modelelor este cel al prezenței sau absenței elementelor cu caracter aleator, care împarte modelele în *stocastice*, respectiv *deterministe*. Modelele stocastice descriu, de obicei, sisteme în care modificarea stării este determinată de evenimente care se produc la intervale de timp aleatoare sau, altfel spus, sisteme *controlate de evenimente*.

În cazul unui sistem cu model matematic foarte simplu (de exemplu sistem de ecuații algebrice) este relativ ușor de obținut, chiar fără a folosi calculatorul, informația dorită cu privire la comportamentul său. De exemplu, poate fi calculată valoarea unei anumite variabile de stare la un anumit moment de timp sau trasată o reprezentare grafică a evoluției variabilei respective pentru intervalul de timp de interes. Dar astfel de situații sunt destul de rare, complexitatea modelelor matematice ale sistemelor reale impunând utilizarea unui calculator care să prelucreze modelul matematic, adus la o reprezentare adecvată - *modelul de simulare*.

## **Calculatorul și programul de simulare**

În stadiul actual majoritatea simulărilor se realizează pe calculatoare numerice de cele mai diverse tipuri, de la calculatoare personale până la supercalculatoare sau sisteme distribuite. Dar, ocazional, se mai utilizează și calculatoare analogice, ale căror blocuri funcționale, cu modele matematice bine precizate, sunt interconectate pentru a obține reprezentarea fidelă a modelului matematic al sistemului analizat. Totuși, simularea numerică este preponderentă, analistul având posibilitatea să aleagă dintr-o mare varietate de limbaje și programe de simulare pe cel mai potrivit scopului și posibilităților sale.

Programul destinat simulării unui anumite clase de modele (numit, mai simplu, *simulator*), poate fi scris fie într-un limbaj de programare de uz general (C, Pascal, FORTRAN etc.) utilizând eventual biblioteci special concepute, fie într-un limbaj de simulare (GPSS, SIMAN, ACSL, etc.). Analistul poate să implementeze propriul său simulator sau poate să opteze pentru utilizarea unuia dintre numeroasele simulatoare specializate, care nu implică programare efectivă, ci doar selectarea, prin intermediul meniurilor, a componentelor modelului de simulare și, eventual, definirea unor parametri ai acestora.

## Rezultatele simulării

Rezultatele simulării se obțin în urma mai multor experimente de simulare (execuții ale modelului de simulare), efectuate pentru seturi de date și / sau parametri, alese corespunzător obiectivelor urmărite în procesul de simulare. Forma de prezentare a rezultatelor poate să varieze, de la tabele de valori la grafice sau chiar prezentări animate ale evoluției în timp a modelului în ansamblu sau a unor elemente ale acestuia.

Pentru ca rezultatele experimentelor de simulare să fie realmente utile, este obligatoriu ca modelul de simulare utilizat să reflecte cât mai fidel proprietățile și comportarea sistemului modelat. Numai în acest caz concluziile la care se ajunge analizând rezultatele simulării (care, evident, se referă la model) pot fi aplicate și în cazul sistemului.

## Utilitate și limitări

Simularea este o metodologie experimentală și aplicativă, care se concretizează prin efectuarea de experimente asupra modelelor sistemelor, pentru a nu perturba sau construi efectiv sistemele respective. Rezultatele obținute pe această cale permit factorilor de decizie să compare sisteme diferite sau variante ale aceluiași sistem, să tragă concluzii cu privire la performanțele unui sistem, la comportarea probabilă a acestuia și la eventualele abateri de la cea așteptată. Dar simularea are și limitări: nu permite obținerea unor soluții exacte sau optime, nu compensează erorile în specificarea datelor sau în luarea anumitor decizii și poate fi foarte costisitoare în cazul sistemelor de complexitate ridicată. De asemenea, nu trebuie uitat nici un moment un aspect esențial: modelul este o reprezentare simplificată a sistemului real. În consecință există întotdeauna riscul ca o eroare de apreciere în ceea ce privește importanța unui factor sau formularea unei interdependențe să conducă la rezultate total diferite de cele care s-ar obține în realitate. De aceea modelul trebuie verificat și validat cu mare atenție înainte de a trece la folosirea sa efectivă.

## Clasificare

În funcție de modul în care evoluează timpul simulării, există două clase de simulări:

- Simularea cu *timp continuu*, unde schimbările de stare apar continuu în timp, caracterizarea sistemului putând fi făcută cu ajutorul sistemelor de ecuații diferențiale; acest model este potrivit pentru a caracteriza fenomenele meteorologice sau dinamica fluidelor;
- Simularea cu *timp discret*, unde aparițiile evenimentelor sunt instantanee și apar numai la anumite momente de timp; acest model se poate utiliza pentru modelarea traficului aerian, a rețelelor de comunicare sau a sistemelor de calcul.

Modelele de simulare continuă se pot converti în modele discrete, considerând momentul de început al unui eveniment ca fiind totodată și momentul când acesta se termină.

Simularea discretă poate fi la rândul ei de două tipuri, din punctul de vedere al modului cum avansează timpul în simulare:

- În simularea discretă orientată pe timp, timpul avansează în pași de dimensiune constantă, deci observarea sistemului dinamic este discretizată în intervale de timp unitare. În alegerea intervalului de timp trebuie să se facă un compromis între acuratețea simulării și timpul necesar pentru execuție: de obicei intervalele suficient de scurte pentru a garanta precizia dorită duc la un timp de execuție mai lung. Dacă evenimentele apar în mod neregulat în timp, acest algoritm este ineficient.
- Simularea orientată pe evenimente discrete (*Discrete Event Simulation – DES*) realizează observarea sistemului simulat numai în momentele când apar evenimente. Simulatorul menține un ceas intern, care indică evoluția timpului (virtual) al simulării. Fiecare eveniment are asociată o amprentă de timp (momentul în care se produce), iar evenimentele ce trebuiesc procesate sunt organizate cronologic într-o coadă cu priorități. La fiecare pas al simulării, se extrage din listă pentru prelucrare evenimentul cu amprenta de timp minimă, iar timpul virtual avansează, devenind

egal cu cel al evenimentului luat în considerare la pasul curent. Procesarea unui eveniment poate avea ca efect schimbarea unor variabile de stare și / sau planificarea unor noi evenimente.

## ***Etapele analizei prin simulare***

Simularea unui sistem este, în marea majoritate a cazurilor, un proces iterativ, care impune deseori reluarea unor etape, până la obținerea unor rezultate concludente. Principalele etape ale acestui proces sunt următoarele:

- *Stabilirea cadrului simulării* - etapă esențială, în care trebuie definite clar atât sistemul analizat, cât și obiectivele urmărite: întrebările la care trebuie dat un răspuns, variantele care trebuie analizate, criteriile aplicate pentru compararea variantelor, modul de prezentare a rezultatelor, etc. În definirea sistemului analizat este bine să intervină toate detaliile cunoscute, care pot contribui la o mai bună înțelegere a funcționării acestuia, chiar dacă ulterior unele dintre ele vor fi considerate nerelevante pentru obiectivul urmărit.
- *Elaborarea modelului conceptual*, folosind notații matematice sau grafice adecvate. În această etapă poate fi vorba fie de un model unic, fie de un prim model dintr-un grup, care să constituie punctul de pornire pentru modele elaborate ulterior, prin modificarea unor elemente sau prin includerea unor elemente noi. Modelul trebuie să reflecte esența sistemului real, fără a include detalii inutile.
- *Definirea experimentelor de simulare* care trebuie realizate pentru verificarea și validarea modelului de simulare și, respectiv, în scopul obținerii rezultatelor necesare pentru atingerea obiectivelor stabilite.
- *Colectarea și pregătirea datelor* care vor fi utilizate în experimentele de simulare este și ea o etapă importantă. Aceasta nu numai pentru că fără date nu este posibilă validarea modelului și obținerea rezultatelor dorite, ci și pentru că anumite particularități ale datelor se pot reflecta direct în modelul de simulare al sistemului.
- *Realizarea modelului de simulare*, ca rezultat al codificării modelului conceptual al sistemului sub formă de program sau folosind interfața oferită de un simulator specializat. Alegerea unei anumite soluții este condiționată de numeroși factori, dintre care menționăm numai disponibilitatea unuia sau altuia dintre pachetele de programe, experiența în utilizarea acestora, timpul necesar realizării modelului de simulare și ușurința cu care pot fi efectuate modificări asupra acestuia.
- *Verificarea și validarea modelului prin execuția unor experimente de simulare* care să confirme analogia dintre comportarea modelului și cea a sistemului modelat. Dacă acestea nu conduc la rezultatele dorite este necesară reexaminarea deciziilor luate în etapele anterioare, în vederea detectării și corectării erorilor comise.
- *Efectuarea experimentelor de simulare* generatoare de rezultate, conform obiectivelor urmărite. Este posibil ca rezultatele obținute după primele experimente de simulare să impună modificări ale modelului de simulare sau ale modului în care trebuie continuată simularea (adăugând noi experimente de simulare sau renunțând la unele dintre cele planificate inițial).
- *Analiza și interpretarea rezultatelor obținute*. Aceasta poate fi realizată manual sau cu ajutorul unor programe de prelucrare adecvate.
- *Prezentarea și utilizarea rezultatelor analizei*. De regulă rezultatele analizei prin simulare sunt destinate luării unor decizii de către alte persoane decât cele care au realizat simularea. De aceea este absolut necesară prezentarea concluziilor într-o formă clară, sugestivă și convingătoare, folosind o exprimare accesibilă factorilor de decizie. Se creează astfel premisele înțelegerii corecte a rezultatelor obținute, care este determinantă pentru acceptarea și aplicarea lor în practică.

Un aspect care nu trebuie neglijat pe tot parcursul simulării este *documentarea*, care trebuie să se refere atât la modul în care a fost elaborat și dezvoltat modelul, cât și la criteriile care au stat la baza planificării experimentelor de simulare. Este foarte important ca în documentație să fie precizate limitările modelului: ce aspecte au fost neglijate în varianta elaborată, ce aproximări au fost făcute, etc. O documentare de calitate permite ca modificările ulterioare să fie mai ușor de realizat (chiar de către altcineva decât persoana sau echipa care a realizat studiul de simulare), precum și reutilizarea unor elemente deja puse la punct. Efortul depus pentru documentare poate fi benefic chiar pentru cel care îl face, deoarece anumite

aspecte, referitoare la sistem, model sau experimentele de simulare, inițial neluate în considerare, pot să iasă la lumină în momentul scrierii documentației, respectiv al comentării programului de simulare.

Un alt factor care trebuie avut în vedere este contactul permanent cu beneficiarul simulării, deoarece acesta poate fi sursa unor informații importante, care nu au fost furnizate în momentul formulării problemei, dar care pot afecta puternic modelul sau datele utilizate în experimentele de simulare.

Se remarcă faptul că etapele ce se parcurg în simulare sunt similare celor parcurse pentru realizarea oricărui produs program. *Modelul matematic și modelul de simulare* joacă în simulare același rol pe care îl joacă *algoritmul și programul* în rezolvarea unei probleme oarecare - dacă unul dintre ele este greșit, atunci rezultatele obținute nu au nici o valoare sau, mai rău, pot avea efecte dezastruoase. Același efect pot să îl aibă și datele incorect alese.

Așa cum în programarea uzuală etapa mai delicată este cea de elaborare a algoritmului de rezolvare a unei probleme, în simulare partea cea mai delicată este cea de *modelare*. Aceasta deoarece modelul trebuie să aproximeze sistemul real, folosind o reprezentare cât mai simplă și mai compactă, care nu include detalii inutile și nu omite nici unul dintre elementele importante.

## **Mecanismele simulării**

Un experiment de simulare trebuie să pună în evidență comportarea modelului (deci modul în care evoluează valorile variabilelor de stare) pe parcursul unui *interval de observare*, definit prin valoarea inițială și cea finală a timpului simulat. În mulțimea variabilelor care definesc starea modelului pot fi incluse, în afara variabilelor care modelează elemente ale sistemului real, și variabile utilizate pentru a colecta *informații statistice*, necesare pentru obținerea rezultatelor dorite.

Dacă simularea se realizează pe un calculator numeric, atunci avansul timpului în intervalul de observare este marcat de *ceasul simulării*, care se modelează printr-o variabilă numerică. Dar aceasta poate lua numai valori discrete, ceea ce înseamnă că, în acest caz, modelul de simulare este un model discret.

Tipul modelului conceptual - continuu sau discret - va determina numai modul în care se produce *avansul timpului*. Astfel, în cazul modelelor continue din categoria ecuațiilor diferențiale *ceasul simulării* avansează cu pas constant sau variabil, în funcție de particularitățile metodei numerice de integrare utilizate. Mecanismul de avans al *ceasului simulării* este diferit în cazul modelelor discrete controlate de evenimente. În astfel de situații se păstrează evidența tuturor evenimentelor care urmează să se producă și a momentelor de timp planificate pentru producerea lor, *ceasul simulării* avansând de fiecare dată până la cel mai apropiat dintre aceste momente de timp. Prima situație prezentată poate fi considerată un caz particular al modelului controlat de evenimente, în care intervin numai două tipuri de evenimente: *avansul ceasului simulării*, planificat sistematic, și, respectiv, atingerea valorii care marchează sfârșitul intervalului de observare. *Avansul ceasului simulării* nu conduce întotdeauna la execuția prelucrărilor corespunzătoare tuturor evenimentelor planificate pentru momentul de timp respectiv. Aceasta deoarece este posibil ca anumite evenimente să se poată produce numai în condiții bine precizate, care nu sunt îndeplinite în momentul planificat. În astfel de cazuri evenimentele sunt *amânate* până la schimbarea condițiilor, care poate avea loc numai ca rezultat al producerii altor evenimente.

*Ceasul simulării* se oprește și experimentul de simulare se termină în momentul îndeplinirii unei condiții specifice, deci al producerii unui eveniment, cum ar fi atingerea valorii finale a intervalului de observare, detectarea unei erori, etc.

Rezultă că, indiferent de tipul sistemului simulat, execuția experimentului de simulare se derulează conform aceluiași algoritm:

```
* inițializări
cât timp nu apar cauze de oprire execută
  { * actualizare stare
    * avans ceas
  }
* prelucrări finale
```

Figura 1. Algoritmul de simulare

În cazul general al simulării controlate de evenimente *actualizarea stării* se realizează prin tratarea tuturor evenimentelor care pot avea loc la momentul de timp marcat de ceasul simulării. O parte dintre acestea pot fi evenimente planificate pentru momente de timp anterioare, dar care au trebuit amânate. Tratarea unui eveniment conduce la modificarea valorilor unor variabile de stare și, eventual, planificarea unor noi evenimente. Dar aici apare o problemă destul de spinoasă, deoarece în sistemul real toate aceste modificări au loc în paralel, ceea ce este practic imposibil de realizat în experimentul de simulare, chiar și în contextul prelucrărilor paralele. Este deci extrem de important ca, în procesul de secvențializare, ordinea tratării evenimentelor simultane să fie stabilită corect, ca de altfel și ordinea în care se actualizează variabilele de stare pe parcursul tratării unui anumit eveniment. În cazul în care implementarea modelului de simulare este realizată într-un limbaj de programare de uz general, responsabilitatea stabilirii ordinii prelucrărilor cade în totalitate în sarcina programatorului. Dacă se utilizează un limbaj de simulare specializat, atunci cea mai mare parte a acestei responsabilități este preluată de compilator (interpretor).

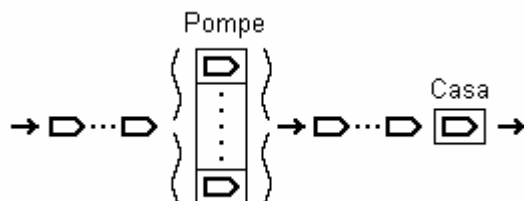
Gama prelucrărilor efectuate pentru actualizarea valorii unei variabile de stare este foarte largă, de la simpla atribuire până la calcule de complexitate ridicată. Și aici apare o altă problemă delicată: erorile de calcul. Fără a intra în amănunte, trebuie menționat faptul că, de obicei, precizia rezultatelor obținute prin simulare în cazul modelelor deterministe scade o dată cu creșterea intervalului de observare, în timp ce, în cazul modelelor stocastice, precizia rezultatelor crește.

Mecanismul de simulare cel mai folosit, bazat pe *planificarea evenimentelor*, este reflectat ca atare în modelele de simulare descrise în limbaje de uz general. Acestea pun în evidență modul în care este tratat fiecare dintre evenimentele caracteristice modelului (fără a omite nici un detaliu semnificativ) și, evident, mecanismul de control al ceasului simulării.

Limbajele de simulare urmăresc să simplifice descrierea modelului de simulare și să o aducă la o formă ușor de înțeles de către un număr cât mai mare de utilizatori, apropiată de forma uzuală a modelelor conceptuale și cât mai compactă. Astfel, în cazul limbajelor de simulare destinate sistemelor cu cozi de așteptare, se preferă descrierea modelului de simulare prin succesiuni de activități (de exemplu ocuparea, utilizarea și eliberarea unor resurse), care se interconstrâng. Bineînțeles că, datorită interacțiunilor, o *entitate* nu poate să își desfășoare nestânjenită întregul *flux de activități*. Acesta este întrerupt și ulterior reluat, în concordanță cu modificările în starea sistemului cauzate de evenimente specifice. De obicei acestea se produc la începutul sau sfârșitul unor activități. Și astfel se ajunge din nou la necesitatea planificării evenimentelor care, de această dată, este rezolvată de compilator, care, de cele mai multe ori rezolvă și problemele legate de colectarea de statistici.

## Studiu de caz

Să considerăm cazul proiectării unei stații de benzină cu autoservire, care va dispune de  $p$  pompe cu debit constant ( $d$ ), care se alimentează din același rezervor. Politica de servire aleasă este următoarea: mașinile sunt servite în ordinea sosirii, formând, în caz de aglomerație, o singură coadă, prima mașină din coadă mergând la prima pompă care se eliberează. Pompa de la care s-a alimentat o mașină va rămâne blocată până în momentul în care mașina respectivă ajunge la casă, pentru a achita benzina (după ce, eventual, a stat într-o coadă de așteptare). Intervalul de timp la care sosesc mașini pentru alimentare este o variabilă aleatoare, ca de altfel și cantitatea de benzină cu care se alimentează o mașină și timpul necesar efectuării plății. Programul de funcționare este de 14 ore.



Dacă simularea are ca scop determinarea numărului de pompe ce trebuie achiziționate, atunci trebuie realizate mai multe experimente de simulare, pentru diferite valori  $p$ . Pe parcursul intervalului de observare (care va fi de cel puțin 14 ore) trebuie colectate informații statistice referitoare atât la utilizarea pompelor și casei, cât și la cozile de așteptare care se formează. Pe baza acestor informații pot fi excluse variantele care conduc la o utilizare ineficientă a pompelor sau la timpuri de așteptare inadmisibil de mari.

Din descrierea sistemului, a cărei schemă funcțională este prezentată în figura de mai sus, lipsesc numeroși factori care intervin în realitate. Unii se referă la evenimentele care se pot produce: pompele se defectează din când în când, stocul de benzină se poate epuiza, pot sosi mașini cu prioritate (ambulantă, poliție etc.), care sunt servite imediat. Alți factori vizează activitățile efectiv desfășurate. De exemplu, de la momentul sosirii și până la cel al începerii efective a alimentării se parcurg următoarele etape: așteptarea eliberării unei pompe, deplasarea la pompă, deschiderea rezervorului și, în caz că pompa nu este încă deblocată, așteptarea deblocării acesteia. De asemenea, la terminarea alimentării, trebuie închis rezervorul, pornită mașina și efectuată deplasarea spre coada de la casă, a cărei durată depinde de distanța dintre pompă și sfârșitul cozii. Și mai există multe alte detalii care au fost omise.

Trebuie să fie prinse toate aceste detalii în modelul de simulare? Dacă da, sub ce formă? Răspunsul este diferentiat de la caz la caz și condiționat de obiectivele simulării, așa cum reiese și din exemplele care urmează. Dacă stația este amplasată într-un punct în care probabilitatea sosirii unor mașini care "intră în față" este foarte mică, acest factor poate fi neglijat. De asemenea, intervalul de timp necesar deplasării la pompă și deschiderii rezervorului mașinii pot fi ignorate, având în vedere că, de obicei, aceste activități se termină înainte ca pompa să fie deblocată.

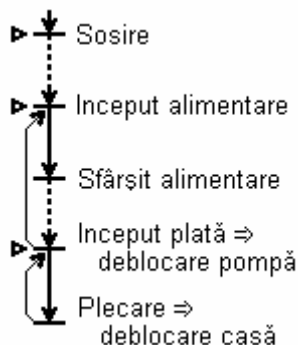
Defectarea pompelor poate fi neglijată dacă cele achiziționate sunt de bună calitate și întreținerea lor se realizează sistematic, în intervalele de timp în care stația este închisă. Lucrurile stau cu totul altfel dacă trebuie să se opteze pentru un anumit tip de pompe dintre mai multe, cu performanțe diferite. În această situație la elaborarea modelului trebuie să se țină seama de intervalul dintre defectări și timpul necesar reparării unei pompe, iar intervalul de observare trebuie extins la săptămâni sau chiar luni.

În ceea ce privește stocul de benzină, se poate presupune, într-o primă variantă, că el nu se epuizează în intervalul de observare considerat. Așa se și întâmplă dacă proprietarul stației apelează la furnizor imediat ce stocul a scăzut sub un anumit nivel, iar furnizorul face livrarea în timp util. În aceste condiții elementul rezervor poate fi omis din model, dar numai dacă nu trebuie furnizate informații despre frecvența cu care se va face apel la furnizor. Ar mai fi multe elemente de analizat, dar să nu uităm că acesta este doar un exemplu. Să continuăm deci cu o scurtă discuție referitoare la realizarea modelului de simulare.

Într-un limbaj de simulare adecvat, trecerea de la reprezentarea de tip *flux de activități* la modelul de simulare este practic imediată, deoarece detaliile referitoare la planificarea și tratarea evenimentelor nu trebuie să îl preocupe pe analist, ele fiind gestionate de compilator. Astfel, în exemplul din figura următoare este prezentată descrierea GPSS a fluxului de activități. Evident, această descriere trebuie

completată cu o serie de elemente, cum ar fi numărul de pompe, definițiile intervalelor între sosiri (ISOSIRI) și, respectiv, timpilor de alimentare și plată (TALIM și TPLATA), specificarea intervalului de observare. De asemenea, dacă este necesar, pot fi adăugate elemente referitoare la colectarea de statistici despre cozile de așteptare (statisticile cu privire la utilizarea pompelor și a casei sunt colectate automat).

GENERATE	V(ISOSIRE)	generează sosiri masini
QUEUE	COADAALIM	început așteptare alimentare
ENTER	POMPE	poate începe alimentarea
DEPART	COADAALIM	sfârșit așteptare alimentare
ADVANCE	V(IALIM)	execută alimentare
QUEUE	COADACASA	început așteptare la casă
SEIZE	CASA	poate începe plata
DEPART	COADACASA	sfârșit așteptare la casă
LEAVE	POMPE	deblochează pompa
ADVANCE	V(IPLATA)	efectuează plata
RELEASE	CASA	pleacă de la casă
TERMINATE		sfârșit flux activități



Lucrurile se complică dacă se recurge la un limbaj de programare de uz general, deoarece gestiunea evenimentelor și colectarea oricărui tip de statistici trebuie realizate explicit. Figura următoare este în evidență momentele la care au loc planificări de noi evenimente și intercondiționările dintre evenimente. Astfel, la tratarea unui eveniment *Sosire* se planifică următoarea sosire, iar la începutul unei activități (alimentare sau plată) se planifică sfârșitul acesteia. În cazul particular al acestui model evenimentele planificate sunt *sigure* (nu pot fi amânate), spre deosebire de cele *conditionate* (din categoria *început activitate*), care trebuie amânate dacă nu au condiții propice producerii. Evenimentele amânate sunt asociate mașinilor aflate în cozile de așteptare la alimentare, respectiv casă. Producerea evenimentului *Început alimentare* apare ca o consecință a evenimentelor *Sosire* și, respectiv, *Început plată* (acesta din urmă determină deblocarea unei pompe, ceea ce face posibilă producerea primului eveniment "Început alimentare" dintre cele amânate). Similar, evenimentul *Început plată* este declansat de *Sfârșit alimentare* sau *Plecare*. Evident, gestiunea evenimentelor trebuie concentrată asupra celor sigure, deoarece ele declansează și tratarea celor conditionate. Problema tratării eventualelor evenimente simultane se rezolvă aplicând o regulă de prioritate de tip *consecințe maxime*, rezultând ordinea de tratare *Plecare - Sfârșit alimentare - Sosire*. Nu trebuie uitat evenimentul *Sfârșit interval observare*, căruia i se va asocia cea mai mică prioritate. Dacă evenimentele planificate sunt memorate într-o listă, în ordinea dictată de momentul producerii și prioritatea asociată, atunci experimentul de simulare se execută conform următorului algoritm:

```

* initializări
cât timp există condiții execută
{
  * extrage primul eveniment din listă
  * tratează eveniment
  * avans timp
}

```

unde avansul timpului este dictat de momentul planificat pentru producerea primului eveniment din listă (în cazul evenimentelor simultane valoarea timpului nu se schimbă).



Din motive de spatiu algoritmiile de tratare a evenimentelor nu includ detaliile cu privire la colectarea de informatii statistice, dar nu trebuie uitat nici un moment faptul că acestea reprezintă rezultatele ce trebuie obtinute.

```
Sosire:
  { dacă există pompe libere
    { * creste număr pompe ocupate
      * Început_alimentare
    }
    altfel
    { * creste coada_alimentare }
    * planifică Sosire
  }

Început_alimentare:
  { * planifică Sfârșit_alimentare }

Sfârșit_alimentare:
  dacă este cineva la casă
    { * creste coada_casă }
  altfel
    { * Început_plată }

Început_plată:
  { dacă există coadă_alimentare
    { * scade coadă_alimentare
      * Început_alimentare
    }
    altfel
    { * scade număr pompe ocupate }
    * planifică plecare
  }

Plecare:
  dacă există coadă_casă
    { * scade coadă_casă
      * Început_plată
    }
  altfel
    { * eliberare casă }
```

Este clar că efortul depus în cazul utilizării unui limbaj de programare de uz general, ca de altfel și riscul de eroare, este cu atât mai mare cu cât sistemul analizat este mai complex. Acest efort se justifică numai dacă nu există altă soluție sau dacă sunt implicate considerente de viteză de execuție a experimentelor de simulare.

Rezultatele trebuie analizate cu luciditate și chiar cu oarecare circumspecție, pentru că în spatele unei prezentări superbe se poate afla un model care se abate, din unul sau mai multe puncte de vedere, de la realitatea pe care credem că o modelează. Aceasta nu înseamnă că trebuie să renunțăm la simulare, ci doar că trebuie să respectăm, la fel ca în viața de zi cu zi, câteva reguli simple: să căutăm să aflăm cât mai mult despre problema ce ne preocupă și să filtrăm cât mai atent informațiile obținute, să nu ne lăsăm furati de aparente și să nu confundăm condițiile reale cu cele care ne convin.

E.Kalisz - PCREPORT, octombrie 1996