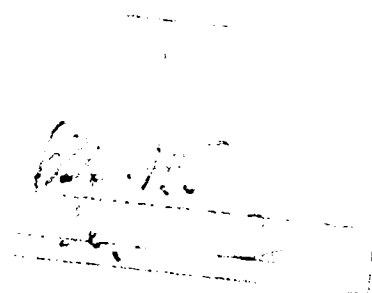




Universitatea "Politehnica" din Timișoara
Facultatea de Hidrotehnică

ing. Carmen HARABACIU

Conținutul și modelarea
cursului de Hidrologie



Prefață.....	1
INTRODUCERE.....	2
CAPITOLUL 1. SISTEMUL HIDROLOGIC.....	6
1.1. Ciclu hidrologic. Definierea sistemului hidrologic.....	6
1.2. Clasificarea modelelor hidrologice.....	11
1.3. Prognoza hidrologică.....	16
1.4. Modele hidrologice care pot fi aplicate în regim de simulare și/sau prognoză hidrologică.....	19
CAPITOLUL 2. REȚEAUA HIDROGRAFICĂ A SPAȚIULUI BANAT. CARACTERIZAREA FIZICO-GEOGRAFICĂ ȘI FACTORII NATURALI AI SCURGERII	24
2.1. Rețeaua hidrografică a spațiului Banat.....	24
2.1.1. Prezentare generală.....	24
2.1.2. Elemente caracteristice ale rețelei hidrografice.....	25
2.2. Gradul de cunoaștere hidrometrică.....	27
2.3. Caracterizarea fizico-geografică și factorii naturali ai scurgerii	29
2.3.1. Relieful.....	29
2.3.2. Clima.....	35
2.3.3. Solurile și vegetația.....	37
CAPITOLUL 3. METODE STOCASTICE FOLOSITE ÎN HIDROLOGIE ȘI APLICAREA LOR PENTRU PROGNOZA DEBITELOR MINIME ÎN SPAȚIUL HIDROGRAFIC BANAT	41
3.1. Definierea scurgerii minime. Reconstituirea regimului natural al scurgerii minime	41
3.1.1. Reconstituirea regimului natural al scurgerii minime.....	42
3.2. Analiza statistică a șirurilor de debite medii lunare minime anuale și debite medii zilnice minime anuale.....	43
3.2.1. Șirurile de debite medii minime - serii temporale.....	51
3.2.1.1. Tendința seriilor de debite medii minime din spațiul Banat.....	51

3.2.1.2. Componenta periodică a seriilor seriilor de debite medii minime din spațiul Banat.....	55
3.3. Prognoză de scurtă durată a debitelor medii minime.....	58
3.3.1. Regresiile liniare.....	58
3.3.2. Debitetele corespondente.....	59
3.4. Prognoza de lungă durată a debitelor medii minime.....	62
3.4.1. Debitetele condiționate.....	62
3.4.2. Analiza și prognoza scurgerii minime pe baza curbelor de secare.....	65
3.4.3. Calcularea probabilității de apariție a debitelor medii zilnice pe baza mediilor zilnice multianuale	68
3.5. Analiza regională a debitelor minime.....	69
3.6. Probleme care rămân deschise pentru cercetarea și aplicarea viitoare a metodelor stocastice.....	71
CAPITOLUL 4. MODELE PENTRU SIMULAREA DEBITELOR MEDII ZILNICE.....	73
4.1. Sistemul de prognoză a scurgerii râului (PROGSYS).....	73
4.1.1. Structura și funcțiile programului.....	74
4.1.2. Modelele conceptuale și stocastice înglobate în sistemul de prognoză PROGSYS.....	77
4.2. Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de perturbare liniară LPM (Linear Perturbation Model).....	82
4.3. Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de bilanț al umidității solului și integrare a scurgerii pe versanți SMAR (Soil Moisture Accounting and Routing)	91
4.4. Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS.....	98
4.4.1. Modelarea componentelor bazinului.....	98
4.4.1.1. Modelul bazinului.....	98
4.4.1.2. Metodele pierderii apei în subbazin.....	99
4.4.1.3. Metodele de transformare a precipitației în exces în scurgere de suprafață.....	101
4.4.1.4. Metodele scurgerii de bază în subbazin.....	103
4.4.1.5. Propagarea scurgerii prin albie și canale.....	104
4.4.2. Analiza datelor meteorologice.....	105
4.4.3. Simularea proceselor hidrologice.....	106
4.4.4. Calibrarea modelelor din HEC-HMS utilizate la modelarea și simularea hidrologică.....	109
CAPITOLUL 5. UTILIZAREA MODELELOR PENTRU SIMULAREA DEBITELOR MEDII ZILNICE ÎN SPAȚIUL HIDROGRAFIC BANAT.....	113

5.1. Sistemul de prognoză PROGSYS.....	116
5.2. Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de perturbare liniară LPM (Linear Perturbation Model).....	125
5.3. Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de bilanț al umidității solului și integrare a scurgerii pe versanți SMAR (Soil Moisture Accounting and Routing).....	128
5.4. Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS.....	131
5.5. Analiza comparativă a rezultatelor obținute prin aplicarea modelelor pentru simularea debitelor zilnice.....	139
5.5.1. Erorile relative.....	139
5.5.2. Analiza indicilor de eficiență.....	142
5.6. Validarea eficienței modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice cu date din afara intervalului de calibrare și verificare.....	146
5.7. Probleme care rămân deschise pentru continuarea cercetării.....	151
CAPITOLUL 6. CONCLUZII. PROBLEME PENTRU CERCETAREA VIITOARE. CONTRIBUȚII.....	152
6.1. Concluzii.....	152
6.2. Probleme pentru cercetarea viitoare.....	162
6.3. Contribuții.....	164
BIBLIOGRAFIE.....	167

PREFAȚĂ

Teza a fost elaborată sub îndrumarea de înaltă competență a d-lui prof. dr. ing. Gheorge Crețu, profesor la Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Hidrotehnică, căruia îi aduc, pe această cale, sincerele mele mulțumiri pentru răbdarea și înțelegerea cu care mi-a ghidat pașii, de la primele noțiuni de hidrologie până la finalizarea acestui manuscris.

Sincere mulțumiri onoraților membrii ai comisiei, dl. prof. dr. ing. Gheorghe Giurma, d-nei conf. dr. ing. Corina Roșu și dl. dr. ing. Petre Șerban pentru că au acceptat să facă parte din această comisie, să îmi citească teza și să participe la susținerea publică.

Doresc să mulțumesc d-lor dr. ing. Petre Șerban, director C.N. "Apele Române" București, pentru materialele puse la dispoziție cu multă amabilitate și pentru îndrumările de înaltă profesionalitate.

Calde mulțumiri d-lui. dr. Petre Stanciu, director INMH București pentru amabilitatea cu care m-a ajutat în obținerea materialelor necesare elaborării tezei.

Mulțumesc d-nelor dr. Mary Jane Adler și Marinela Simota, de la INMH pentru sfaturile competente și încurajările lor.

Calde mulțumiri tuturor celor care mi-au fost alături în perioada de elaborare a acestui manuscris: colegilor mei de la Biroul Hidrologie-Hidrogeologie pentru că, nu de puține ori m-au ascultat, înțeles, încurajat și degrevat de problemele curente și șefului meu, dr. hidr. Zlatibor Macridin, care prin felul său de a iubi hidrologia m-a făcut să îmi doresc mereu să știu mai mult despre această "știință" multidisciplinară.

Mulțumesc colegilor din alte compartimente care m-au ajutat să finalizez redactarea tezei, în special d-nei ing Doina Chirtoacă, lui Gabriel și Sorin.

Mulțumesc prietenilor mei pentru că m-au încurajat și susținut moral de la mari distanțe.

Îți mulțumesc Litiția pentru răbdarea, atenția și competența cu care mi-ai citit și corectat lucrarea.

Nu în ultimul rând, mulțumesc părinților mei și nepoatei mele, pentru înțelegerea și răbdarea cu care m-au suportat în ultimii ani.

INTODUCERE

Bunăstarea și chiar supraviețuirea unei comunități care trăiește în bazinul hidrografic al unui râu depinde, întotdeauna, de gospodărirea eficientă a sistemului hidrografic respectiv, de estimarea debitului de apă necesar pentru proiectarea rețelei de alimentare cu apă de care are nevoie o astfel de comunitate. Aceste activități au reprezentat preocuparea inginerilor hidrotehnicieni încă de pe vremea civilizațiilor antice cum ar fi China și cele din Orientul Mijlociu. În trecutul apropiat, prognoza debitelor în secțiunile critice ale cursurilor de apă a fost folosită pentru protejarea comunităților locale de efectele viiturilor catastrofale și pentru planificarea proiectelor de ajutorare. Continua preocupare a hidrologilor împreună cu dezvoltarea modelelor hidrologice de simulare artificială a scurgerii apei reprezintă, în momentul de față, o evidență clară a importanței modelării hidrologice în scopul prognozei scurgerii apei (Becker și Șerban, 1990).

Conform cerințelor și obiectivelor noii politici europene în domeniul apei, se vor realiza sisteme unitare de gospodărire a apelor la nivel de bazin hidrografic (Stadiu și al., 2001).

În ultimii ani, au fost depuse eforturi considerabile pentru rezolvarea problemelor prognozei hidrologice în timp real. Țările dezvoltate sunt interesate de extinderea și îmbunătățirea serviciilor de prognoză existente. Noile domenii de aplicare reprezintă o nouă tendință în folosirea prognozei hidrologice. Prognoza hidrologică aproape a devenit o parte intrinsecă a operării eficiente a sistemelor resurselor de apă și este de așteptat ca prognoza hidrologică să devină un instrument al gospodăririi sistemului și schemelor de resurse de apă.

Problemele actuale și viitoare ale controlului cantității și calității apei au făcut să apară noi cerințe pentru dezvoltarea serviciilor de prognoză astfel încât, acestea să fie în măsură să dea o prognoză sigură a debitelor minime pe râuri. În timpul perioadelor cu ape mici, prognoza scurgerii în albia râului, împreună cu debitele de diluție corespondente, este importantă pentru monitorizarea și controlul poluării. În viitorul apropiat, prognoza debitelor minime va fi la fel de importantă ca prognoza viiturilor.

Ținând seama de variabilitatea în timp a regimului debitelor scurse pe râu, gospodărirea apelor este interesată de mărirea debitelor minime scurse la o anumită probabilitate pe rețeaua hidrografică, fie în regim natural de scurgere, fie în regim amenajat, prin exploatarea lacurilor de acumulare. Lucrările hidrologice permit proiectarea și realizarea măsurilor structurale și non-structurale. Metodele non-structurale includ regulamente de exploatare optime, scheme pentru monitorizarea și prognoza condițiilor hidrologice precum și, suportul decizional din perioadele critice.

Studiul debitelor minime este oportun și necesar deoarece, în ultimii ani perioadele secetoase au fost frecvente iar pe viitor, conform scenariilor climatice realizate (Stănescu, Corbuș, Simota, 1999) se prevede o reducere a potențialului hidrologic din țara noastră.

Cunoașterea scurgerii minime este necesară pentru planificarea, proiectarea și operarea structurilor și sistemelor. Necesarul de apă este mai mare decât scurgerea minimă din timpul anului. De aceea, în practica hidrologică, determinarea probabilității de producere a debitelor minime și durata deficitului de apă reprezintă o informație importantă. Aceste probabilități sunt necesare pentru determinarea riscului de a nu putea satisface cerințele consumatorilor de apă.

Calculul scurgerii minime a râurilor constă în determinarea valorilor cantităților de apă care se scurg prin râuri în perioadele caracteristice de alimentare a acestora în exclusivitate din rezervele subterane, pe intervale de o zi, o decadă, o lună, în medie pe mai mulți ani sau cu o anumită frecvență de apariție de-a lungul anilor (Diaconu, Șerban și Pașoi, 1981).

Plecând de la aceste premise și constatând, din parcurgerea literaturii de specialitate că, studiile referitoare la scurgerea minimă din spațiul Banat sunt reduse ca număr iar, atunci când acestea există, este luat în considerare un număr limitat de stații hidrometrice, am considerat oportună realizarea unei analize a regimului debitelor minime din acest spațiu hidrografic. Realizarea acestei analize este necesară, în primul rând, pentru a cunoaște starea actuală a scurgerii minime și, în al doilea rând, pentru a pregăti din timp bazele de date și metodele cele mai potrivite pentru elaborarea prognozelor hidrologice a debitelor minime, posibil necesare în viitor, în spațiul hidrografic Banat.

Obiectivele acestei teze pot fi împărțite în următoarele categorii:

1. Actualizarea și completarea bazei de date, cu referire specială la debitele medii lunare minime anuale și debitele medii zilnice minime anuale. Aceste date sunt utile elaborării studiilor hidrologice și de gospodărirea apei.
De asemenea, au fost actualizate la nivelul anului 2000, valorile regimului mediu anual al precipitațiilor și, ale regimului mediu anual al temperaturilor din spațiul Banat.

Pentru prelucrările și analizele statistice ale debitelor minime au fost necesare:

- Analiza omogenității și independenței seriilor de debite minime;
- Stabilirea relațiilor de legătură dintre stațiile hidrometrice pentru extinderea seriilor de date reduse astfel încât, acestea să acopere un interval comun de timp;
- Prelucrarea statistică a seriilor de date astfel obținute;

2. Modelarea sistemelor hidrologice pentru simularea și/sau prognoza debitelor medii zilnice.

Utilizarea pe scară largă a calculatoarelor face necesară găsirea unor modele cât mai ușor de folosit în prognoza debitelor medii zilnice. Chiar dacă modelele respective sunt utilizate de către specialiști, ele trebuie să fie ușor de adaptat bazinelor hidrografice pentru care vor fi calibrate dar, în același timp, ușor de folosit în practica hidrologică curentă.

Modelele hidrologice pentru simularea debitelor medii zilnice, care au fost testate în bazinele hidrografice Timiș, Bega, Caraș și Nera și care fac subiectul prezentării acestei teze sunt:

- ◆ Sistemul de prognoză pe râuri PROGSYS, care a fost creat de Departamentul de Hidrologie al Universității Uppsala - Suedia. Este un sistem complet de prognoză pentru râuri, care include modele conceptuale și stocastice. Programul a fost primit de la Dl. Iritz Laszlo, profesor la Universitatea din Uppsala, Suedia.
 - ◆ Modelul LPM - Linear Perturbation Model (model de perturbație liniară) și,
 - ◆ Modelul SMAR -Soil Moisture Accounting Routine (bilanțul umidității solului și integrare a scurgerii pe versanți) au fost primite de la Dl. Kieran O'Connor, profesor la Colegiul Universitar Galway din Irlanda. Ambele modele includ toate funcțiile și toate prelucrările necesare pentru simularea hidrologică și pentru prognoza operativă în timp real a debitelor medii zilnice.
 - ◆ Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS este realizat de către Corpul Inginerilor Armatei Statelor Unite. Proiectat pentru a simula procesele hidrologice în sistemele cursurilor de apă dendritice, poate fi aplicat în orice zonă geografică pentru a rezolva o gamă foarte largă de probleme legate de regimurile de scurgere a apei. Programul a fost primit de la Dl. Stephen Larry, profesor la Universitatea din Denver, California.
3. Studiarea posibilității de utilizare a diferitelor metode și modele stocastice pentru determinarea și prognoza debitelor medii minime din spațiul hidrografic Banat.

Analiza stocastică a seriilor de timp a debitelor medii minime măsurate pot da informații utile pentru calibrarea modelelor conceptuale și alegerea parametrilor specifici în aplicarea practică a acestor modele.

Metodele stocastice au aplicabilitate în prognoza hidrologică de scurtă, medie și lungă durată iar, modelele folosite pentru simularea debitelor medii zilnice au fost calibrate, în câteva dintre bazinele hidrografice din Banat, pentru perioadele de ape mici și pot fi utilizate în prognoza hidrologică de scurtă și medie durată.

Teza este structurată în 6 capitole, după cum urmează:

În primul capitol, plecând de la titlul temei, ținând cont de scopul propus - prognoza în timp real și, de metodele și modelele alese pentru realizarea acestui lucru - utilizarea metodelor stocastice și a modelelor conceptuale, s-au considerat ca necesare:

- definirea sistemului hidrologic;
- prezentarea clasificării modelelor hidrologice, a tipurilor de modele care pot fi folosite pentru simularea proceselor hidrologice care se produc într-un bazin hidrografic, modelare care se realizează pentru fiecare componentă în parte;
- prezentarea clasificării modelelor de prognoză, care nu este identică cu clasificarea modelelor hidrologice.

De asemenea, se face prezentarea succintă a modelelor hidrologice utilizate la ora actuală în lume și, aplicații ale tehnicii GIS în hidrologie.

Capitolul 2 prezintă factorii care generează și influențează scurgerea apei în Banat și anume: relieful, clima, condițiile de sol, de acoperire cu un tip sau altul de vegetație precum și rețeaua hidrometrică prin intermediul căreia se realizează monitorizarea variabilelor hidrologice.

În capitolul 3 sunt prezentate mai multe metode și modele stocastice pentru prognoza debitelor medii minime precum și rezultatele utilizării acestor metode în prognoza hidrologică.

Pentru elaborarea prognozei hidrologice a debitelor medii minime în bazinele hidrografice nestudiate, s-a realizat analiza pe teritoriu a debitelor medii minime specifice în funcție de altitudinea medie.

De asemenea, se face analiza statistică a seriilor de debite minime în cursul căreia s-a urmărit: omogenitatea și independența observațiilor; determinarea funcțiilor de distribuție și, ajustarea funcției de distribuție, determinarea a două dintre cele trei componente de bază ale seriilor temporale a debitelor medii minime și anume: tendința și componenta periodică.

Capitolul 4 este dedicat prezentării teoretice a modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice.

Capitolul 5 este consacrat modelării hidrologice. Acest capitol prezintă rezultatele simulărilor debitelor medii zilnice obținute prin utilizarea modelelor incluse în sistemul de prognoză pe râuri PROGSYS (ARMA, DLCM și LINREG), modelele LPM și SMAR și, sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS.

Concluziile și perspectivele acestui studiu sunt prezentate în capitolul 6.

Teza cuprinde o listă bibliografică ce conține 107 titluri și 194 de pagini de anexe.

CAPITOLUL 1

SISTEMUL HIDROLOGIC

Sistemul este o grupare organizată de entități sau componente reale sau abstracte aflate în diferite stări, care, operând asupra unui impuls de materie, energie sau informație, exterior sau interior, declanșează un răspuns de informație, energie sau materie (V. Al. Stănescu, 1985).

Din definiția de mai sus, rezultă necesitatea menționării unor noțiuni (V. Al. Stănescu, 1985), astfel:

- impulsul este elementul capabil să declanșeze un proces (exemplu: ploaia declanșează procesul de formare a scurgerii). Convenim a numi "intrare" și respectiv "ieșire" o suită de impulsuri și respectiv răspunsuri.

- componentele sau structurile sistemului sunt acele părți din care acesta este format într-o configurație dată. Un sistem poate avea la un moment dat toate componentele sau numai o parte din acestea. Componentele unui sistem pot fi independente sau dependente între ele. Ele se pot diviza în continuare în subcomponente, devenind în acest caz subsisteme. În teoria sistemelor, orice sistem este considerat ca subsistem al unui alt sistem care îl înglobează. Sistemul poate fi "închis" sau "deschis" după cum răspunsul său final se poate constitui sau nu în impuls pentru un alt sistem.

- starea sistemului este caracterizată prin cantitatea, la un moment dat, de energie, materie sau informație existentă în sistem și de configurația sa. Sistemul se poate găsi într-o stare dinamică sau staționară după cum la momentul respectiv există sau nu un gradient de energie, materie sau informație față de momentul anterior. Totalitatea stărilor anterioare ale sistemului pe un interval mare de timp se numește "istoria" stărilor sistemului.

1.1. Ciclul hidrologic. Definirea sistemului hidrologic.

Marcus Vitruvius Pollio (sec. I î.e.n.) a fost primul care a înțeles corect ciclul hidrologic. El a scris că soarele ridică apa din râuri și mări astfel fiind formați norii ; norii sunt apoi dispersați prin coliziune cu munții și conținutul lor de apă este precipitat.

Astăzi, spunem că acțiunea energiei solare exprimată ca diferență dintre radiația incidentă și cea reflectată, provoacă procesul circulației generale a apei în natură.

Sistemul hidrologic este un sistem închis iar procesul circulației apei se mai numește și *ciclu hidrologic*, în care volumul total de apă de pe pământ este constant dar distribuția sa în diferite momente este variabilă.

Ecuția de bilanț a apei este

$$P_u + P_o = E_o + E_s + S + dA / dt \quad (1.1)$$

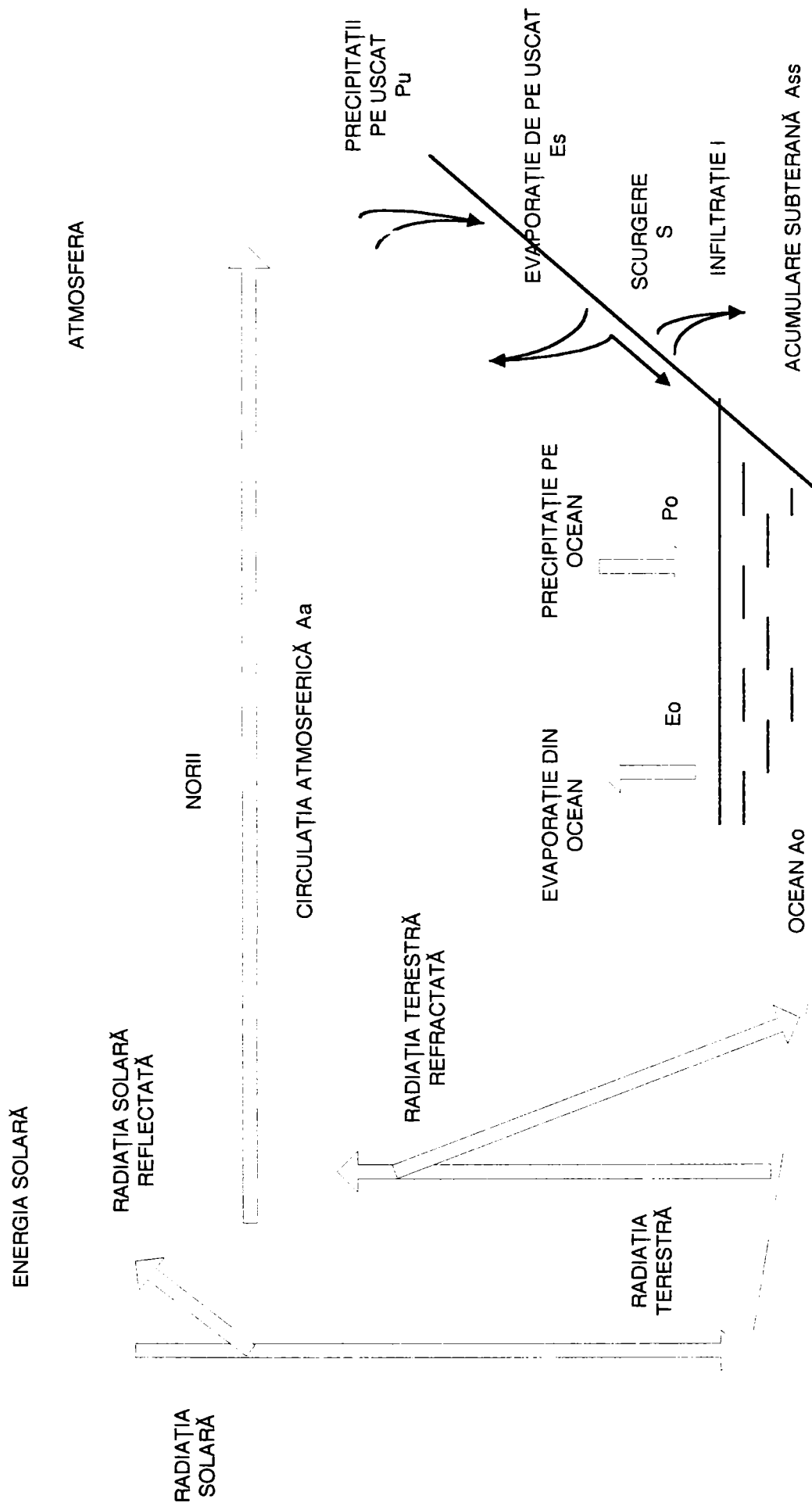


Figura 1.1. Circuitul apei în natură

unde: Pu - precipitațiile căzute pe uscat;
 Po - precipitațiile căzute în oceanul planetar;
 Eo - evaporația din ocean;
 Es - evapotranspirația de pe uscat;
 S - scurgerea apei

$$A = Aa + Ao + As + Ass \quad (1.2)$$

unde: Aa; Ao; As și Ass sunt cantitățile de apă acumulate în atmosferă, ocean, sol și subsol.

În figura 1.1 este prezentat ciclul apei în natură care poate conduce la obținerea a trei sisteme distincte: sistemul meteorologic; sistemul oceanologic și sistemul hidrologic.

Data fiind tema tezei, am considerat necesară prezentarea sistemului hidrologic, a componentelor acestuia, a intrărilor și ieșirilor din sistemul hidrologic așa cum au fost ele definite de către Stănescu (1985).

Sistemul hidrologic reprezintă faza terestră a ciclului hidrologic.

Schema sistemului general din figura 1.2 este utilă pentru definirea intrărilor, componentelor și ieșirilor sistemului hidrologic.

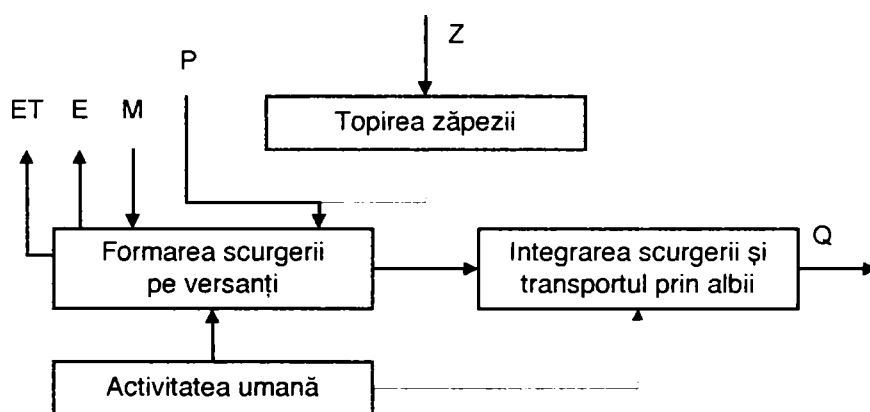


Figura 1.2. Schema sistemului general
 unde ET= evapotranspirația; E = evaporația potențială; M = factorii meteorologici;
 P = precipitația; Z = zăpada și Q = debitul de apă
 (după V.Al. Stănescu, 1985).

Intrările în sistemul hidrologic

Intrările în sistemul hidrologic sunt precipitațiile căzute sub forma lichidă (ploi - P) și / sau solidă (zăpadă - Z).

Un element de intrare în sistem îl constituie totalitatea factorilor meteorologici M (temperatura aerului, deficitul de umiditate, vântul, etc.) care vor servi la calculul cedării apei din stratul de zăpadă precum și la calculul evapotranspirației ET.

Componentele sistemului hidrologic

Componentele fundamentale ale sistemului hidrologic sunt:

- componenta formării scurgerii pe versanți, care, după extragerea infiltrației F și a evapotranspirației ET, are proprietatea de transformare a ploii brute (sau a cedării apei din zăpadă) în scurgere (figura 1.3);

- componenta integrării scurgerii pe suprafața bazinului și transportul scurgerii în rețeaua hidrografică;

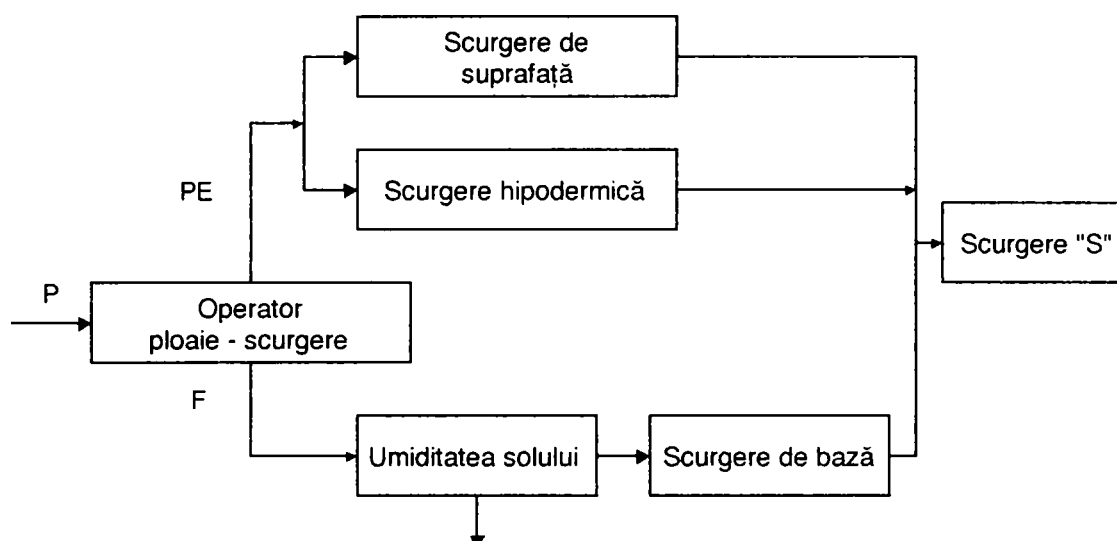


Figura 1.3. Fazele componente formării scurgerii pe versanți (după V. Al. Stănescu, 1985).

- componenta influenței umane, care se manifestă în ambele componente enunțate anterior.

Fazele în care are loc procesul formării scurgerii sunt: scurgerea de subsuprafață numită și scurgere hipodermică și scurgerea de bază (subterană) provenită din alimentarea râurilor de către pânza freatică.

Aportul de apă P este împărțit prin operatorul ploaie-scurgere în precipitație efectivă PE și infiltrație F. Precipitația efectivă contribuie la formarea scurgerii de suprafață și hipodermice, iar infiltrația produce o creștere a rezervei de umiditate din sol. Umiditatea solului influențează modul de acționare al operatorului ploaie-scurgere. Din sol, o parte din apă se consumă pentru evapotranspirație, iar cealaltă contribuie la formarea scurgerii de bază.

În cazul componente integrării scurgerii pe suprafața bazinului și transportul scurgerii în rețeaua hidrografică, se subliniază că ambele etape - integrare și transport - au loc simultan constituind un proces fizic unitar și cu caracter continuu.

Pentru rezolvarea acestei componente se pleacă de la ecuația de continuitate

$$Q/\Delta x + S = dW \quad (1.3.)$$

unde: Q reprezintă debitul de apă; Δx este intervalul de timp; S reprezintă scurgerea de suprafață și dW este creșterea volumului de apă, asociată cu o ecuație de mișcare a apei care exprimă legătura dintre debitul de apă scurs și caracteristicile geometrice și hidraulice ale elementului considerat. Determinarea funcției Q(t), rezultată din integrarea simultană a ambelor ecuații, devine deosebit de dificilă datorită caracterului eterogen al bazinului, cunoașterii insuficiente a caracteristicilor hidraulice ale întregii rețele cât și dificultății definirii tuturor ecuațiilor diferențiale rezultate. Din aceste motive, deși componenta în discuție este unică, identificarea funcțională a acesteia în cadrul unui model al sistemului se va face prin segmentarea ei în două componente: *de integrare* și *de transport*.

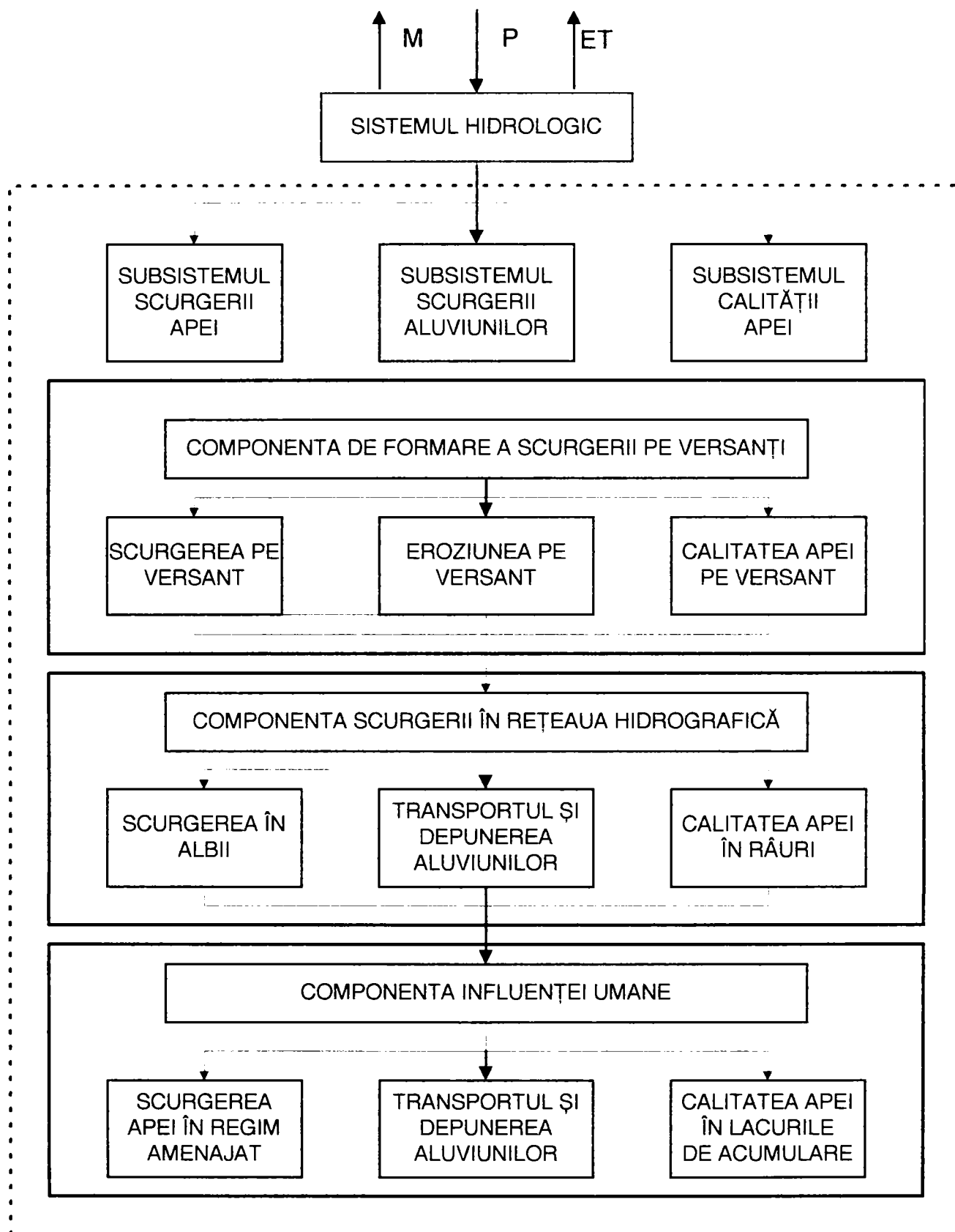


Figura 1.4. Schema bloc a sistemului hidrologic
(după V. Al. Stănescu, 1985)

Funcția *de integrare* a scurgerii pe versanți reprezintă concentrarea scurgerii în rețeaua hidrografică primară a bazinului, în urma acestui proces rezultând hidrograful scurgerii $Q(t)$ la închiderea bazinului.

Funcția *de transport* produce pe un sector de rețea hidrografică de ordin superior o translatăre, combinată cu o modificare a formei hidrografului care intră în capătul sectorului.

Translatărea este un produs al acțiunii ecuației de mișcare iar modificarea hidrografului rezultă din acumularea în albie a unor cantități de apă în conformitate cu ecuația de continuitate.

Componenta influenței acțiunii umane poate acționa simultan în ambele componente prezentate anterior prin modificarea condițiilor naturale ale versanților precum și prin schimbarea condițiilor de curgere a apei în rețeaua hidrografică.

Influențele induse de acest gen de activitate sunt atât de natura modificării cantităților de apă scurse cât și a redistribuirii acestora în timp.

Ieșirile din sistemul hidrologic

Fiecare din sistemele considerate au ca ieșiri finale debitele de apă scurse pe râuri, debitele de aluviuni și concentrația de substanțe chimice dizolvate în apă.

O alta ieșire din sistemul hidrologic este evapotranspirația ET care depinde atât de stările acestuia cât și de elementele de intrare privind diferența dintre radiația incidentă și reflectată. Datele reduse privind radiația au dus la crearea unor modele conceptuale prin care evapotranspirația este legată de factorii meteorologici M (temperatura aerului, deficitul de umiditate, etc.) care constituie elementele de intrare în sistem. Schema bloc a sistemului hidrologic, așa cum a fost definită de Stănescu în 1985, este prezentată în figura 1.4.

1.2. Clasificarea modelelor hidrologice

Clasificarea modelelor hidrologice este utilă și chiar necesară pentru selectarea celui mai potrivit model, în funcție de scopul propus și, pentru urmărirea validității modelului respectiv (Becker, Șerban, 1990).

În urma consultării literaturii de specialitate, am considerat că cea mai bună clasificare a modelelor hidrologice este cea realizată de Stănescu (1985) și, Șerban, Stănescu și Roman (1989), clasificare ce a fost adoptată în prezenta teză.

Clasificarea generală a modelelor hidrologice este redată în figura 1.5. Împărțirea în cele două categorii fundamentale, în funcție de natura lor, reprezintă cele două direcții de căutare a specialiștilor, de a descrie procesele hidrologice care se produc în cadrul unui bazin hidrografic.

De la reproducerea în condiții similare a realității din natură, care s-a realizat cu ajutorul *modelelor fizice* s-a încercat descrierea sistemului hidrologic cu ajutorul relațiilor matematice.

Datorită faptului că modelele fizice implică considerarea unei invariante stricte a sistemului descris, deși au avantajul că ieșirile sunt continue în timp, în prezent sunt foarte puțin utilizate, putând fi înlocuite cu succes de modelele matematice.

Modelele matematice pot fi:

- **Modele deterministe**, care se bazează pe conceptul de cauzalitate și caută să descrie procesele hidrologice pe baza relațiilor fizice dintre cauze și efecte.

Modelele deterministe se împart în trei categorii:

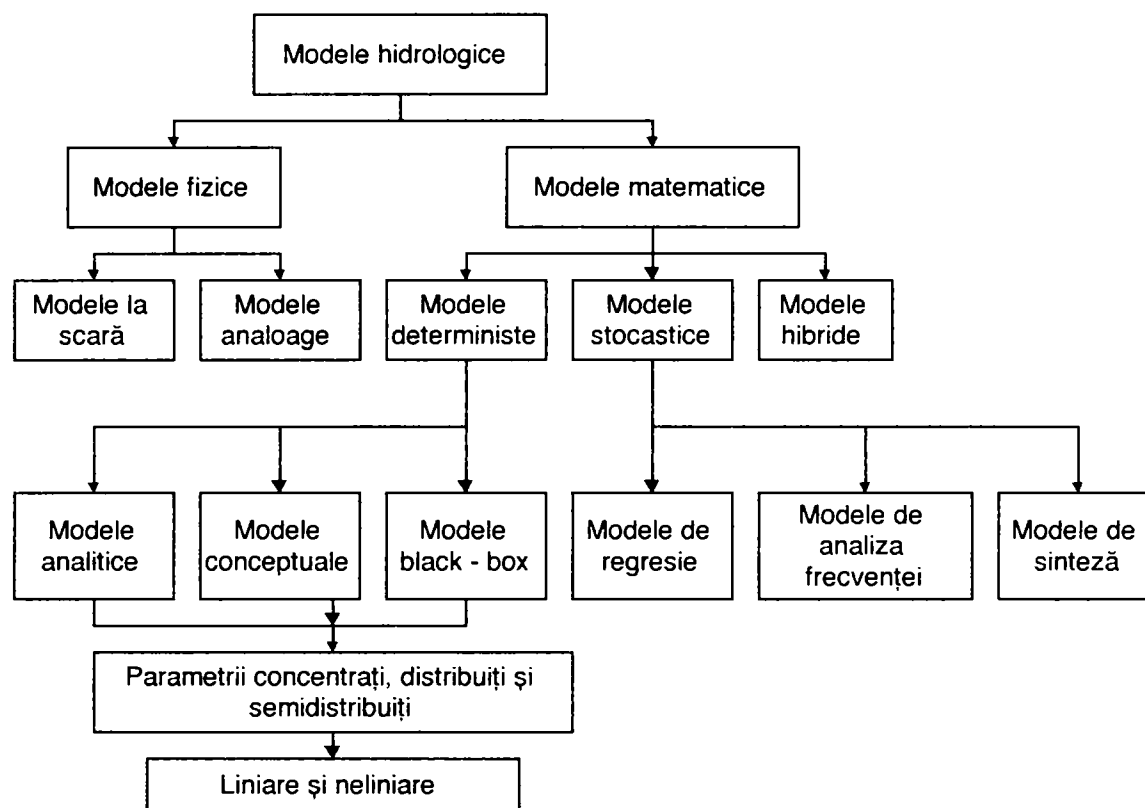


Figura 1.5. Clasificarea modelelor în hidrologie
(după V. Al Stănescu, 1985)

- *Modele analitice* - reproduc, cu ajutorul ecuațiilor fizicii - matematice, procesele fizice de formare a scurgerii pe versanți și integrarea acestora în albiile rețelei hidrografice. Aplicarea legilor fizice este limitată atât de complexitatea lor deosebită cât mai ales de neomogenitatea condițiilor fizico-geografice ale bazinului hidrografic. Parametrii legilor fizice sunt greu de determinați și, uneori, este imposibil de a le atribui un sens suficient de bine definit.
- *Modelele "black-box"* - își propun să determine ecuațiile pe baza cărora se calculează elementele de ieșire (scurgerea) folosind numai elementele de intrare (precipitațiile), fără a lua în considerare componentele interne ale procesului fizic al sistemului hidrologic. Sistemul este considerat sistem cu memorie, adică ieșirea depinde la fiecare moment de "istoria" intrărilor, astfel că integrarea se face pe întreaga perioadă anterioară momentului considerat.
- *Modelele conceptuale* - constau în imaginarea unei scheme logice a procesului de formare a scurgerii concomitent cu scrierea ecuațiilor care descriu laturile acestui proces. Se apelează la o schematizare care constă în separarea diferitelor procese implicate în operarea sistemului și stabilirea legăturilor și interacțiunilor dintre ele. Denumirea de "modele conceptuale" se referă la această idealizare care introduce noțiunea de "concepție" asupra mecanismului de acționare a fiecărei componente a sistemului asupra funcțiilor de intrare pentru a produce funcții de ieșire. În general, aceste modele au două tipuri de parametri: parametri cu semnificație fizică care pot fi determinați prin măsurători și parametri care nu pot fi măsurați direct dar pot fi calibrați prin optimizare și care, de obicei, sunt limitați fizic. În natură, acești parametri sunt conceptuali și

fizici și pot fi corelați implicit sau explicit la caracteristicile măsurabile ale bazinului.

Ideal este ca un model conceptual să fie creat pe o bază modulară, fiecare modul simulând un proces fizic major al sistemului hidrologic.

Dacă modelul conceptual este cu adevărat științific, atunci modelul trebuie să fie adaptabil, adică să permită ajustarea parametrilor și ștergerea componentelor modul care nu sunt operative astfel încât să fie posibilă recalibrarea modelului cu rezultate certe sub o largă varietate de condiții climatice și fizico-geografice.

- **Modelele stocastice** își propun să reproducă comportarea de "grup" a unei mulțimi de variabile hidrologice considerate aleatoare, între elemente pot exista sau nu relații de interdependență. Modelele stocastice se pot împărți în:
 - **Modele de regresie** - când între una sau mai multe variabile hidrologice există legături cu un anumit grad de corelație. Cu cât gradul de corelație este mai puternic cu atât modelele au un caracter determinist.
 - **Modele de analiza frecvenței** - se atașează la valorile caracteristice de calcul, măsura frecvenței lor de producere sau probabilitatea de depășire sau nedepășire. Aceste modele conțin o componentă deterministă implicată în tipul curbei de distribuție a frecvențelor.
 - **Modele de simulare stocastică** - încearcă să extrapoleze în timp o secvență de evenimente înregistrate, păstrând însă o ordine cronologică a evenimentelor și parametrii statistici ai seriei măsurate. Și aceste modele conțin o componentă deterministă.

Modelele deterministe conțin elemente stocastice și invers și, din acest motiv nu se poate face o diferențiere clară între un model pur determinist și un model pur stocastic.

În vederea modelării bazinul hidrografic este tratat din punctul de vedere al omogenității sale fizico - geografice (Stănescu, 1985; Șerban, Stănescu și Roman, 1989).

Bazinele de recepție relativ mici pot fi tratate ca unități fizico - geografice omogene cu toate că și această ipoteză implică unele aproximații.

Elementele fizico - geografice ale unui bazin hidrografic nu prezintă omogenitate pe întreaga sa suprafață și această neomogenitate este cu atât mai mare cu cât bazinul este mai mare. Datorită acestei neomogenități, modelarea proceselor hidrologice presupune elaborarea unor modele cu parametrii distribuiți pe zone fizico - geografice distincte. Nu există omogenitate nici în ceea ce privește modul de distribuire spațială a elementelor de intrare. Mediarea distribuției precipitațiilor și a factorilor meteorologici pe spații largi conduce la o reprezentare incorectă a intrărilor în bazin, cu consecințe nefavorabile asupra rezultatelor aplicării modelelor. Mediarea valorilor elementelor de intrare poate fi acceptată numai pentru subbazine mici care fac parte din bazinul considerat. Este necesară împărțirea bazinului hidrografic în subbazine mici, la fiecare dintre acestea putându-se aplica un model cu parametri concentrați precum și o serie de elemente meteorologice exprimate fiecare printr-o valoare medie (precipitație, temperatură).

Bazinele hidrografice sunt segmentate și datorită nevoi de a separa faza de integrare a precipitației nete pe bazin de faza de transport a apei în rețeaua hidrografică.

Maniera de abordare diferită a modelării fiecărei componente este determinată de gradul de cunoaștere al acesteia, de ponderea ei în procesul general, de specificul bazinului.

Pentru aplicarea modelelor, bazinele hidrografice au fost considerate în totalitate sau numai parțial omogene și supuse unei intrări uniform distribuite (*modelele cu parametrii concentrați*); sau au fost divizate în subbazine și subzone omogene, cu același tip de sol, vegetație, pantă, care au fost modelate separat și apoi integrate pentru a obține răspunsul total al bazinului (*modelele cu parametrii distribuiți și semidistribuiți*).

Modelarea proceselor hidrologice care se produc într-un bazin hidrografic se face pentru fiecare componentă în parte și anume, *ploaie-scurgere, formarea scurgerii pe versanți și integrarea acesteia prin rețeaua hidrografică și propagarea scurgerii prin albie*.

Fiecare punct de pe suprafața unui bazin poate fi caracterizat la un moment dat prin unul sau mai mulți parametri "de stare". Umiditatea inițială totală acumulată în sol, gradul de dezvoltare a vegetației constituie parametri "de stare" variabili în timp și diferiți de la un punct la altul.

Condițiile de sol, de acoperire cu un tip sau altul de vegetație precum și cele ale energiei de relief constituie parametri "stabili" care nu variază semnificativ în timp, dar pot fi sensibil diferiți de la o zonă la alta. Dacă la acestea se mai adaugă eterogenitatea spațială a căderii precipitațiilor precum și cea a condițiilor meteorologice, care condiționează variația spațială a potențialului de evapotranspirație rezultă modul complex de formare a precipitației nete.

Relația *ploaie-scurgere* este studiată prin modele în măsură să estimeze debitele și hidrografele acestora.

Modelele folosite pentru modelarea precipitației nete sunt modele deterministe de ploaie-scurgere, care includ formule raționale simple; hidrografe unitare; hidrografe unitare sintetice bazate pe relații empirice; metoda izocronelor; modele conceptuale complexe și modele distribuite.

Procesul *formării scurgerii pe versanți și al integrării acesteia prin rețeaua hidrografică* este foarte complicat datorită variației precipitațiilor, infiltrațiilor și a factorilor bazinali (Șerban, Stănescu, Roman, 1989). Cazurile tipice de formare și propagare a scurgerii care permit cunoașterea trăsăturilor dominante ale procesului au fost descrise de Șerban în 1989. Matematic, scurgerea pe versanți se tratează utilizând modelele hidrodinamice, conceptuale și black-box.

Propagarea scurgerii prin albiile naturale reprezintă un proces hidraulic foarte complex, care este, de regulă, tridimensional cu direcția principală de curgere în lungul cursului de apă. Modificarea formei și poziției în timp a hidrografului este cauzată de fenomenele de atenuare, dezatenueare, translație și subsidență.

Rezultă că, atât în regim îndiguit cât și în regim natural, mișcarea apei este nepermanentă.

Mișcarea nepermanentă unidimensională a apei în albia râului este descrisă de sistemul de ecuații Saint - Venant format din:

- ecuația de continuitate

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = 0 \quad (1.5.)$$

- ecuația de mișcare

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\delta h}{\delta x} \right) + gA(I_f - I_0) = 0 \quad (1.6.)$$

unde dinamice unde de difuzie unde cinematice

- unde: Q - debitul;
 A - aria secțiunii de scurgere;
 h - adâncimea apei;
 l_0 - panta talvegului;
 l_f - panta de frecare;
 x - distanța măsurată în lungul albiei;
 t - timpul;
 g - accelerația gravitațională.

Modelarea procesului de propagare urmează două direcții.

O primă direcție, promovată de cei care lucrează în domeniul hidraulicii, a fost aceea de a încerca, prin diferite metode, să determine soluțiile sistemului de ecuații diferențiale cu derivate parțiale care descriu mișcarea nepermanentă a apei în albie. Astfel, au rezultat numeroase modele hidraulice (hidrodinamice). În funcție de numărul termenilor (al forțelor) considerați în ecuația de mișcare, modelele care se pot aplica propagării scurgerii în albiile râului sunt modele dinamice, de difuzie și cinematice (Șerban, Stănescu, Roman, 1989).

Cea de a doua direcție a fost dezvoltată de hidrologi care au descris procesul de propagare global prin relații mai simple, obținând modelele cunoscute sub numele de *modele hidrologice (conceptuale)*. Pentru a descrie mișcarea apei în albie, hidrologii utilizează ecuațiile Saint Venant simplificate integrate pe un sector de râu. Și anume :

- ecuația de continuitate:

$$Q - Q_0 = dV/dt \quad (1.7.)$$

-ecuația de momente

$$V = f(Q, Q_0) \quad (1.8.)$$

- unde: Q - debitul afluent în sector;
 Q_0 - debitul defluent din sector;
 V - volumul de apă acumulat pe sector.

În funcție de forma ecuației de momente (1.8.) există mai multe modele hidrologice de propagare a scurgerii (Șerban, Stănescu, Roman, 1989).

McCarthy (1935) și-a imaginat următoarea relație între volumul acumulat pe sectorul de râu și debitele de la capetele sectorului (Șerban, Stănescu, Roman, 1989):

$$V = K T x Q + (1 - x) Q_0 t \quad (1.9.)$$

unde: K reprezintă durata de propagare a debitelor pe sectorul de râu și, x este parametru care reprezintă măsura timpului de scurgere *concentrată* sau *distribuită*.

Valoarea lui $x = 0$ corespunde la o acțiune *complet concentrată* sau la o acțiune de tip rezervor, unde intrarea determină un răspuns instantaneu, principalul efect fiind atenuarea hidrografului de intrare. Cu alte cuvinte, un sector de râu are ca model conceptual un rezervor, la care legătura dintre volumul acumulat și debitul defluent este liniară, de forma:

$$V = K Q_0 \quad (1.10.)$$

Conceptul de acumulare concentrată a fost utilizat cu succes în hidrologie de Kalinin și Miljikov în 1958 și de Rockood (SSARR, 1972).

O valoare a lui $x = 0,5$ corespunde unei acțiuni *complet distribuite*, caracterizate de o scurgere uniformă, efectul principal fiind translatarea hidrografului de intrare.

Prin alegerea unei valori corespunzătoare lui x între aceste două extreme, fenomenele de translație și de atenuare pot fi tratate simultan. În acest mod a procedat pentru prima oară McCarthy, care a elaborat în anul 1935 modelul Muskingum, model care a fost perfecționat ulterior de Nash în 1959 și Cunge în 1969.

Modelele hidrologice definesc prin parametrii lor un model de *râu echivalent* cu geometria regulată și rugozitatea uniformă. Dacă acești parametri sunt determinați pe baza viiturilor înregistrate, atunci modelele hidrologice sunt capabile să reproducă propagarea prin albie a unei game largi de hidrografe.

Cea mai bună clasificare a modelelor hidrologice în funcție de criteriile utilizatorului a fost realizată de către Becker și Șerban (1990).

Deoarece unul dintre obiectivele tezei este determinarea celor mai potrivite metode și modele de prognoză a debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici, am ales clasificarea modelelor hidrologice în funcție de acest scop.

1.3. Prognoza hidrologică

Conform definiției date de OMM în 1975, prognoza hidrologică este o estimare anterioară a stării viitoare a variabilelor hidrologice. Prognoza hidrologică nu trebuie confundată cu calculele hidrologice (de prevedere) utilizate în scopuri de planificare și proiectare. Ambele activități necesită date istorice și pot folosi aceleași metode de analiză hidrologică și modelare. Cu toate acestea, prognoza hidrologică cuprinde activități tehnice suplimentare aflate în conexiune cu altele, cum ar fi observațiile meteorologice, rețeaua hidrometrică, prelucrarea datelor, telecomunicațiile, etc.

Prognoza hidrologică nu trebuie privită ca o tehnică specifică hidrologiei deoarece ea este o activitate economică care folosește câteva tehnologii dezvoltate, atât hidrologice cât și din afara hidrologiei.

În ultimii ani, au fost depuse eforturi considerabile pentru rezolvarea problemelor prognozei hidrologice în timp real. Țările dezvoltate sunt interesate de extinderea și îmbunătățirea serviciilor de prognoză existente. Noile domenii de aplicare reprezintă o nouă tendință în folosirea prognozei.

În primul rând, problemele actuale și viitoare ale controlului cantității și calității apei au făcut să apară noi cerințe pentru dezvoltarea serviciilor de prognoză astfel încât, acestea să fie în măsură să dea o prognoză sigură a debitelor minime pe râuri. În timpul perioadelor cu ape mici, prognoza scurgerii în albia râului, împreună cu debitele de diluție corespondente, este importantă pentru monitorizarea și controlul poluării. În viitorul apropiat, în unele regiuni, prognoza debitelor minime va fi la fel de importantă ca prognoza viiturilor.

Procesele hidrologice sunt influențate de către factorii meteorologici. Efectul acestora asupra regimului apei nu apare instantaneu sau imediat și, tocmai datorită acestui fapt, este posibilă prognoza componentelor ciclului hidrologic.

Toate variabilele de bază, care guvernează scurgerea și celelalte procese hidrologice, pot fi împărțite în două grupe:

1. Starea inițială a variabilelor, care guvernează condițiile existente în momentul realizării prognozei și, care pot fi calculate sau estimate pe baza observațiilor curente meteorologice și hidrologice.
2. Apariția viitoare a variabilelor, care influențează procesele hidrologice după ce prognoza a fost emisă. Acești factori, care includ și viitoarele condiții meteorologice, pot fi luați în considerare numai dacă se dispune de prognoza meteorologică.

Nu a fost dezvoltată, încă, nici o metodă potrivită pentru prognoza de lungă durată a variabilelor meteorologice. Din acest motiv, posibilitatea de extindere a perioadei de prognoză hidrologică este limitată de gradul cu care viitoarele apariții meteorologice afectează dezvoltarea evenimentului hidrologic care este prognozat. Subiecte ale limitării în timp, factorii primari care influențează acuratețea și timpul de realizare al prognozelor hidrologice sunt viteza cu care sunt colectate datele și exactitatea acestor date referitoare la variabilele stărilor inițiale meteorologice și hidrologice, date care sunt necesare modelului de prognoză utilizat.

Prognoze hidrologice exacte pot fi emise și în afara perioadelor în care se dispune de prognoze meteorologice sigure, numai dacă aceste prognoze sunt făcute pe baza condițiilor meteorologice specifice. Asemenea condiționări sau prognoze pe bază de probabilități se realizează, uzual, în prognoza sezonieră pentru alimentări cu apă (Dyhr-Nielsen, 1982).

Pe baza celor prezentate anterior, rezultă că prognozele hidrologice pot fi clasificate astfel (Szöllösi-Nagy în Starosolszky, 1987):

1. *După scopul prognozei:*

- a) prognoza viiturilor (viituri, ruperi de baraje);
- b) prognoza debitelor pentru alimentări cu apă în diferite perioade (zilnic, săptămânal, sezonier sau anual), inclusiv prognoza pentru producerea de energie și irigații;
- c) prognoza debitelor minime pentru controlul calității apei și alte scopuri.

2. *După variabilele prognozate:*

- a) niveluri;
- b) cantitatea de apă (debite, volume) și calitatea apei;
- c) fenomenele de iarnă.

3. *După timpul de anticipare:*

Prognoza de scurtă durată	Prognoza valorilor viitoare ale variabilelor regimului cursului de apă pentru o perioadă de până la două zile din momentul emiterii prognozei.
Prognoza de durată medie	Prognoza valorilor viitoare ale variabilelor regimului cursului de apă pentru o perioadă între două și zece zile din momentul emiterii prognozei.
Prognoza de lungă durată	Prognoza valorilor viitoare ale variabilelor regimului cursului de apă pentru o perioadă mai mare de zece zile din momentul emiterii prognozei.

*E.S.P.S.
20.*

Prognoza hidrologică
sezonieră

Prognoza valorilor viitoare ale variabilelor
regimului cursului de apă pentru un sezon
(câteva luni sau mai mult).

Avertizarea hidrologică

Informarea asupra unui fenomen hidrologic
așteptat și care este considerat periculos.

4. După metodele de prognoză folosite

- a) Metodele derivate din legile care guvernează mișcarea apei în albiile râurilor. Aici, sunt incluse metodele hidrodinamice și toate tehnicile de aproximare ale translatării hidrografelor prin albie și, care formează baza prognozei de scurtă durată a nivelurilor și debitelor. Aceste metode folosesc, ca date de bază, toate observațiile referitoare la niveluri și debite. În această categorie intră și modelele statistice empirice.
- b) Metodele derivate din analiza proceselor meteorologice și hidrologice care au loc la scara întregului bazin hidrografic. Acestea includ metodele bilanțului apei pentru prognoza alimentărilor cu apă și folosesc observațiile meteorologice și hidrologice.

Prognoza de scurtă durată

Matematica de bază și tehnicile hidrologiei formează nucleul oricărui sistem de prognoză hidrologică de scurtă durată. O prognoză de succes depinde de simpla legătură care a fost stabilită empiric între variabilele observate, cum ar fi debitele din amonte și debitele din aval la timpul de propagare determinat (debitele corespondente).

Procedurile de prognoză se bazează pe o descriere fizică completă a proceselor hidrologice și hidraulice, cum ar fi modelele conceptuale ale procesului ploaie-scurgere și metodele de rulare prin albie.

Fiecare procedură sau model de prognoză parcurge două etape (Němec, 1983) și anume:

- etapa de dezvoltare (calibrare);
- etapa de operare (aplicare în prognoza operativă).

Clasificarea modelelor utilizate în prognoza în timp real nu este necesar identică cu clasificarea generală a modelelor hidrologice. Următoarele două clasificări ale modelelor de prognoză, nu sunt exclusive și pot fi folosite simultan (Němec, 1983).

Prima clasificare este:

1. Modele ale răspunsului de bază al bazinului hidrografic (aceste modele nu sunt capabile să simuleze efectele activității umane asupra comportării bazinului).
2. Modele ale răspunsului unui sistem de râuri, inclusiv influența activității umane (aceste modele sunt capabile să simuleze efectele de scurtă durată ale efectelor umane asupra comportării bazinului).

A doua clasificare este:

1. modele care se referă la volumul scurs;
2. modele care se referă la distribuția temporară a volumului scurs;
3. modele care se referă la rularea scurgerii prin albie.

Modificând clasificarea propusă de Němec, modelele utilizate în prognoza în timp real se pot clasifica astfel (Szöllösi-Nagy în Starosolszky, 1987):

➤ **Modele deterministe de prognoză:**

1. Modele bazate pe datele hidrometrice care se referă numai la scurgerea prin albie:
 - a) metode ale nivelurilor, debitelor și volumelor corespondente (tehnica corelației);
 - b) modelele de "intrare/ieșire" (metodele hidrografului unitar);
 - c) rularea prin albie folosind metodele undei dinamice, unde difuze, unde cinematice și acumulării pe sectoare de râu.
2. Modele bazate pe datele hidro-meteorologice și hidrometrice, care se referă la procesele ploaie-scurgere și rulare prin albie:
 - a) corelațiile empirice care folosesc variabilele fizice și parametri sau indici, cum ar fi indicii de precipitație anterioare;
 - b) modelele "intrare/ieșire" pentru obținerea răspunsului bazinului hidrografic la precipitații;
 - c) aproximările hidraulice utilizând modelele distribuite;
 - d) modele conceptuale de bilanț al umidității solului folosind indicii de umiditate a solului, bilanțul implicit al umidității sau, bilanțul explicit al umidității solului.

➤ **Modele stocastice de prognoză:**

1. modelele autoregresive (AR);
2. modelele mediei glisante;
3. modelele ARMA;
4. modelele neliniare ale seriilor de timp;
5. modelele algoritmului adaptiv.

➤ **Modele mixte, deterministo-stocastice, de prognoză:**

1. aplicarea combinată a rulării prin albie cu modelele stocastice pentru prognoza debitelor;
2. aplicarea combinată a modelelor "intrare/ieșire" sau a modelelor conceptuale cu modelele stocastice pentru a include ploaia ca intrare în modele.

Prognoza de medie și lungă durată

În principiu, orice model hidrologic care prognozează cu acuratețe viiturile poate fi folosit pentru prognoza de lungă durată, făcându-se, dacă este cazul, anumite modificări.

Modelele pentru prognoza de lungă durată vor fi calibrate astfel încât erorile debitelor medii lunare să fie cât mai mici, chiar dacă erorile din perioadele de viitură sunt mai mari.

Când un model hidrologic este calibrat pentru a simula cu acuratețe o serie de debite observate, utilizarea sa în prognoza în timp real depinde de:

- abilitatea de a simula cu acuratețe starea bazinului hidrografic din ziua prognozei și,
- prognoza meteorologică a viitoarelor evenimente să fie folosită ca intrare în model.

Primul factor depinde de eficiența procedurii de actualizare, al doilea factor poate fi folosit numai dacă este disponibilă prognoza meteorologică a viitoarelor cantități de precipitații.

Studiind metodele de prognoză existente și aplicate în diverse condiții și, făcând o comparație între cerințele operaționale și metodele de prognoză, devine foarte clar că nu există și nici în viitorul apropiat nu va exista o metodă de prognoză "universală", care să fie potrivită pentru toate condițiile posibile. Accentul trebuie pus pe termenul "prognoză

operativă" până când bazele de date și teoriile curente nu vor permite ca toate procesele ciclului hidrologic să fie incluse într-o metodă generală de prognoză (Szöllösi-Nagy în Starosolszky, 1987).

1.4. Modele hidrologice care pot fi aplicate în regim de simulare sau/și prognoză hidrologică

Aproape fiecare Institut de cercetare hidrologică sau grup de hidrologi a produs forma sa proprie de model hidrologic. Alături de studiile de pionerat ale celor de la MIT, foarte multe Agenții Guvernamentale din Statele Unite, prin echipele de hidrologi, matematicieni și specialiști în hidraulică, au depus o muncă enormă în domeniul modelelor conceptuale. Rezultate notabile au fost obținute și de alte țări, de organizații comerciale sau de colective de specialiști din Universități.

Câteva dintre cele mai notabile modele conceptuale sunt prezentate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1.

Modele conceptuale care sunt utilizate în lume

Țara	Numele modelului	Instituția	Scopul
Australia	CBM	Biroul de meteorologie Commonwealth	Prognoza scurgerii viiturii
Canada	UBC	Universitatea din Columbia Britanică	Prognoza scurgerii și a topirii zăpezii
Franța	BILIK	Sogreah, Grenoble	Prognoză generală
Franța	CREC	Chatou	Prognoza scurgerii
Franța	GIRARD1	ORSTOM, Paris	Scopuri multiple
Israel	Mero	TAHAL Eng. Co.	Gospodărirea apei
Italia	CLS	Universitatea din Pavia și IBM Pisa	Prognoza viiturilor
Japonia	TANK2	Baraje Yodo R.	Scurgerea apei
Africa de Sud	HYEREUN	Departamentul de Cercetare al Universității din Witwatersrand	Simularea hidrografului viiturii
România	VIDRA	INMH București	Scopuri multiple
România	DANUBIUS	INMH București	Prognoza scurgerii zilnice pe Dunăre
România	HIDROZ	INMH București	Prognoza scurgerii zilnice
SUA	NWSH	Serviciul meteorologic din Maryland	Prognoza viiturilor și a apelor mici
SUA	SRFCH	Serviciul meteorologic din Sacramento	Prognoza viiturilor și a apelor mici
SUA	SSARR	Armata SUA, Corpul Inginerilor din Portland, Oregon	Prognoza viiturilor și a apelor mici
SUA	HEC	Armata SUA, Corpul Inginerilor, California	Prognoza viiturilor și a apelor mici
URSS	HMC	Centul Hidrometeorologic, Moscova	Prognoza pe termen scurt a viiturilor

Din 1960 și până în prezent au fost dezvoltate trei generații de modele hidrologice (Șerban, Stănescu, Roman, 1989). De la modelele conceptuale cu parametri concentrați, din care fac parte modelele Standford, SSARR, Nash și O'Donnell s-au dezvoltat, după 1975, modelele cu parametri semidistribuiți, din care pot fi amintite modelele IRMB, WATBAL, VIDRA, TANK, Fiziografic, s-a ajuns la modele cu parametri distribuiți, care se bazează pe o discretizare foarte fină a bazinului hidrografic și pe integrarea numerică a ecuațiilor de momente și de conservare a masei. Aceste modele asigură o utilizare totală a informațiilor distribuite, relevante pentru procesele fizice din bazin ca datele de intrare și caracteristicile bazinului (topografie, vegetație, soluri, geologie, distribuția folosințelor terenului, etc.) (Șerban, Stănescu și Roman, 1989).

În teză au fost utilizate câteva modele deterministe pentru simularea răspunsului unor bazine hidrografice din spațiul Banat. Aceste modele simulează debitele zilnice în funcție de precipitație, evapotranspirație și parametri care, implicit sau explicit, caracterizează condițiile hidrologice din bazinul hidrografic.

Modelele alese includ rezervoare liniare și rularea prin albie pentru a descrie starea bazinului și pentru a transforma scurgerea. Condițiile fizico-geografice determină numărul rezervoarelor și interacțiunile dintre ele.

❖ *Modelul de perturbație liniară LPM (Linear Perturbation Model)*

Pentru a utiliza informațiile conținute de observarea variației sezoniere a hidrografului, Nash și Barsi au sugerat în 1983 folosirea modelului de perturbație liniară (LPM) pentru a reduce dependența liniară și pentru a crește dependența comportării sezoniere observate. În bazinele hidrografice cu o mare variație sezonieră a scurgerii, scăderea mediei sezoniere din șirul de date va micșora mult din dependența liniară astfel încât presupunerea unei relații liniare între abaterile valorilor va fi mai puțin restrictivă decât aceeași presupunere referitoare la valorile totale ale intrărilor și ieșirilor. Pentru bazinele hidrografice în care nu se înregistrează o variație sezonieră semnificativă sau pentru care relația dintre intrări și ieșiri este aproape liniară, LPM va avea aceeași eficiență ca un model simplu liniar (SLM).

❖ *Modelul SMAR (Soil Moisture Accounting and Routine -Bilanțul umidității solului și rulare)*

Modelul SMAR și versiunile sale anterioare este cunoscut ca "modelul straturilor" (O'Connell ș.a., 1970). Este un model conceptual cvasi-fizic alcătuit din două componente, și anume: o componentă de bilanț al apei care încearcă să simuleze, într-o manieră foarte simplificată, fenomenele fizice care guvernează procesele de generare a scurgerii și, o componentă de rulare prin care, scurgerea generată prin componenta de bilanț al apei este transformată în hidrograf în punctul de închidere al bazinului.

❖ *Sistemul de prognoză PROGSYS*

Sistemul de prognoză pentru râuri PROGSYS este proiectat atât pentru cercetare cât și pentru aplicare imediată. De aceea nu există reguli stricte care să condiționeze utilizatorul ca, indiferent de cerințe și circumstanțe, să folosească numai un anumit model. Din această cauză, PROGSYS devine un program universal, prin includerea mai multor tipuri de modele pentru rularea hidrografului prin albie.

Modelele incluse sunt:

- conceptuale – derivate din legile care guvernează mișcarea apei în albie și canale (propagarea pe sectoare de râu - modelul REACH și, cascada liniar discretă - modelul DLDM);
- stocastice – bazate pe conceptele statistice (autocorelația - modelul ARMA și, regresia multiplă - modelele LINREG, NONLIN).

Modelul DLCM (Discrete Linear Cascade Model) realizat de Szollosi-Nagy în 1982 este utilizat la prognoza hidrografului debitelor pe sectoare de râu. Este un model determinist și se bazează pe principiul analizei stărilor spațiale. Rațiunea aplicării acestui principiu în hidrologie, constă în faptul că, adaptarea stării sistemului, cerută la prognoze în timp real, poate fi făcută foarte ușor utilizând tehnica stărilor spațiale.

Modelul este format dintr-un model de simulare (cascada de rezervoare liniare Kalinin-Miljukov-Nash) și o procedură de reactualizare a prognozelor hidrologice. Datele de intrare în model sunt hidrograful debitelor de intrare în sectorul de râu și hidrografele afluenților.

Modelul de propagare pe sectoare de râu "REACH" se bazează pe principiul cascadei de rezervoare cu deosebirea că parametrii modelului sunt raportați direct la caracteristicile fizice ale patului albiei și la regimul de curgere.

Utilizatorul împarte sectorul de râu ales în două sau patru elemente de calcul (tronsoane) cu lungime egală iar hidrograful debitelor este translatat prin fiecare tronson.

Modelul de prognoză tip "ARMA" (autocorelație și medie glisantă) se bazează pe cel mai pur algoritm stocastic adaptabil și nu necesită parametri de estimare stabiliți anterior. După primirea ultimelor date din teren, parametri sunt înlocuiți recursiv la intervale de timp discretizate și astfel este obținută prognoza hidrologică.

Regresiile multiple LINREG și NONLIN

Regresia liniară multiplă (LINREG) se aplică la problemele în care înregistrările au fost făcute în funcție de variabila dependentă, y , și alte câteva variabile independente, u_1, u_2, \dots , și ale căror obiective necesită investigarea relației dintre y și u_1, u_2, \dots .

Sistemul PROGSYS include și metoda Gauss-Newton-Marquard (NONLIN) care permite estimarea parametrilor necesari funcțiilor de prognoză neliniară.

❖ *Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS*

Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS a fost creat de către Corpul de Ingineri ai Armatei SUA și este realizat pentru a simula procesele hidrologice care se produc într-un bazin hidrografic. Sistemul este proiectat pentru a fi aplicat în orice zonă geografică și pentru a rezolva o gamă foarte largă de probleme.

Reprezentarea fizică a cursurilor de apă este realizată în *modelul bazinului*. Elementele hidrologice sunt reprezentate schematizat sub formă de rețea dendritică pentru a simula procesul de rulare prin albie.

Sistemul HEC-HMS dispune de mai multe metode pentru simularea infiltrației, transformarea precipitației în exces în scurgere de suprafață și, rulare prin albie.

Modelele conceptuale menționate mai sus sunt prezentate pe larg în Capitolul 4.

Este prima oară când, pentru simularea debitelor zilnice în spațiul Banat sunt utilizate modele conceptuale. Scopul aplicării acestor modele este obținerea unor debite zilnice simulate care să aibă o cât mai bună acuratețe față de debitele zilnice observate. Pe baza rezultatelor obținute, va fi selectat cel mai potrivit model, care pe viitor să fie utilizat pentru prognoza în timp real a debitelor zilnice în bazinele hidrografice pentru care aceste modele au fost calibrate.

Deoarece regimul natural al scurgerii este influențat de lucrările hidrotehnice extinse care există în majoritatea bazinelor hidrografice din spațiul Banat, pentru prognoza de scurtă și lungă durată deseori sunt utilizate modelele stocastice.

În teză, pentru prognoza debitelor din perioadele de ape mici, sunt utilizate modelele stocastice bazate pe metoda regresiei; analiza frecvenței și analiza regională.

Proгноza de scurtă durată a debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici s-a realizat prin metoda relațiilor dintre stațiile hidrometrice (debite corespondente), bazată pe metoda regresiei liniare.

Proгноza de lungă durată a debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici s-a realizat prin metoda debitelor condiționate (Diaconu, 1971); metoda curbei de secare și, prin calcularea probabilității de apariție a debitelor medii zilnice pe baza mediilor zilnice multianuale (Kovács în Starosolszky, 1987).

Se poate spune că încă nu a fost creat modelul "perfect" pentru prognoza scurgerii apei. Nu există nici un model care să dea rezultate bune în toate bazinele hidrografice, în orice moment și în orice circumstanțe. Nu toți cei care lucrează în prognoză hidrologică pot sau trebuie să fie creatorii unui model hidrologic dar, ei trebuie să știe să adapteze și să folosească modelele hidrologice existente astfel încât să obțină cele mai bune rezultate.

De aceea, trebuie să fim flexibili, cu mintea deschisă și pragmatici în drumul pentru dezvoltarea modelelor de prognoză a scurgerii râurilor și trebuie să ne familiarizăm cu modelele reprezentative începând cu modelele black-box, incluzând formele simple ale modelelor conceptuale cvasi-fizice. De asemenea, trebuie să învățăm să nu credem cu adevărat numai într-un anumit model și să nu permitem ca un anumit model sau set de proceduri de modelare să devină inflexibil instituționalizate.

În spatele experienței acumulate în realizarea și aplicarea unui model particular într-o anumită zonă geografică apare "inerția" și din această cauză este dificil pentru cel care utilizează modelul să ia în considerare alte modele alternative, posibil mult mai utile. Aceasta este, în mod special, cazul când modelele care se folosesc au fost create "în casă" cu aportul multor specialiști și cu un efort financiar substanțial (O'Connor, 1995).

Modelele conceptuale au potențial pentru dezvoltarea structurilor viitoare cu atât mai mult cu cât datele telemetrice devin accesibile hidrologilor datorită sofisticatului Sistem Informatic Geografic (GIS).

Sistemul Informatic Geografic (GIS) joacă un rol important în orice evaluare detaliată a aspectelor hidrologice și geologice ale bazinului hidrografic studiat.

Unul dintre domeniile de tradiție a tehnologiei GIS este managementul și exploatarea resurselor naturale. Acest vast domeniu include studii asupra modului de folosire a terenurilor, studii asupra geologiei, hidrografiei și vegetației pentru analize de mediu (Săvulescu și al., 2000).

Noua versiune ArcView conține și funcții hidrologice, care pot calcula rețeaua hidrologică într-un punct.

Au fost create modele hidrologice spațializate pentru simularea scurgerii și/sau a eroziunii. Astfel, modelul ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation) este un model conceptual spațializat realizat pentru simularea comportamentului bazinului hidrografic la scara unui eveniment.

Modelul TOPOG este un model fizic spațializat realizat de cercetătorii de la CSIRO - Australia. Modelul încearcă să simuleze cât mai multe aspecte ale mișcării apei într-un bazin hidrografic, și anume: scurgerea superficială, mișcarea apei în sol, scurgerea pe versanți, transportul de sedimente, etc.

Creșterea utilizării calculatoarelor va permite specialiștilor o înțelegere mai profundă a proceselor fizice implicate. Nu este un comentariu nedrept dacă se afirmă că, dintr-o multitudine de motive potențialul modelelor conceptuale nu a fost descoperit în totalitate.

CAPITOLUL 2

REȚEAUA HIDROGRAFICĂ A SPAȚIULUI BANAT. CARACTERIZAREA FIZICO-GEOGRAFICĂ ȘI FACTORII NATURALI AI SCURGERII DIN SPAȚIUL BANAT

2.1. Rețeaua hidrografică a spațiului Banat

2.1.1. Prezentare generală

Spațiul hidrografic Banat se dezvoltă la sud de Mureș și până la confluența râului Cerna cu fluviul Dunărea. În această zonă amplasată între 20° 18' latitudine estică și 44° 28' longitudine nordică, își adună apele următoarele râuri:

- Aranca;
- Bega Veche;
- Bega și canalul Bega Navigabil;
- Timiș;
- Bistra;
- Pogăniș;
- Moravița;
- Bârzava;
- Caraș;
- Nera;
- alfuenții direcți ai Dunării de la intrarea în țară și
- Cerna.

Râurile care-și adună apele din acest teritoriu, au caracteristici specifice zonei de sud-vest, dar, în același timp se individualizează ca sisteme fluviatile cu caracteristici specifice fiecărui bazin hidrografic separat, influența umană având un rol bine definit în scurgerea apei a celei mai mari părți a râurilor din Banat, amenajările hidrotehnice având aici o vechime mai mare de 250 de ani.

Rețeaua hidrografică din Banat este formată din râuri cu scurgere permanentă și râuri cu scurgere intermediară.

Analiza rețelei hidrografice din spațiul Banat a fost făcută după Atlasul Cadastral al României (1992). În limitele a 18.250 km² se individualizează 286 de râuri cu o lungime totală de 4.465 km.

Rețeaua hidrografică este tributară râurilor Aranca, Bega Veche, Bega, Timiș și fluviului Dunărea.

După modul în care se asociază ramurile hidrografice, în Banat se pot diferenția următoarele tipuri de rețele hidrografice:

- rețeaua hidrografică radiară care este reprezentată de cursurile de apă elementare cu obârșia în zona montană a Munților Semenic, munți ce reprezintă "castelul de apă al Banatului";
- rețeaua hidrografică rectangulară care este reprezentată de râul Bistra;
- rețeaua hidrografică dentritică care este reprezentată de râul Caraș.

Rețeaua hidrografică din spațiul Banat poate fi împărțită în două sisteme hidrografice, și anume:

- grupul vestic alcătuit din râurile Mureș, Bega și Bega Veche;
- grupul sud vestic alcătuit din râurile Timiș, Bârzava, Caraș, Nera și Cerna.

2.1.2. Elemente caracteristice ale rețelei hidrografice

Cele mai caracteristice date morfometrice pentru rețeaua hidrografică sunt: lungimea cursului de apă (L), suprafața bazinului de recepție (F) și altitudinea medie a bazinelor de recepție (H_{med}).

Datele morfometrice ale principalelor râuri din Banat sunt redate în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1.

Elementele morfometrice ale principalelor râuri din Banat

Nr. crt.	Râul	Bazinul hidrografic	L (km)	F (km ²)	H_{med} (m)
1	Aranca	Mureș	114	1080	87,0
2	Bega Veche	Bega Veche	107	2108	116
3	Bega	Bega	170	2362	230
4	Timiș	Timiș	244	5673	390
5	Bistra	Timiș	60	919	867
6	Pogăniș	Timiș	107	671	240
7	Bârzava	Bârzava	154	1202	289
8	Moravița	Moravița	47,0	435	120
9	Caraș	Caraș	79,0	1280	301
10	Nera	Nera	143	1380	576
11	Afuenții Dunării	Dunăre	-	1370	-
12	Cerna	Cerna	79	1360	737

Din datele prezentate mai sus, se observă că râul cu cea mai mare lungime este Timișul (244 km pe teritoriul României) după care urmează Bega. În ierarhia râurilor din România, râul Timiș se situează pe poziția 13-a. Cel mai scurt râu din Banat este Moravița și, cel mai mare bazin hidrografic aparține râului Timiș. Acesta își adună apele de pe o suprafață de 5673 km² (pe teritoriul României) ceea ce reprezintă 31% din totalul bazinelor hidrografice din Banat.

Toate elementele scurgerii sunt dependente de caracteristicile bazinului hidrografic. Datorită modelării generale a reliefului de către factorii exogeni și în mod special al eroziunii regresive, cumpenele de apă sunt un element mobil în timp.

Activitatea antropică a introdus schimbări importante în structura bazinelor hidrografice prin lucrări hidrotehnice de transfer al apei dintr-un bazin în altul (Timiș – Bega, Bega – Timiș, Timiș – Bârzava și Nera – Bârzava).

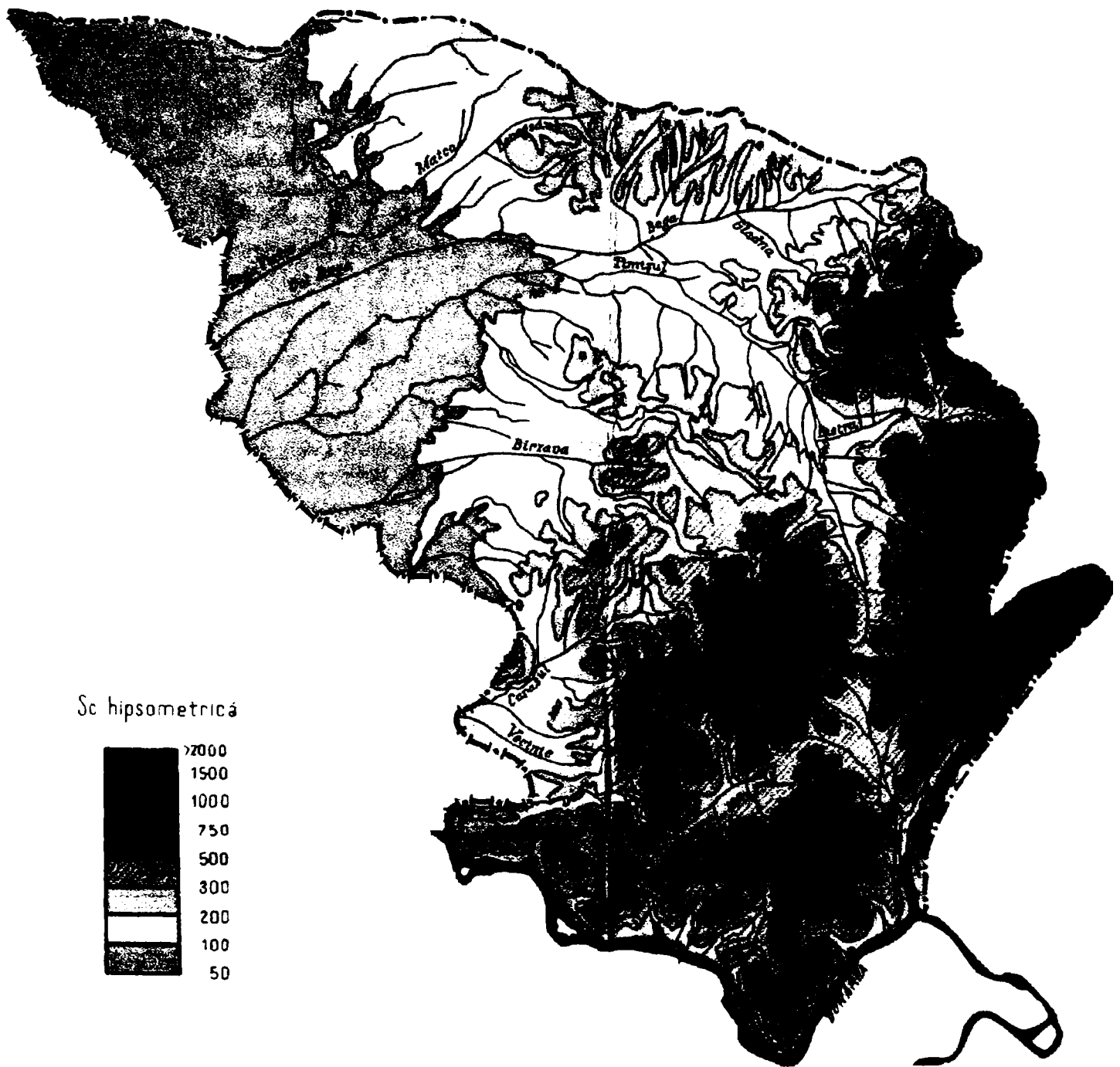


Figura 2.1. Harta hipsometrică a spațiului Banat

Pentru producerea și evoluția fenomenelor hidrologice în cadrul unui bazin hidrografic o mare importanță o au caracteristicile fizico–geografice. Acestea sunt utilizate în practică pentru determinarea metodelor de calcul a diferitelor elemente hidrografice.

Caracteristicile morfometrice ale bazinelor hidrografice care au cea mai largă utilizare sunt :

- suprafața bazinului hidrografic;
- forma bazinului hidrografic – inclusiv lungimea și lățimea medie;
- altitudinea medie a bazinului hidrografic – inclusiv curba hipsometrică (figura 2.1);
- panta medie a bazinului hidrografic.

Forma este o caracteristică proprie fiecărui bazin hidrografic. Diferențele de formă pot fi grupate după cum urmează:

- bazine hidrografice dezvoltate mai mult în cursul mijlociu (Bârzava);
- bazine hidrografice dezvoltate în cursul superior (Timiș);
- bazine hidrografice dezvoltate în cursul inferior (Sașa – afluent al râului Bega);
- bazine hidrografice dezvoltate relativ uniform pe toată lungimea (Bega, Caraș).

Caracterizarea formei bazinelor hidrografice se face, în mod frecvent, după coeficienți de tipul $\frac{L}{B}$; $\frac{L}{\sqrt{F}}$ (unde L reprezintă lungimea bazinului hidrografic, B – lățimea bazinului hidrografic și F – suprafața bazinului hidrografic); coeficientul de asimetrie; coeficientul de dezvoltare a bazinului hidrografic; coeficientul de acoperire a bazinului hidrografic cu lacuri, bălți, mlaștini; graficul de repartiție a suprafeței bazinului pe zone de altitudini – curba hipsografică.

Un parametru morfometric important este *altitudinea medie* a bazinului hidrografic deoarece are o influență generală asupra regimului hidric atât prin intermediul climei - în mod direct- cât și prin intermediul celorlalți factori fizico–geografici care au legături de interdependență cu clima – structura geologică, relieful, solul și vegetația.

2.2. Gradul de cunoaștere hidrometrică

Cunoașterea hidrometrică a râurilor din Banat permite evaluarea posibilităților de studiere a fenomenelor hidrologice.

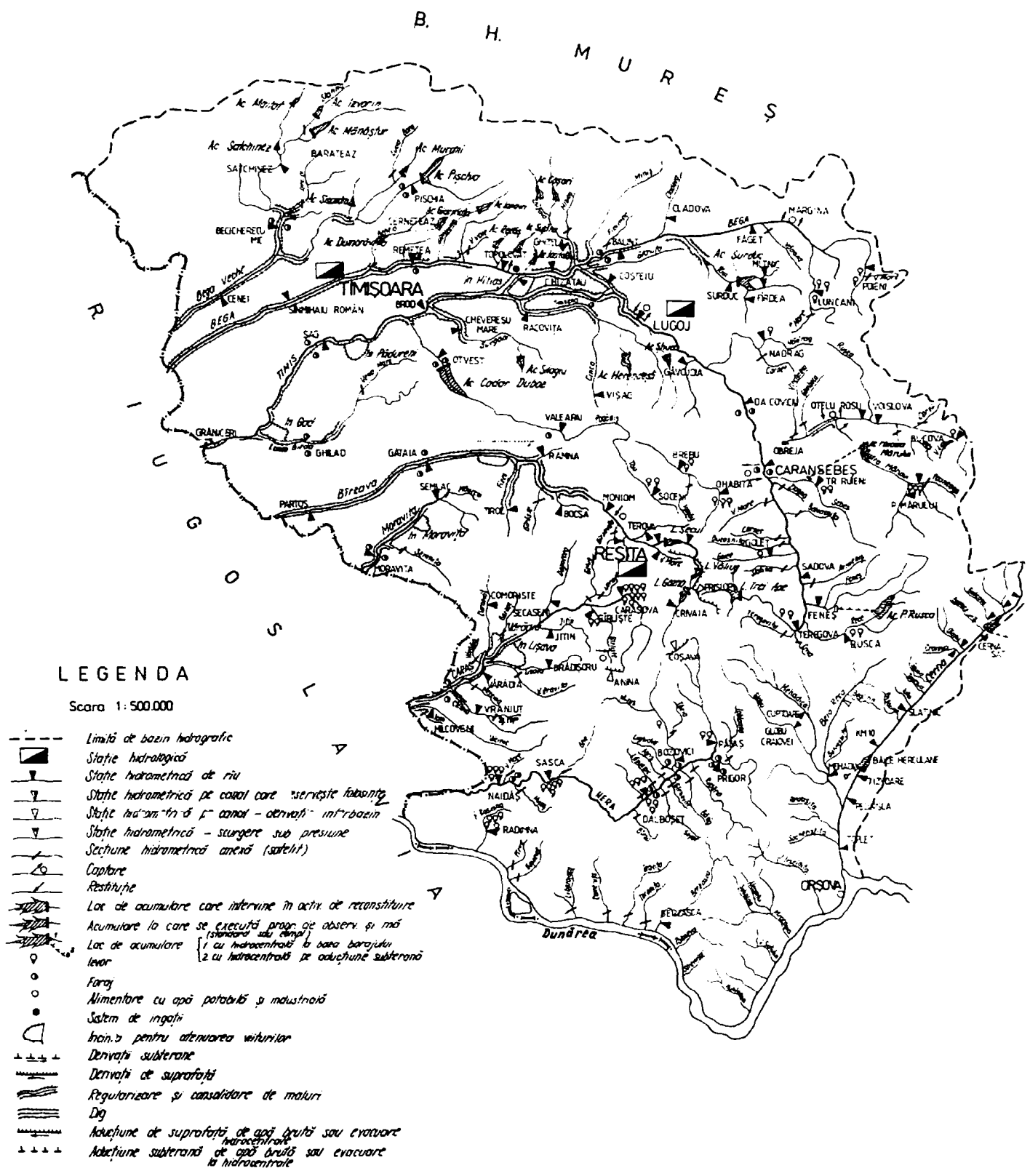
Bazele activității hidrometrice din Banat au fost puse la jumătatea secolului al XIX-lea prin înființarea a 21 de posturi hidrometrice dintre care cele mai importante sunt Făget (1875), Balinț (1875) și Timișoara (1856) pe Bega, Podul Cenei (1888) pe Bega Veche, Teregova (1902), Caransebeș (1870), Lugoj (1874) și Șag (1874) pe Timiș, Bocșa Montană (1880) și Partoș (1880) pe Bârzava. La toate aceste posturi hidrometrice au fost efectuate numai observații de niveluri fără a se executa măsurători de debite.

La începutul anului 1949 numărul total de posturi hidrometrice atinsese cifra de 49.

La nivelul anului 2002, în Banat funcționează 81 de stații hidrometrice (figura 2.2).

În ultimul deceniu, pe lângă activitatea clasică, datorită nevoii de cunoaștere complexă a regimului hidric al țării, se fac observații și studii sistematice la un număr 62 de izvoare și 86 secțiuni satelit.

Modificarea regimului hidrologic natural a impus ca, odată cu mărirea numărului de folosințe consumatoare de apă cât și a celor care redistribuie scurgerea în timp, să se efectueze observații și măsurători sistematice sau expediționare la aceste folosințe. Deasemeni, pentru cunoașterea legilor de formare a scurgerii, s-au dezvoltat și unele segmente ale hidrologiei experimentale (bazin reprezentativ, parcelă de scurgere).



LEGENDA

Scara 1:500.000

- Limită de bazin hidrografic
- ▣ Stație hidrografică
- ▽ Stație hidrometrică de riu
- ▽ Stație hidrometrică pe canal care servește fabricii
- ▽ Stație hidrometrică în canal - derivat - intrabazin
- ▽ Stație hidrometrică - scurgere sub presiune
- ▽ Stație hidrometrică anexă (satelit)
- Căpătare
- Restituție
- Loc de acumulare care intervine în actul de reconstituire
- Acumulare la care se execută progr. de observ. și măsur. (staționare sau itinerant)
- Loc de acumulare (1 cu hidrocentrală la baza barajului, 2 cu hidrocentrală pe aducțiune subterană)
- Foraj
- Alimentare cu apă potabilă și industrială
- Sistem de irigații
- Inan. pentru atenționarea viurilor
- +++ Derivați subterane
- +++ Derivați de suprafață
- Regularizare și consolidare de maluri
- Dig
- Aducțiune de suprafață de apă brută sau evacuare hidrocentrală
- Aducțiune subterană de apă brută sau evacuare la hidrocentrale

Figura 2.2. Harta spațiului hidrografic Banat

Data fiind influența asupra regimului scurgerii apei, se prezintă, pe categorii de lucrări, situația existentă pe ansamblul spațiului hidrografic Banat (anexa 1, tabelele 1 –5).

În anexa 1 tabelul 6 este redat modul de evoluție al stațiilor hidrometrice cu program de observații și măsurători pentru debite.

În viitorul apropiat, pentru urmărirea cât mai exactă a factorilor hidro-meteorologici dintr-un bazin hidrografic și pentru stabilirea stării curente a apei în termeni cantitativi și calitativi, se va realiza, prin proiectul LIFE-MOSYM, dotarea stațiilor hidrometrice cu senzori de nivel al apei, temperatură a apei și precipitație și, transmiterea automată a datelor înregistrate din teren către dispeceratul bazinal.

Conceptul actual de monitorizare individuală separă bazele de date hidrologice de procedura de colectare a acestora. Pe viitor este necesară reconsiderarea conceptului de monitorizare prin realizarea monitorizării integrate și baze de date. Modelarea și bazele de date sunt dependente unele de altele. Cele mai performante modele necesită date complexe și de calitate. Existența datelor conduce la dezvoltarea unor modele și mai performante.

Rezultatul implementării proiectului LIFE-MOSYM în spațiul Banat va fi, în prima fază, elaborarea planului de gospodărire a apei în bazinul hidrografic Timiș-Bega.

Obiectivele de bază ale proiectului, care trebuie finalizat până în 2004, sunt:

- Dezvoltarea unui sistem integrat pentru monitorizarea condițiilor de mediu ale bazinului Timiș-Bega și, pentru asigurarea redistribuirii scurgerii în intervalele de timp dintre perioadele de ape mari și perioadele secetoase.
- Implementarea stațiilor automate HYDRAROM la stațiile hidrometrice selectate, pentru monitorizarea nivelurilor, precipitațiilor, temperaturii și calității apei.
- Adaptarea și implementarea soft-ului pentru transmiterea și colectarea datelor de la stațiile automate.
- Pregătirea programelor internaționale de monitorizare a apelor de suprafață din țările Dunărene.
- Coordonarea activității cu măsurători de referință din teren.
- Implementarea soft-ului pentru prelucrarea automată a datelor (MOSYM).
- Implementarea bazelor de date pentru identificarea impactului ecologic al modificării regimului de scurgere al apei.
- Pe baza hărților, a informațiilor și măsurătorilor din teren, a datelor de la satelit, va fi creată o bază de date GIS pentru pregătirea sistemului complex de monitorizare.
- Diseminarea datelor pentru:
 - modele pentru diagnoză, prognoză hidrologică și planificarea gospodăririi apei;
 - informarea autorităților locale și a managerilor din domeniul apei.
- Elaborarea planului de gospodărire a apei în bazin.

Prin realizarea acestui proiect, se va dispune în orice moment de informațiile din teren și, elaborarea prognozelor hidrologice cu ajutorul modelelor pentru simularea debitelor zilnice, modele care sunt prezentate în teză, va fi foarte mult ușurată.

2.3. Caracterizarea fizico-geografică și factorii naturali ai scurgerii din spațiul Banat

2.3.1. Relieful

Relieful Banatului este caracterizat prin cele trei mari forme altitudinale : câmpie, dealuri și munți. Așezarea reliefului este în trepte cu direcția generală de la est la vest. Fiecare treaptă de relief își are particularitățile sale, legate de fragmentarea tectonică, de complexitatea litologică, etc. Relieful Banatului este prezentat în figura 2.3 iar, litologia și morfologia reliefului din Banat sunt prezentate în figura 2.4.

Treapta cea mai înaltă este reprezentată de Munții Țarcu-Pietrosu și Godeanu. Această zonă este străbătută de cursurile superioare ale râurilor Timiș, Bistra și afluenții lor.

Litologia acestor munți este constituită, în special, din granite, șisturi cristaline de epizonă și calcare în Țarcu ; din șisturi cristaline de mezozonă în Godeanu. Rocile cristaline din Țarcu și Godeanu, fiind foarte puțin permeabile, favorizează scurgerea de suprafață. În schimb, prezența calcarelor în Munții Țarcu micșorează valorile coeficienților de scurgere de suprafață, favorizând scurgerea subterană și, implicit, alimentarea sporită a colectorului principal din surse subterane.

Morfologic, Munții Țarcu – Godeanu sunt munți înalți și singulari, asimetric fragmentați, cu suprafețe de eroziune larg dezvoltate în trepte și cu urme glaciare. Sectoarele vestice ale acestor masive sunt joase, peneplenizate, în trepte și cu relief format pe cristalin.

Altitudinile maxime sunt de 2186 m - Țarcu, 2291 m - Godeanu. Altitudinea medie este de aproximativ 1200 m. Energia maximă a reliefului are valori de peste 500 m, depășind 1000 m în zona înaltă a Munților Țarcu-Godeanu. Fragmentarea reliefului este de aproximativ 500 – 700 m. Panta medie a suprafețelor bazinale are valori foarte mari, cuprinse între 300 – 400 m/km.

Munții Poiana Ruscăi. Situați în nord-estul Banatului sunt străbătuți de râul Bega și afluenții ai râurilor Bistra și Timiș. Munții sunt bine reliefați la sud și vest de două culoare tectonice (Bistra și Timiș).

Litologia acestor munți este constituită, predominant, din șisturi cristaline de epizonă și catazonă, roci care sunt puțin permeabile favorizând, astfel, scurgerea de suprafață. În NV –ul masivului, în bazinul hidrografic superior al râului Bega, suprafețe relativ mari sunt alcătuite din calcare – roci care favorizează formarea scurgerii subterane.

Morfologic, Munții Poiana Ruscăi sunt puțin înalți, cu relief format pe cristalin și parțial pe calcare, peneplenizați și în trepte. Altitudinea lor maximă este de 1378 m și altitudinea medie este de aproximativ 700 m. Energia maximă a reliefului este de 400 – 600 m. Fragmentarea acestuia este de 500 – 700 m. Panta medie a suprafețelor bazinale este de 250 m/km.

Munții Cernei se situează la sud de Munții Țarcu-Godeanu, extinzându-se până în Valea Cernei. Litologia acestor munți este constituită îndeosebi din calcare și din această cauză scurgerea subterană este favorizată.

Morfologic, Munții Cernei sunt munți joși, peneplenizați, în trepte, cu relief carstic dezvoltat în jumătatea sudică, iar în partea nordică cu relief format pe cristalin.

Altitudinea maximă este de 1462 m iar altitudinea medie este mai mică de 900 m. Energia maximă a reliefului are valori peste 500 m. Fragmentarea reliefului este de 700 – 900 m.

Munții Banatului ocupă sectorul central sudic al Banatului și constituie nodul oro-hidrografic de divagație al râurilor Timiș, Bârzava, Caraș, Nera, Berzasca, Mehadia și altele. În Semenice rocile de suprafață sunt, predominant, cristaline de mezozonă, calcare și granite. Rocile cristaline favorizează scurgerea de suprafață, iar cele calcaroase favorizează formarea unei rețele hidrografice subterane.

Morfologic, acești munți sunt joși, peneplenizați, în trepte, cu un relief predominant cristalin, dar și cu relief carstic larg dezvoltat. Altitudinile maxime sunt de 1447 m în Munții Semenice și de 1226 m în Munții Almăjului. Altitudinile medii sunt de aproximativ 800 m în Munții Semenice și de 600 m în Munții Almăjului. Energia maximă a reliefului are valori ce depășesc 500 m pe majoritatea suprafețelor. Fragmentarea reliefului este de 300 – 700 m în Munții Semenice și de 500 – 700 m în Munții Almăjului. Pantele medii ale suprafețelor bazinale depășesc, în general, 200 m/km.

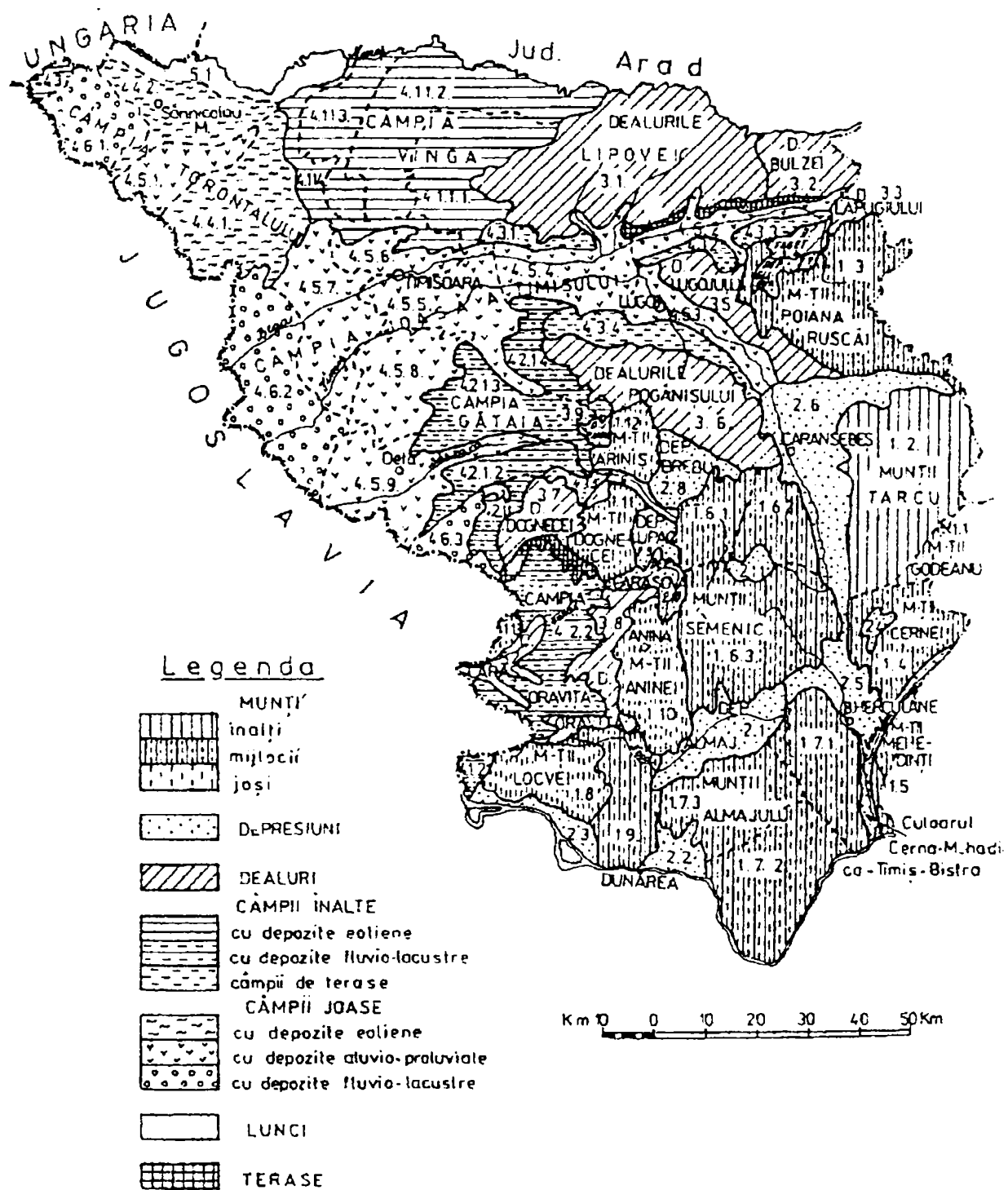


Figura 2.3. Harta reliefului Banatului
(după Atlasul României, 1976)

Munții Banatului sunt divizați în mai multe compartimente, și anume:

Munții Semenic au un aspect masiv. Sunt delimitați de alte unități montane, de văi adânci (Bârzava la nord, Caraș la vest, Poneasca și Nera la sud), sau de culoare tectonice (Cerna-Timiș la est). Altitudinea maximă este de 1447 m iar altitudinea medie este de aproximativ 800 m. Energia maximă a reliefului are valori ce depășesc 500 m pe majoritatea suprafețelor. Fragmentarea reliefului este de 300 – 700 m. Pantele medii ale suprafețelor bazinale depășesc, în general, 200 m/km.

Munții Almăjului sunt mărginiți de depresiunile Almăj la nord și Mehadica-Cerna la est, de Dunăre la sud și de Cremenița la vest. Sunt alcătuiți din șisturi cristaline ale autohtonului danubian, gresii, conglomerate, șisturi argiloase, calcare. În multe locuri, aceste depozite au fost străpunse de roci magmatice. Altitudinea maximă este de 1226 m iar altitudinea medie este de 600 m. Fragmentarea reliefului este de 500 – 700 m. Pantele medii ale suprafețelor bazinale depășesc 200 m/km.

Munții Aninei sunt alcătuiți din șisturi cristaline ale pânzei getice acoperite de o groasă formațiune sedimentară paleozoică-mezozoică formată din conglomerate, șisturi argiloase, calcare întrerupte de iviri de banatit.

Relieful și-a adaptat o structură conformă cu litologia: culmi și podișuri calcaroase cu direcția nord est-sud vest, cu polii și doline.

Munții Locvei sunt delimitați la nord de Nera, la sud și vest de Dunăre și la est de culoarul Liubcova-Șopotu Nou.

Litologic, Munții Locvei sunt alcătuiți din șisturi cristaline ale pânzei getice în partea de vest și din calcare în partea de est.

Munții Dognecei sunt delimitați la nord de Bârzava și la sud de Caraș.

Litologic, munții sunt alcătuiți din șisturi cristaline ale domeniului getic care se prezintă sub forma a două culmi principale nord-sud, despărțite de o bandă îngustă de calcare și gresii mezozoice.

Munceii periferici Banat – Poiana Ruscăi sunt amplasați la periferia Munților Semenic, Almăj și Poiana Ruscăi. Zona este drenată pe sectoare mici de râurile Bega, Pogăniș, Bârzava, Caraș, Nera, Cerna și afluenții Dunării la vest și est de Munții Almăj.

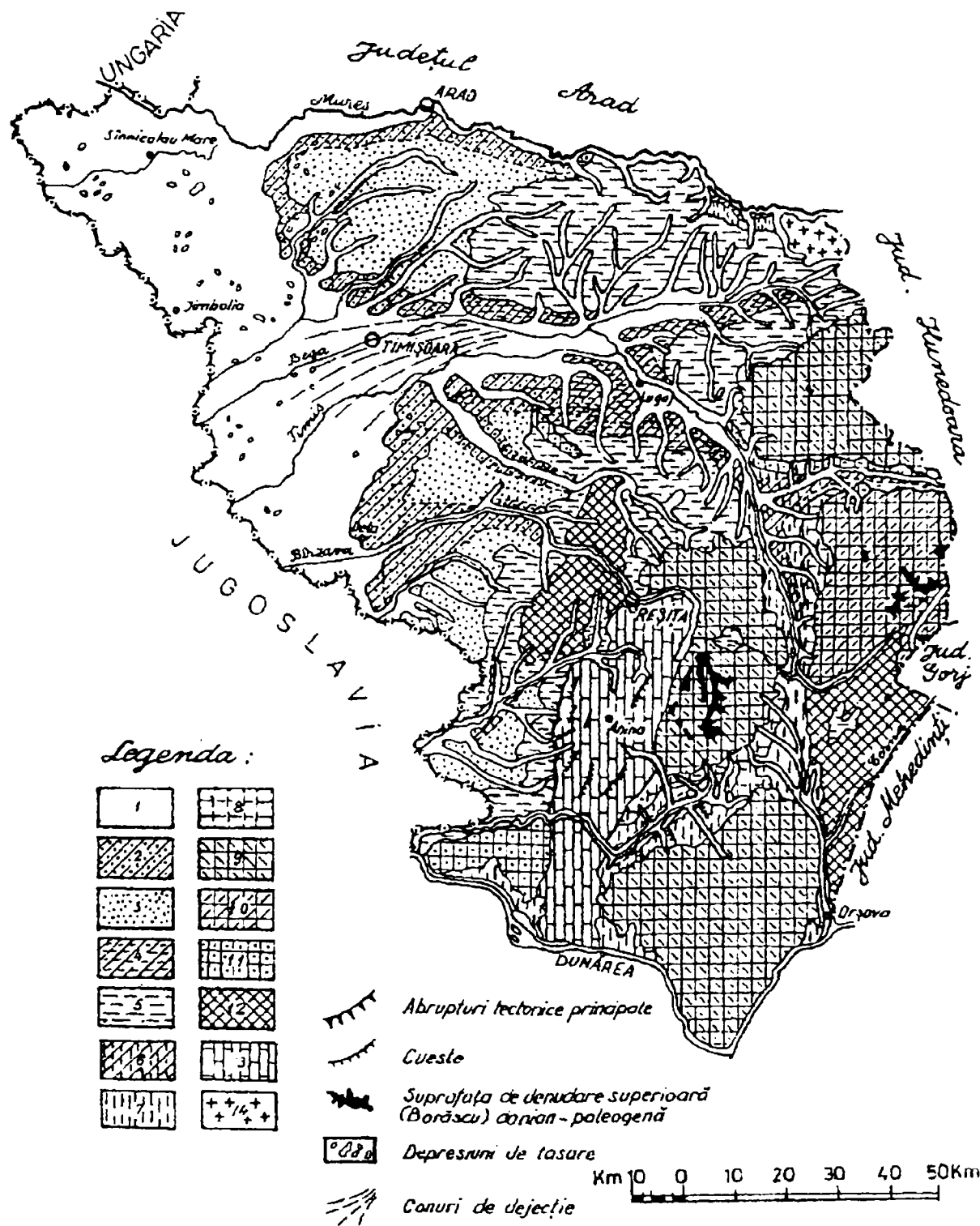
Depozitele de suprafață sunt foarte variate: roci cristaline, gresii, marne, etc.

Morfologic, această zonă aparține munților joși, cristalini, cu petice de sedimentar mezozoic, penepolenizați, în trepte și cu relief carstic dezvoltat. Altitudinea maximă este de aproximativ 800 m, altitudinea medie este de aproximativ 600 m în nord și, de aproximativ 500 m și chiar mai puțin în sud și vest. Fragmentarea reliefului are valori de 300 – 700 m în nord și sud, ajungând până la 900 m la vest de Munții Semenic. Energia maximă a reliefului este relativ mică, fiind cuprinsă între 200 – 400 m. Pantele medii ale suprafețelor bazinale sunt de aproximativ 100 – 150 m/km la vest de Munții Semenic și de 250 m/km în zona de nord și de sud-est, la sud de Munții Cernei.

Piemonturile Bănățene ocupă o largă fâșie transversală între Dunăre și Mureș. Pe aici trec cursurile mijlocii ale principalelor râuri din Banat.

Litologic, zona este constituită, predominant, din depozite de argilă, pietrișuri, nisipuri și luturi intercalate cu suprafețe mici de granite sau șisturi cristaline.

Morfologic, piemonturile sunt culmi prelungi, teșite, constituite din depozite monoclinale slab cutate intercalate cu martori de eroziune formați din roci cristaline sau



Legenda: Relief de acumulare cuaternară (relieful câmpiilor): 1. câmpii aluviale holocene de divagare, cu aspect de albie minoră 2. câmpii piemontane joase, nefragmentate, formate la trecerea către arile de subsidență; 3. câmpii piemontane înalte (150-200 m) slab fragmentate, cu interfluvii largi; 4. câmpii în terase; Relief dezvoltat pe formațiuni pliocene și cuaternare, fluvio-lacustre, monoclinale sau slab cutate, cu acoperiri piemontane: 5. dealuri piemontane (200-400m), netezite, fragmentate cu văi largi; 6. terase în dealuri; Depresiuni intramontane: 7. depresiuni tectonice umplute cu sedimente neozoice, cu aspect deluros; Relief dezvoltat pe masive cristaline prapline, definitivate tectonic și înălțate de orogeneza hercinică: 8. dealuri înalte (700-900m) sau munți, adânc fragmentați, cu culmi înguste, formând o treaptă la marginea munților; 9. munți (1200-1700 m), cu nivelări în trepte, fragmentați în culmi largi; 10. munți (1800-2200 m), cu forme cupolare, culmi rotunjite și suprafețe de nivelare fragmentate, etajate până la 1880-2000 m; 11. munți (600-900 m), cu resturi de suprafețe de nivelare, fragmentați în văi largi; Relief dezvoltat pe masive cristaline prealpine, cu acoperiri alpine: 12. munți (1200-1700 m), sub formă de creste și matori proeminenți, dominând suprafețe de nivelare; 13. munți (800-1200 m), reprezentând resturi de acoperitură calcaroasă, dezvoltați sub formă de platouri carstice; Relief dezvoltat pe formațiuni vulcanice: 14. munți (600-1000 m), nivelări, dezvoltați pe eruptiv mezozoic și filis, dominați de resturi calcaroase și aparate vulcanice neogene, cu aspect de măguri.

Figura 2.4. Harta litologiei și morfologiei reliefului din Banat.
(după Atlasul României, 1976)

eruptive și traversate de văi largi cu terase. Altitudinea maximă nu atinge 500 m, altitudinea medie are valori cuprinse între 200 – 250 m. Fragmentarea reliefului are valori de 500 – 900 m. Energia maximă a reliefului este de 100 – 150 m. Panta medie a suprafeței bazinale este de aproximativ 100 m/km.

Piemontul Lipovei este cea mai mare unitate geomorfologică din regiunea dealurilor. Se caracterizează prin două trepte diferite ca altitudine: una mai înaltă la nord, cu altitudini între 250-300 m și a doua mai joasă la sud, cu înălțimi de aproximativ 200 m.

Piemontul Poiana Ruscăi mărginește spre nord și nord vest Munții Poiana Ruscăi și are altitudini între 250-300 m.

Piemontul Timiș-Bistra corespunde, în parte, Golfului Timișului, care înaintează până la Teregova, iar pe Bistra până în amonte de confluența cu Bistra Mărului. Altitudinile sunt cuprinse între 250-400 m.

Piemontul Pogănișului este separat în două trepte: una mai înaltă spre sud (351 m) și alta mai joasă la nord (250 m).

Depresiunile intramontane: Almăjului și Cerna - Mehadia - Timiș - Bistra sunt situate în vestul Munților Țarcu – Godeanu și Cernei. Ele despart și individualizează masivele Semenic și Almăj. Aceste depresiuni sunt străbătute longitudinal de râurile Timiș, Bistra, Bela Reca și Nera. Depozitele litologice superficiale sunt marnoase, argiloase și nisipoase, cristalinul și calcarele constituind numai petice periferice. Altitudinea medie a acestor culoare depresionare este de aproximativ 300 m. Fragmentarea reliefului are valori cuprinse între 500 – 700 m. Energia maximă a reliefului este redusă și are valori sub 200 – 300 m. Pantele suprafețelor bazinale sunt de 50 m/km.

Ținutul de pădure și silvostepă este situat la vest de Piemonturile Bănățene. Această zonă reprezintă partea marginală estică a Câmpiei Tisei, formată din treptele înalte ale câmpiei de sub dealuri, intercalate cu zone depresionare ale văilor Bega, Timiș, Pogăniș, Bârzava, Caraș și se continuă spre vest formând o câmpie cu terase formate din largi conuri de dejecție. Altitudinea scade de la est spre vest de la 150 m până la 100 m.

Fragmentarea reliefului are valori cuprinse între 500 – 900 m. Energia maximă a reliefului are valori între 15-20 m, depășind numai local 50 m în câmpia înaltă și de 2-5 m în câmpia în trepte. Pantele suprafețelor bazinale variază între 2-12 m/km în câmpia înaltă și între 1-5 m/km în câmpia mijlocie.

Depozitele litologice de suprafață, care sunt alcătuite din pietrișuri, nisipuri și argile, sunt acoperite, pe interfluvii, de loessuri. La baza loessurilor, pe interfluvii, se găsesc straturi freatice relativ continui, situate la adâncimi ce variază în jurul valorii de 10 m.

Ținutul de stepă al Câmpiei Tisei de est constituie sectorul nord-vestic al Banatului.

Litologia de suprafață a zonei de câmpie este constituită din aluviuni argiloase și nisipoase, loessuri și luturi. Prezența straturilor impermeabile la mică adâncime, cât și faptul că datorită îndiguirilor, râurile curg la un nivel superior câmpiei, favorizează formarea straturilor acvifere freatice de mică adâncime.

Morfologic, regiunea are caracterul unei câmpii de divagare, cu văi înmlăștinate, croturi și sectoare nisipoase de dune fixate de vegetație. Altitudinea variază între 80 – 100 m. Fragmentarea reliefului este redusă; energia reliefului are valori cuprinse între 0,5 - 2 m iar panta este foarte redusă, sub 1m/km.

2.3.2. Clima Banatului

Clima este rezultatul interacțiunii suprafeței active subadiacente, radiației solare și circulației generale a maselor de aer. Suprafața activă subadiacentă și radiația solară comportă modificări mici de la un an la altul și chiar în decursul secolelor astfel încât, factorul general care determină variația neperiodică a regimului meteorologic în decursul anului este circulația generală a atmosferei.

Particularitățile climatice ale Banatului sunt determinate de poziția sa geografică pe continentul european, căreia îi este specifică o anumită circulație a maselor de aer de diverse tipuri, circulație imprimată fie de centrul de acțiune de origine dinamică - anticicloul azoric și cel subtropical - fie de centrul de acțiune termică, sezonieri – anticicloul siberian, depresiunea asiatică sau cea mediteraneeană.

Banatul se află la interferența maselor de aer cu caracter continental, de origine vestică și a celor cu caracter continental, de origine estică, suferind în plus și invazia unor mase de aer cald, sudice, ce traversează Marea Mediterană. Acest fapt imprimă Banatului o climă temperată, cu un grad de continentalism moderat, cu influență subtropicală, mai mult sau mai puțin accentuată pe anumite areale geografice.

În funcție de treptele de relief prezentate în paragraful 2.3.1., climatul se caracterizează astfel:

Zona Munților Țarcu-Godeanu și Cernei. Clima este caracterizată printr-o mare variabilitate a elementelor sale în funcție de altitudine. Temperaturile medii anuale au valori cuprinse între -2° – 0° C în Țarcu-Godeanu și între 4° – 6° C în Munții Cernei. Temperaturile medii ale lunii ianuarie variază între -4° C și -9° C în Țarcu-Godeanu și între -3° C și -5° C în Munții Cernei. Temperaturile medii ale lunii iulie scad de la 19° în Munții Cernei până la mai puțin de 8° C în Țarcu.

Precipitațiile medii anuale au valori care cresc de la 900 mm în sudul Munților Cernei până la peste 1400 mm în zona înaltă a Munților Țarcu-Godeanu.

Evapotranspirația potențială are valori medii anuale între 300-500 mm în Țarcu-Godeanu și de aproximativ 560 mm în Munții Cernei.

Zona Munților Semenic-Almăj este caracterizată de un climat cu temperaturi medii anuale de $0,9^{\circ}$ – 4° C. Temperaturile medii ale lunii ianuarie oscilează în jurul valorii de -2° C în Munții Almăj și de -6° C în Munții Semenic. Temperaturile medii ale lunii iulie variază între 15° – 18° C în Munții Almăj și între 13° – 18° C în Munții Semenic.

Precipitațiile medii anuale depășesc 800 mm și uneori, în zona înaltă a Munților Semenic, depășesc 1200 mm.

Evapotranspirația potențială are valori medii anuale de 580 mm în Munții Semenic și mai mari de 600 mm în Munții Almăj.

Zona Munților Poiana Ruscăi. Climatul se caracterizează prin temperaturi medii anuale de 6° – 8° C. Temperaturile medii ale lunii ianuarie au valori sub -3° C, iar cele ale lunii iulie au valori cuprinse între 16° – 18° C. Precipitațiile medii anuale variază în jurul valorii de 1000 mm, depășind 1200 mm în zona înaltă. Evapotranspirația potențială medie anuală este de aproximativ 600 mm.

Zona munceilor Banat-Poiana Ruscăi. Climatul acestei zone se caracterizează prin temperaturi medii anuale de 7° – 10° C. Temperaturile medii ale lunii ianuarie au valori de -2° C, iar cele ale lunii iulie au valori cuprinse între 20° – 22° C. Precipitațiile medii anuale au valori de 650 - 800 mm.

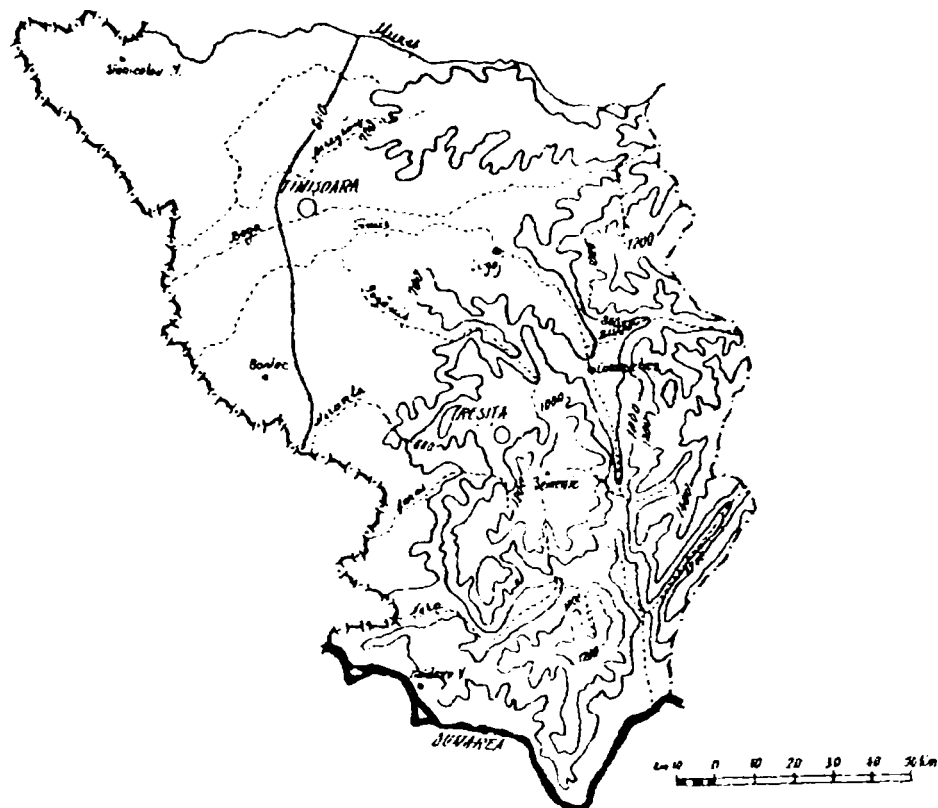


Figura 2.5. Regimul mediu anual al precipitațiilor din Banat (după Atlasul Românie, 1976) și actualizat 2000.

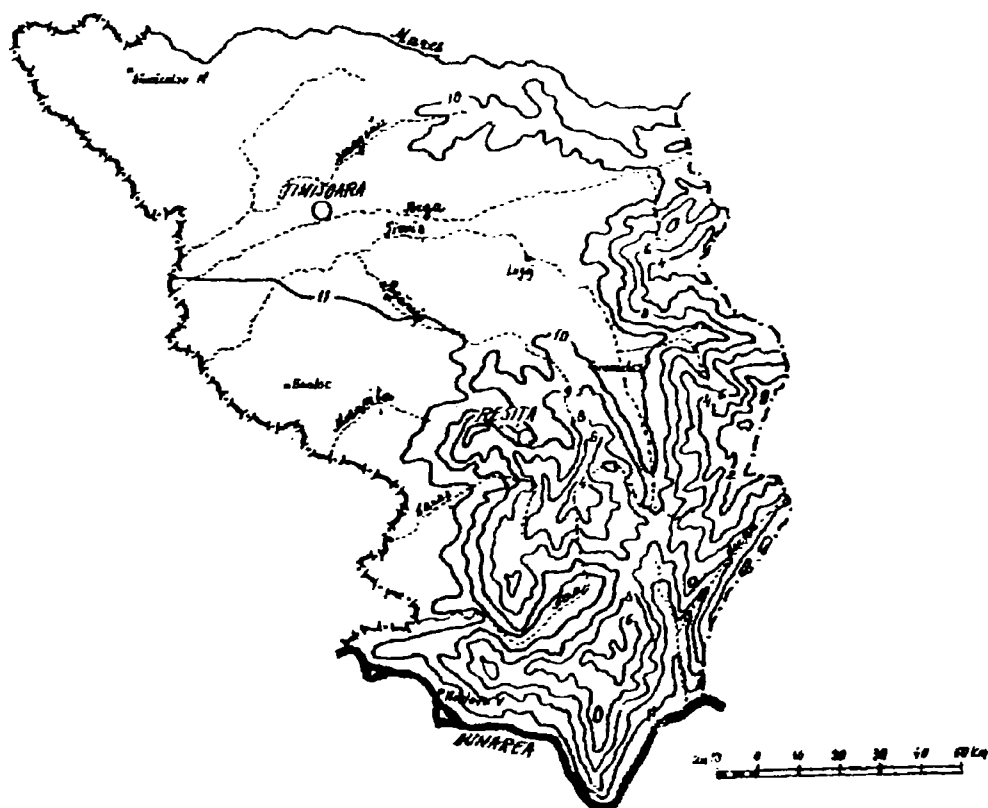


Figura 2.6. Regimul mediu anual al temperaturilor din Banat (după Atlasul României, 1976) și actualizat 2000

Evapotranspirația potențială medie anuală are valori peste 600 mm, depășind 630 mm în partea de sud-est.

Zona Piemonturilor Bănățene. Climatul este caracterizat prin temperaturi medii anuale de aproximativ 10°C. Temperaturile medii ale lunii ianuarie au valori de -2°C, iar cele ale lunii iulie au valori cuprinse în intervalul 20° – 21°C. Precipitațiile medii anuale au valori de 700 mm. Evapotranspirația potențială medie anuală are valori de 670 mm.

Zona depresiunilor intramontane. Temperatura medie anuală este de 10°C. Temperaturile medii ale lunii ianuarie au valori cuprinse între -2°și -1°C, iar cele ale lunii iulie sunt de aproximativ 19°C. Precipitațiile medii anuale au valori de 800 mm. Evapotranspirația potențială medie anuală are valori ce depășesc 650 mm.

Zona ținuturilor de pădure și silvostepă se caracterizează printr-un climat cu caracter intermediar între cel din piemonturi și cel din stepa de vest. Temperatura medie anuală este de 10°C. Temperaturile medii ale lunii ianuarie au valori de -1°C, iar cele ale lunii iulie au valori cuprinse între 21°-22°C. Precipitațiile medii anuale au valori de 600 mm. Evapotranspirația potențială medie anuală are valori mai mari de 690 mm.

Zona ținutului de stepă are un climat mai puțin moderat decât cel al ținuturilor de pădure și silvostepă. Temperatura medie anuală este de 10°-11°C. Temperaturile medii ale lunii ianuarie au valori cuprinse între -2° și -1°C, iar cele ale lunii iulie variază în jurul valorii de 22°C. Precipitațiile medii anuale sunt mai mici de 550 - 650 mm. Evapotranspirația potențială medie anuală este de aproximativ 700 mm.

În figura 2.5 este prezentat regimul mediu anual al precipitațiilor din Banat și, în figura 2.6 este prezentat regimul mediu al temperaturilor din Banat.

2.3.3. Solurile și vegetația

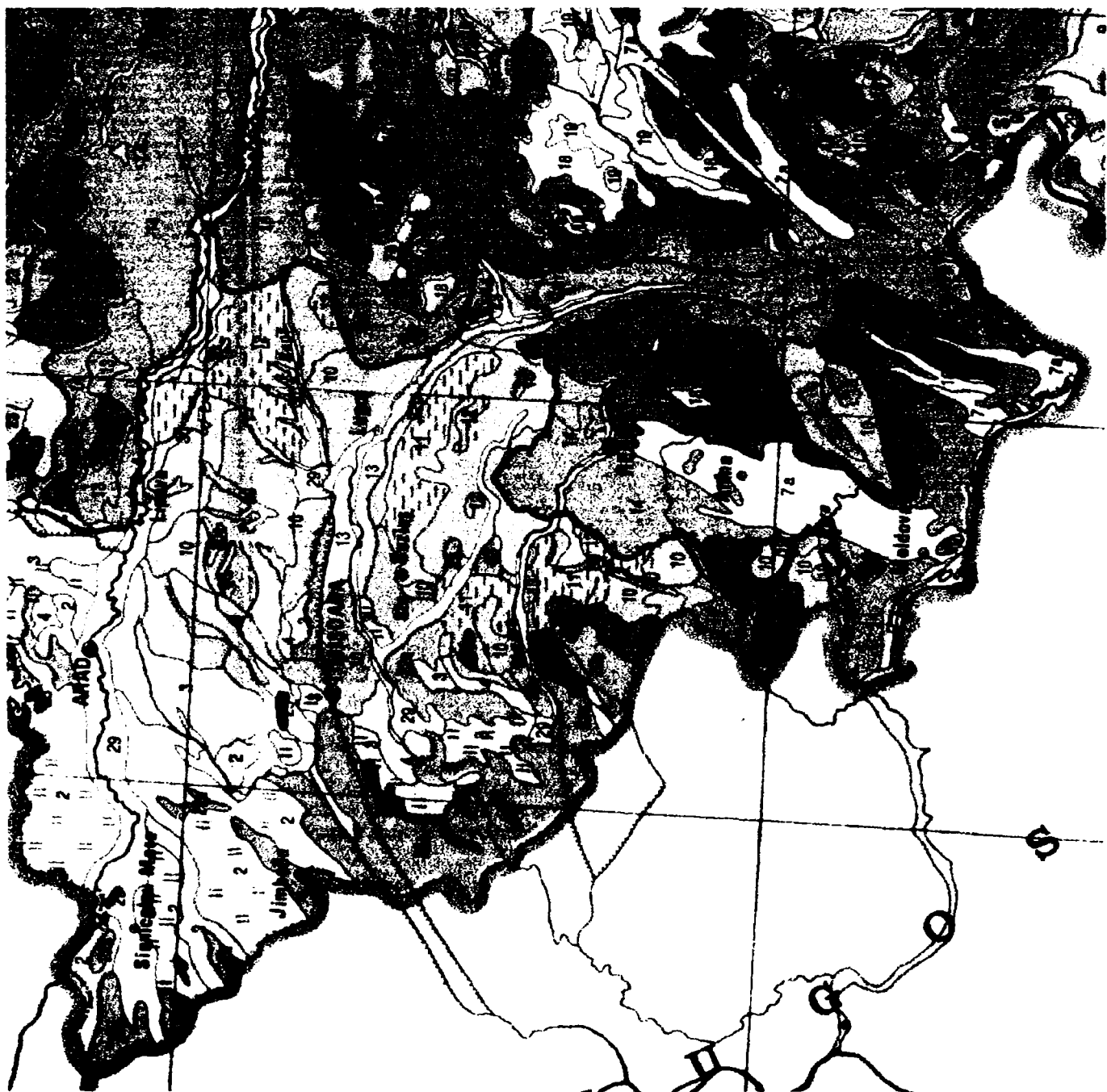
Activitatea umană a exercitat o influență profundă asupra condițiilor ecologice, astfel că starea actuală a solurilor (figura 2.7) și a vegetației (figura 2.8) este rezultatul interacțiunii dintre factorii naturali și antropici.

Elementele floristice naturale au obârșii diferite: europene, euroasiatice, circumpolare, boreale, arctice, alpine, balcanice, mediteraneene, la care se adaugă numeroase endemisme. Toate acestea se zonează climatic și sunt diversificate pe baza caracteristicilor intrinseci ale solurilor.

Prezentarea vegetației va fi făcută pe regiuni, subregiuni, provincii și subprovincii fitogeografice după cum a fost clasificată de către A. P. Cucu în 1983 (Ianoș, 1997):

Regiunea central europeană; provincia est carpatică; subprovincia Carpaților Meridionali; districtul Munților Țarcu – Godeanu. Solurile cele mai răspândite în zona montană sunt cele roșii de pădure și renzinele montane. În zonele înalte predomină solurile de pajiști alpine, iar în zonele de altitudini mijlocii, pe roci cristaline se găsesc solurile brune acide montane de pădure în diferite grade de podzolire. Gradul de eroziune este neapreciabil pe majoritatea suprafețelor atât în zonele de pajiști cât și în cele împădurite.

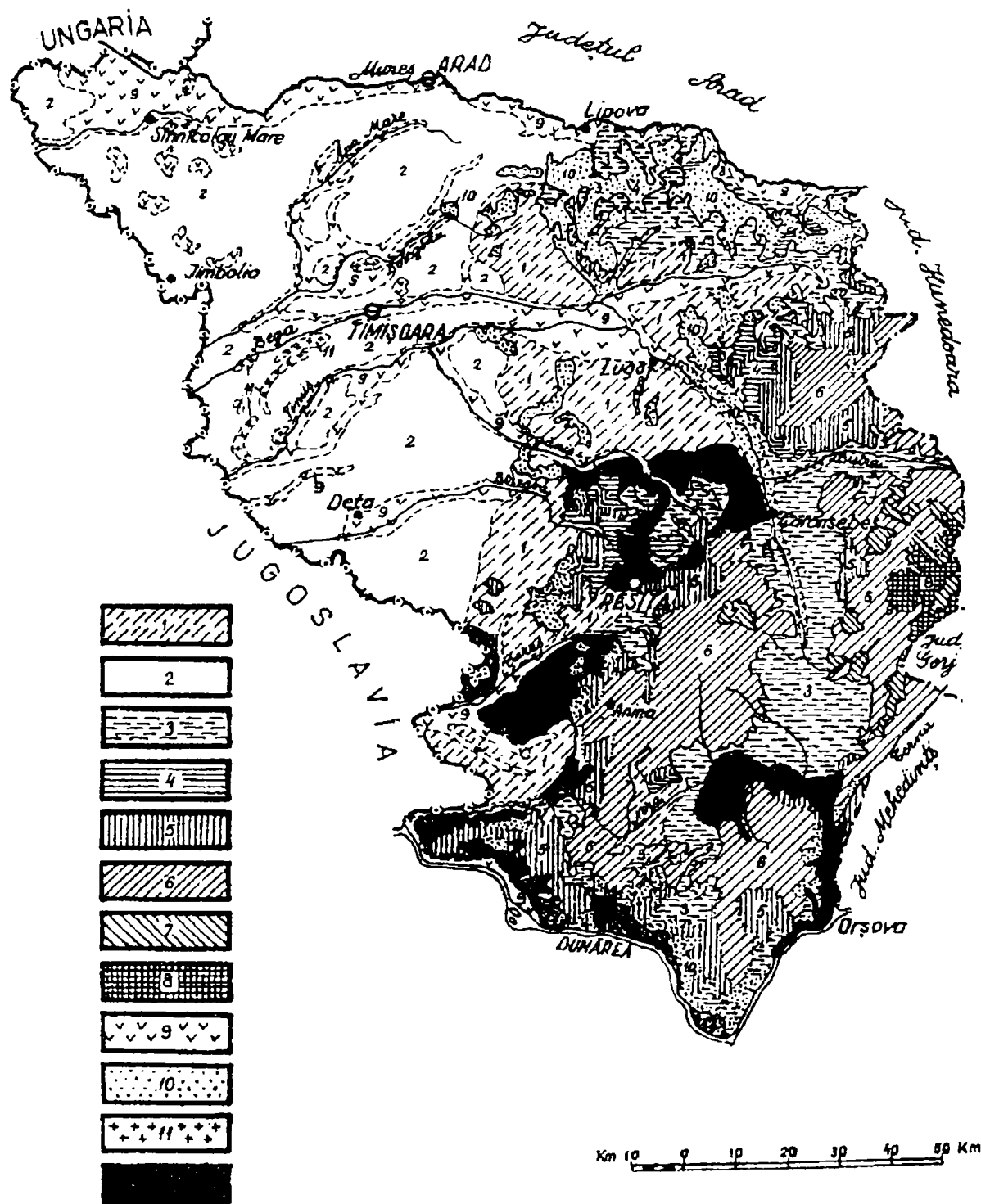
Zona montană înaltă păstrează o serie de vechi specii montane terțiare: vulturică, firuță, precum și o serie de specii endemice ca: scai, garofiță, urechea ursului. Sub altitudinea de 1800 m predomină pădurile de molid dar cea mai mare suprafață a acestei zone este acoperită cu păduri de fag. Coeficienții de împădurire au valori de 60% și chiar mai mult.



LEGENDA

MOLISOLURI		SPODOSOLURI	
1	Soluri bălâne	18	Soluri brune feriliuviiale soluri brune acide și podzoluri
2	Cernoziomuri (2a cernoziomuri și cernoziomuri cambice)	19	Podzoluri și soluri brune acide (sub pajști)
3	Cernoziomuri cambice (3a cernoziomuri cambice și cernoziomuri)		UMBRIȘOLURI
4	Cernoziomuri argiloliuviiale		Andosoluri și soluri brune feriliuviiale
5	Soluri cernoziomoido		Soluri humicosalificatice
	Soluri cenușii		SOLURI HIDROMORFE
	Rendzine (7a rendzine, soluri brune eu-mezobazice și soluri brune luvice)		Lacoviști (22a) și soluri gleice (22b), frecvent drenate
	Pseudorendzine, soluri cernoziomoido, soluri brune eu-mezobazice și local soluri negre clinohidromorfe		Soluri pseudogleice luvice și albe
6	ARGILUVISOLURI		SOLURI HALOMORFE
	Soluri brun-roșcate și soluri brun-roșcate luvice		Solonceacuri și solonețuri
7	Soluri brune luvice și soluri brune (argiloliuviiale)		Solonețuri
8	Soluri brune luvice și planosoluri		VERTISOLURI
9	Luvisoluri albe		Vertisoluri
10	CAMBISOLURI		SOLURI NEEVOLUATE SAU TRUNCHIATE
11	Soluri brune eu-mezobazice		Litosoluri
12	Soluri brune eu - mezobazice, soluri brune acide și soluri brune luvice		Peamosoluri (29a peamosoluri și cernoziomuri cambice; 29b peamosoluri și soluri brune, lame-lare)
	Soluri roșii, soluri brune eu-mezobazice și soluri brune luvice	29	Soluri aluviiale și protosoluri aluviiale
	Soluri brune acide		Erodisoluri și regosoluri
	Soluri brune acide și ardozoluri		SOLURI ORGANICE (HISTOSOLURI)
			Soluri turbatoase

Figura 2.7. Harta solurilor din Banat (după E.D.P., 1986)



Legenda. 1. Terenuri agricole și pășiți secundare de fâșcă, în complex cu *Andropogonetum ischaemi*. 2. Terenuri agricole și pășiți puternic modificate cu păiușină, fâșcă, bărboasă. 3. Pășți colinare secundare cu iarba vântului, păiuș roșu și terenuri agricole. 4. Păduri de gorun cu cer. 5. Păduri colinare de fag și carpen. 6. Păduri montane de fag. 7. Pășți montane secundare de păiuș roșu, iarba vântului și țapoșică. 8. Complex de tufâșuri, rariști și pășiți subalpine. 9. Terenuri agricole și pășiți de iarbă moale, coada vulpii, pir: local, asociații hidrofile în lunci. 10. Păduri de cer și gărniță. 11. Complex de pășiți de păiușul oilor sau iarba de sărătură. 12. Terenuri agricole și pășiți secundare de sadină.

Figura 2.8. Unitățile zonale și intrazonale ale vegetației din Banat (adaptat după Atlasul României, Ianoș și al., 1997)

Regiunea macaronezo – mediteraneeană; subregiunea mediteraneeană; a) provincia dacică; subprovincia banato – getică; districtul Munților Banatului (Semenic, Almăj, Aninei, Locvei, Dognecei, Ariniș). Principalele tipuri de sol sunt: litosoluri, regosoluri, brune feriiluviale și brune acide în etajul superior și brune luvice și luvisoluri albice în etajul inferior.

În etajul superior, pe soluri brune feriiluviale, podzoluri, brune acide, litosoluri sau regosoluri, soluri cu o profunzime redusă și o aciditate mare, se dezvoltă o vegetație ierboasă formată din : rugină, iarba câmpului, părul porcului, păiuș, hirușor, vițelar. Apar și păduri de molid.

Pe solurile luvice situate în treimea inferioară a zonei muntoase, în special pe versanții nordici se găsesc păduri de fag cu carpen, paltin, scăiuș.

Pe luvisolurile albice și regosolurile puțin profunde și acide sunt prezente pădurile de fag sau gorun care alternează cu brad și molid, având un strat ierbos sărac, cu păiuș, mălaiul cucului, jabghie. Coeficienții de împădurire au valori între 30-70%. Solurile fiind fixate de vegetație se află într-un stadiu de eroziune neapreciabil.

Provincia daco – ilirică; districtul Dealurilor Banatului. Zona Piemonturilor Bănățene este alcătuită din soluri brune argiloluviale, brune luvice și luvisoluri albice, aflate în diferite grade de eroziune sau pseudogleizare. Aici se dezvoltă păduri de gorun, carpen, cer, gârniță în amestec cu o floră ierboasă indicatoare de soluri acide: păiuș. Pe pantele domoale ale teraselor superioare se instalează pajiști mezofile de păiuș de livadă, păiuș roșu și păiușină cu trifoi, sau pajiști mezoxerofile de părul porcului.

Pe terenurile mai drenate este prezentă pajiștea cu păiuș, trifoi alb, cimbrisor, sânziene. Regosolurile suprapășunate și erodisolurile sunt acoperite cu pajiști de bărboasă.

Pe terenurile agricole cu soluri brune luvice și luvisolurile albice se găsesc buruieni, între care unele sunt indicatoare de pH acid, structură compactă și drenaj defectuos. Coeficienții de împădurire au valori de până la 30 %.

Provincia panono –ilirică; districtul Câmpiei Banatului. Solurile de tip cernoziom sunt acoperite aproape în totalitate cu culturi agricole. Pe suprafețe foarte restrânse se păstrează resturi de vegetație naturală reprezentată prin pâlcuri de porumb, păducel, măcieș, rugi.

Solurile aluviale și brune eu-mezobazice fără exces de umiditate, răspândite în luncile și câmpiile joase îndiguite, drenate, prezintă elemente floristice asemănătoare cu cele de pe cernoziomuri, cu care se întrepătrund. Astfel, se întâlnesc vetre de trestie, sălcuță, și coada calului, ce indică o pânză freatică la mică adâncime din care aceste specii se alimentează direct.

Solurile argiloase din clasa vertisolurilor sau a celor hidromorfe fin texturate, cu structură distrusă, drenaj intern și extern defectuos, temporar cu exces de umiditate, localizate în nord vestul și vestul Câmpiei joase a Banatului sunt acoperite de pâlcuri rare de sălcii, răchită, plop, sânger.

În areale izolate, se găsesc pâlcuri de pădure de gorun, frasin, jugastru, carpen, corn, etc.

Covorul ierbos este alcătuit din specii higrofile ca: trestie, papură, pipirig, țipirig, rogozuri; specii mezohigrofile și mezofile cum sunt: firuță, șovar, păiuș etc.

Coeficienții de împădurire nu depășesc 6 – 10 %.

CAPITOLUL 3

METODE STOCASTICE FOLOSITE ÎN HIDROLOGIE ȘI APLICAREA LOR PENTRU PROGNOZA DEBITELOR MINIME ÎN SPAȚIUL HIDROGRAFIC BANAT

Fiecare fenomen natural se manifestă în mijlocul altor fenomene naturale. De aceea, modelarea matematică a acestora este relativ complicată și se cer date foarte numeroase.

Pentru a cunoaște modul de evoluție probabilă în viitor - prognoza unui anumit fenomen - trebuie să ne bazăm pe cunoașterea evoluției trecute și prezente.

Utilizând metodele statistice, hidrologul determină caracteristicile hidrologice. Metodele statistice servesc atât pentru cercetare cât și pentru aplicarea practică în planificarea, proiectarea și operarea sistemelor resurselor de apă. Cunoașterea metodelor statistice, bazate pe teoria probabilității, are o importanță deosebită pentru hidrolog.

Investigarea proceselor hidrologice se bazează pe observații. Fiecare proces este descris prin serii discretizate. În funcție de scopul investigației, datele sunt selectate și analizate statistic. În selectarea datelor trebuie respectate două condiții importante, și anume:

1. eșantionul de date trebuie să fie reprezentativ pentru procesul studiat;
2. condițiile bazinului hidrografic, care afectează procesul studiat, să nu fi suferit transformări semnificative în perioada considerată astfel încât datele să fie omogene.

Tipul analizei statistice depinde de scopul studiului cum ar fi structura seriilor de observații într-un punct, relațiile dintre diferite variabile hidrologice sau dintre seriile de timp ale aceleiași variabile, dar măsurată în puncte diferite.

3.1. Definirea scurgerii minime. Reconstituirea regimul natural al scurgerii minime

Cunoașterea scurgerii minime este necesară pentru planificarea, proiectarea și operarea structurilor și sistemelor. Necesarul de apă este mai mare decât scurgerea minimă din timpul anului. De aceea, în practica hidrologică, determinarea probabilității de producere a debitelor minime și durata deficitului de apă reprezintă o informație importantă. Aceste probabilități sunt necesare pentru determinarea riscului de a nu putea satisface cerințele consumatorilor de apă.

Calculul scurgerii minime a râurilor constă în determinarea valorilor cantităților de apă care se scurg prin râuri în perioadele caracteristice de alimentare a acestora în exclusivitate din

rezervele subterane, pe intervale de o zi, o decadă, o lună, în medie pe mai mulți ani sau cu o anumită frecvență de apariție de-a lungul anilor (Diaconu, Șerban și Pașoi, 1981).

Scurgerea minimă se exprimă în calculele hidrologice prin debite notate în general Q_{\min} (m^3/s) sau (l/s) și de asemeni, prin debitele specifice notate prin q_{\min} ($l/s/km^2$). Deci, debitele minime se deosebesc după faza de regim (debitele minime de primăvară, debitele minime de vară-toamnă și debitele minime de iarnă), după durata perioadei de ape mici (debitele instantanee, debitele medii zilnice, debitele medii decadale și debitele medii lunare) și, după frecvența de apariție de-a lungul anilor.

Făcând referire la o anumită perioadă care interesează și la o anumită fază sau perioadă din fiecare an, este evident că pentru un număr oarecare de ani, debitul minim respectiv prezintă o variație în jurul unei valori \bar{Q}_{\min} , caracterizată de un coeficient de variație $C_{v \min}$ și un coeficient de asimetrie $C_{s \min}$. Apar astfel noțiuni *ca media debitelor medii zilnice minime din perioada VI-VIII a fiecărui an sau debitul mediu lunar minim anual de vară-toamnă de asigurarea 80%*.

În practica hidrologică este foarte mult utilizat debitul de diluție. În țara noastră *debitul de diluție* este definit ca fiind *debitul mediu lunar minim anual de asigurare 95%*.

3.1.1. Reconstituirea regimului natural al scurgerii minime

Calculul scurgerii minime a apei râurilor are la bază materialele hidrometrice de la stațiile rețelei hidrologice de bază.

În calculul scurgerii minime o importanță deosebită o are reconstituirea debitelor naturale. Reconstituirea scurgerii minime, prin metode hidrometrice se limitează la aplicarea bilanțului hidric (Diaconu, Șerban și Pașoi, 1981).

Pe râuri afectate numai de folosințe cu consum de apă, unde debitele captate/restituite de folosințe nu variază pe intervale scurte de timp, ecuația de bilanț - pentru valori medii zilnice - se exprimă:

$$Q_{nat} = Q_{mas} + \sum Q_C - \sum Q_R \quad (3.1)$$

- unde: Q_{nat} - debitul mediu zilnic natural;
 $Q_{m\acute{a}s}$ - debitul mediu zilnic măsurat;
 Q_C - debitul mediu zilnic captat de folosințele situate în amonte de stația hidrometrică;
 Q_R - debitul mediu zilnic restituit de folosințele situate în amonte de stația hidrometrică.

Reconstituirea se efectuează fie pentru toate valorile debitelor medii zilnice, fie numai pentru valorile caracteristice (minime anuale, minime pe sezon).

Pentru râurile afectate de acumulări ecuația de bilanț se exprimă sub forma:

$$Q_{nat}(t) = Q_{mas}(t) + \sum Q_C(t) - \sum Q_R(t) \pm \sum \frac{\Delta W(t - T_p)}{\Delta T} + \sum Q_E^{SL}(t - T_p) \pm \sum Q_{GH}^{\pm}(t - T_p) \pm \sum Q_{DR}(t - T_p) \quad (3.2)$$

- unde: Q_{nat} - debitul mediu zilnic natural;
 $Q_{m\acute{a}s}$ - debitul mediu zilnic măsurat;

- Q_C - debitul mediu zilnic consumat;
- Q_R - debitul mediu zilnic restituit;
- $\Delta W/\Delta T$ - volumul acumulat/dezacumulat în/din lacurile de acumulare situate în amonte de stația hidrometrică
- t - pasul de timp de reconstituire;
- T_p - timpul de propagare între fiecare acumulare și stația hidrometrică la care se reconstituie scurgerea;
- ΣQ^{SL}_E - suma debitelor evaporate de pe suprafața lacului;
- ΣQ^{GH} - suma debitelor provenite din gheața acumulată și topită pe suprafața aceluiași acumulări
- ΣQ_{DR} - suma debitelor zilnice care tranzitează bazinul stației hidrometrice din/în bazine învecinate.

În cazul în care, lipsind datele hidrometrice pentru calculul debitelor de la folosințe, informațiile disponibile arată consumuri de apă însemnate în raport cu debitul râului în perioadele de ape mici, atunci nu este posibilă, pentru secțiunea cercetată, determinarea în limite de precizie acceptabile a scurgerii minime pentru regimul natural, pe baza datelor hidrometrice din profil. În această situație, calculul scurgerii minime în regim natural se va trata ca și pentru cazurile lipsei de date hidrometrice.

3.2. Analiza statistică a șirurilor de debite medii lunare minime anuale și debite medii zilnice minime anuale

Câteva aspecte ale scurgerii minime determină convergerea acestora pentru analiza statistică (Kovács în Starosolszki, 1987):

- scurgerea minimă este, de cele mai multe ori, limitată la sezonul de ape mici, care este bine evidențiat;
- cerințele de siguranță sunt mult mai puțin severe decât cele referitoare la protecția împotriva viiturilor de aceea, cele mai frecvente studii necesită valorile scurgerii minime cu frecvența de producere de 5 - 20 de ani;
- efectele activității umane (utilizarea terenului, exploatarea freaticului, etc.) sunt mult mai mari în cazul scurgerii minime decât în cazul scurgerii medii și maxime;
- din primele două aspecte, rezultă că frecvența de producere, care are relevanță practică, este aproape egală cu lungimea șirului de date;
- datorită puternicului impact al activității umane, în prevederea condițiilor viitoare de producere a scurgerii minime pe baza analizei statistice a datelor istorice, există un mare grad de incertitudine.

Analiza statistică necesită interpretarea fizică a oricărei neomogenități în seria de date. Cele mai mari neomogenități rezultă din variatele modificări ale regimului hidrologic în cadrul unui bazin.

În cursul analizei statistice a seriilor de timp trebuie urmărite următoarele aspecte (Reinmann, 1989):

- a) testarea omogenității și independenței observațiilor;
- b) determinarea parametrilor funcțiilor de distribuție;
- c) testarea ajustării funcției construite.

a) Testarea omogenității și independenței observațiilor

Testul de independență

Din punctul de vedere al caracterizării distribuției elementelor în bilanțul apei și în mod special, al exactității prognozelor, este foarte importantă independența evenimentelor care urmează. Acest fapt înseamnă că, probabilitatea de apariție a unui eveniment așteptat în anul (perioada) i este independent de evenimentul care a apărut în anul $(i-1)$.

Acest test se realizează pe baza teoremei WALD-WOLFOWITZ (Rétháti, 1983). Principiul de bază al acestei teoreme este că, dacă elementele eșantionului sunt independente și aparțin aceleiași distribuții atunci, pentru o bună aproximație, suma:

$$R = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \cdot \xi_{i+1} + \xi_i \xi_n \quad (3.3)$$

va fi o variabilă distribuită normal și, valoarea sa așteptată și varianța vor fi:

$$M(R) = \frac{S_1^2 - S_2}{n-1} \quad (3.4)$$

și

$$D^2(R) = \frac{S_2^2 - S_4}{n-1} + \frac{S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4}{(n-1)(n-2)} - M^2(R) \quad (3.5)$$

unde: n = numărul de elemente ale eșantionului;

ξ_i = termenul i al eșantionului care este aranjat în ordine descrescătoare și

$$S_j = \sum_{i=1}^n \xi_i^j$$

Probabilitatea p , care stă la baza deciziei, poate fi calculată cu formula:

$$p \text{ (procent)} = 200[1-\Phi(x_t)], \quad x_t = \frac{|R_s - M(R)|}{D(R)} \quad (3.6)$$

unde R_s reprezintă valoarea lui R calculată din eșantionul care va fi testat.

Utilizând această metodă, s-a constatat că se obțin rezultate exacte dacă $n > 25 - 30$.

Testul de omogenitate

Dacă o variabilă are o distribuție continuă atunci, cu una din teoremele lui SMIRNOV se verifică dacă elementele eșantionului aparțin aceleiași distribuții (Rétháti, 1983). Astfel, dacă elementele a două eșantioane (cu k , respectiv l elemente) originare din aceeași populație sunt independente, produsul dintre cea mai mare diferență pozitivă (d_{kl}) dintre cele două funcții empirice și valoarea

$$\sqrt{n} = \sqrt{\frac{k \cdot l}{k + l}} \quad (3.7)$$

este o variabilă (z) caracteristică unei bune aproximații prin funcția de distribuție KOLMOGROV dacă, k și l sunt șiruri suficient de lungi.

Prima etapă a testului de omogenitate este ca, eșantionului aranjat în ordinea observațiilor să fie împărțit în două jumătăți sau, în jurul unei date care indică o schimbare în condițiile hidrologice. Apoi, pentru fiecare serie este construită curba de distribuție empirică și este determinată cea mai mare diferență (d_{kl}) în intervalul lor. După calcularea \sqrt{n} , pentru

$$z = d_{kl} \sqrt{n} \quad (3.8)$$

variabila dependentă $L(z)$ este citită din tabele. De aici, probabilitatea care caracterizează măsura omogenității poate fi calculată cu formula:

$$p \text{ (procent)} = 100 [1 - L(z)] \quad (3.9)$$

Dacă $p > 5\%$, se poate considera că eșantionul este omogen.

Pentru stația hidrometrică Luncani, râul Bega, cu ajutorul metodei SMIRMOV s-a efectuat testul de omogenitate al seriei de date și, cu ajutorul testului WALD-WOLFOWITZ s-a efectuat testul de independență al aceleiași serii de date.

A fost analizată funcția de distribuție empirică a debitelor medii lunare minime anuale, separând perioadele 1950 - 1974 și 1975 - 1999 (figura 3.1).

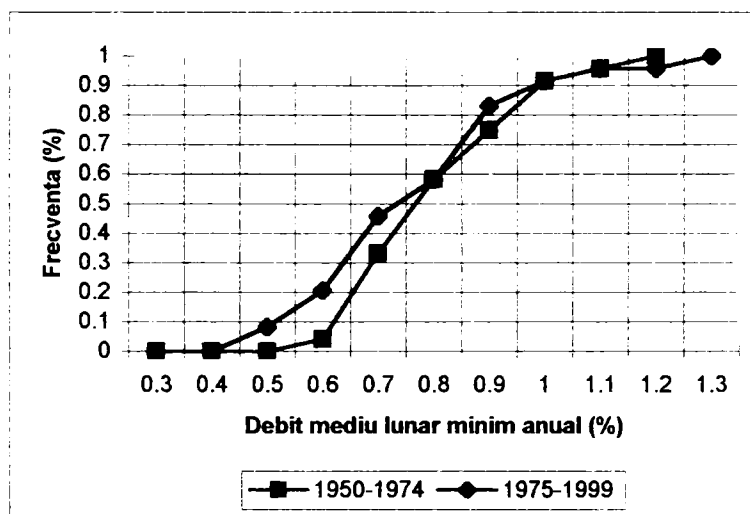


Figura 3.1. Investigarea omogenității seriei de timp de la stația hidrometrică Luncani folosind metoda SMIRNOV

Tabelul 3.1.

Testul de independență pentru stația hidrometrică Luncani, râul Bega

Anul	x_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	x_i+x_{i+1}
1950	0.550	0.3025	0.166375	0.09151	0.33
1951	0.600	0.36	0.216000	0.12960	0.324
1952	0.540	0.2916	0.157464	0.08503	0.324
1953	0.600	0.36	0.216000	0.12960	0.366
1954	0.610	0.3721	0.226981	0.13846	0.5246
1955	0.860	0.7396	0.636056	0.54701	0.5246
1956	0.610	0.3721	0.226981	0.13846	0.4697
1957	0.770	0.5929	0.456533	0.35153	0.5005
1958	0.650	0.4225	0.274625	0.17851	0.429
1959	0.660	0.4356	0.287496	0.18975	0.4752
1960	0.72	0.5184	0.373248	0.26874	0.36
1961	0.500	0.25	0.125000	0.06250	0.26
1962	0.520	0.2704	0.140608	0.07312	0.3172
1963	0.610	0.3721	0.226981	0.13846	0.3233
1964	0.530	0.2809	0.148877	0.07890	0.3127
1965	0.590	0.3481	0.205379	0.12117	0.4838
1966	0.820	0.6724	0.551368	0.45212	0.615
1967	0.750	0.5625	0.421875	0.31641	0.654
1968	0.872	0.760384	0.663055	0.57818	0.81532
1969	0.935	0.874225	0.817400	0.76427	1.26225
1970	1.35	1.8225	2.460375	3.32151	0.9963
1971	0.738	0.544644	0.401947	0.29664	0.478224
1972	0.648	0.419904	0.272098	0.17632	0.572832
1973	0.884	0.781456	0.690807	0.61067	0.95472
1974	1.08	1.1664	1.259712	1.36049	0.95688
1975	0.886	0.784996	0.695506	0.61622	0.885114
1976	0.999	0.998001	0.997003	0.99601	0.737262
1977	0.738	0.544644	0.401947	0.29664	0.651654
1978	0.883	0.779689	0.688465	0.60791	0.738188
1979	0.836	0.698896	0.584277	0.48846	0.9196
1980	1.10	1.21	1.331000	1.46410	0.9779
1981	0.889	0.790321	0.702595	0.62461	0.763651
1982	0.859	0.737881	0.633840	0.54447	0.487053
1983	0.567	0.321489	0.182284	0.10336	0.35721
1984	0.630	0.3969	0.250047	0.15753	0.45927
1985	0.729	0.531441	0.387420	0.28243	0.483327
1986	0.663	0.439569	0.291434	0.19322	0.429624
1987	0.648	0.419904	0.272098	0.17632	0.41148
1988	0.635	0.403225	0.256048	0.16259	0.417195
1989	0.657	0.431649	0.283593	0.18632	0.41391
1990	0.630	0.3969	0.250047	0.15753	0.33894
1991	0.538	0.289444	0.155721	0.08378	0.230802
1992	0.429	0.184041	0.078954	0.03387	0.211497
1993	0.493	0.243049	0.119823	0.05907	0.250937
1994	0.509	0.259081	0.131872	0.06712	0.469298
1995	0.922	0.850084	0.783777	0.72264	0.67306
1996	0.730	0.5329	0.389017	0.28398	0.9271
1997	1.27	1.6129	2.048383	2.60145	1.05029
1998	0.827	0.683929	0.565609	0.46776	0.697988
1999	0.844	0.712336	0.601212	0.50742	
	36.908	29.14648	24.705216	22.48374	27.61248
	(S ₁)	(S ₂)	(S ₃)	(S ₄)	

Valorile necesare pentru calcularea probabilității p sunt:

$$\sqrt{n} = \sqrt{\frac{25 \cdot 25}{25 + 25}} = 3,54$$

$$z = d_{25,25} \cdot \sqrt{n} = 0,166 \cdot 3,54 = 0,589$$

$$L = 0,109 \quad (\text{din tabele funcției de distribuție Kolmogrov})$$

Rezultă: $p = 100(1 - 0,109) = 89,0\%$

Din condiția $p > 5\%$ rezultă că, seria de timp a debitelor medii lunare minime anuale este omogenă.

Cu metoda WALD-WOLFOVITZ se testează *independența* seriei de timp. În tabelul 3.1 sunt prezentate, în coloana1 debitele medii lunare minim anuale (x_t) și, în coloanele următoare, puterile acestora.

În conformitate cu cele prezentate anterior, se calculează:

$$M(R) = \frac{36,91^2 - 29,15}{49} = 27,2$$

$$D^2(R) = \frac{29,15^2 - 22,48}{49} + \frac{36,91^4 - 4 \cdot 36,91^2 \cdot 29,15 + 4 \cdot 36,91 \cdot 24,70 + 29,15^2 - 2 \cdot 22,48}{49 \cdot 48} - 27,2^2 = 0,509$$

$$D(R) = \sqrt{0,509} = 0,714$$

$$R_s = 27,612 + x_1 \cdot x_{50} = 27,612 + 0,555 \cdot 0,844 = 28,08$$

$$x_t = \frac{28,08 - 27,2}{0,714} = 1,23$$

Din tabele rezultă $\Phi(x_t) = 0,8907$, astfel încât

$$p = 200 \times (1 - 0,8907) = 21,9\%$$

ceea ce indică independența elementelor seriei de timp considerate.

La stația hidrologică Luncani de pe râul Bega, regimul de curgere nu este modificat și, testul de omogenitate al seriei de debite medii lunare minime anuale relevă acest lucru.

În general, în bazinele hidrografice din spațiul Banat, regimul de curgere este modificat datorită amenajărilor hidrotehnice existente. Pentru a putea efectua analiza statistică a seriilor de debite medii minime, era necesar să se cunoască dacă seriile de date de la stațiile hidrometrice cu regim de curgere modificat sunt omogene.

În aval de stația hidrometrică Luncani, la stația hidrometrică Balinț, regimul de curgere al apei este modificat cu începere din 1977, an în care a fost dat în exploatare barajul de la Surduc.

Cu începere din 1982 se realizează reconstituirea regimului natural de curgere a apei iar, testul de omogenitate al seriilor de debite medii lunare minime anuale în regim modificat și regim natural s-a făcut împărțind seriile de date în două perioade, și anume 1950-1981 și 1982 - 1999.

Testul de omogenitate al seriilor de debite medii lunare minime anuale în regim natural și regim modificat de la stația hidrometrică Balinț a confirmat omogenitatea acestora.

Calcululele au fost efectuate după metodologia prezentată anterior. Condiția $p > 5\%$ fiind respectată, a rezultat că, atât seria de debite medii lunare minime anuale în regim modificat ($p = 12,9\%$), cât și seria de debite medii lunare minime anuale în regim natural ($p = 49,0\%$) sunt omogene.

Curbele de frecvență cumulată trasate pentru investigarea omogenității seriilor de debite medii lunare minime anuale înregistrate la stația hidrometrică Balinț sunt redade în anexa 2, figurile 1 și 2.

S-a testat și omogenitatea seriilor de debite medii lunare minime anuale din bazinul hidrografic Timiș

Din bazinul superior al râului Timiș, regimul de curgere al apei este modificat începând din anul 1953, an în care a fost dat în exploatare barajul Trei Ape și apa este derivată în bazinul hidrografic Bârzava. Din 1982 se efectuează reconstituirea regimului natural de curgere a apei.

Începând din 1994, prin punerea în funcțiune a centralei hidro-electrice Turnu-Ruieni, regimul de curgere este modificat de uzinările zilnice.

Testul de omogenitate al seriilor de debite medii lunare minime anuale în regim modificat și regim natural înregistrate la stația hidrometrică Lugoj s-a făcut împărțind seriile de date în două perioade, și anume 1950-1981 și 1982 - 1999.

Calcululele au fost efectuate după metodologia prezentată anterior. Condiția $p > 5\%$ fiind respectată, a rezultat că, atât seria de debite medii lunare minime anuale în regim modificat ($p = 17,8\%$), cât și seria de debite medii lunare minime anuale în regim natural ($p = 6,15\%$) sunt omogene.

Curbele de frecvență cumulată trasate pentru investigarea omogenității seriilor de debite medii lunare minime anuale sunt redade în anexa 2, figurile 3 și 4.

Acceptând testele de omogenitate și independență pentru debitele medii minime, se consideră că seriile de timp ale debitelor medii minime în regim natural și modificat de la stațiile hidrometrice din spațiul Banat sunt omogene - aparțin aceleiași distribuții - și independente.

Analizele statistice care se fac pe parcursul acestui capitol pleacă de la această ipoteză.

b) Determinarea parametrilor funcțiilor de distribuție;

Parametrii statistici cel mai des utilizați sunt *media aritmetică* și *varianța* sau, deviația standard ca rădăcină pătrată a varianței.

Media aritmetică se calculează cu relația:

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.10)$$

unde: x_i - este termenul i al seriei de date;
 n - numărul total de termeni.

Varianța este momentul central de ordinul II al datelor, estimat prin:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \quad (3.11)$$

sau, pentru șiruri reduse ($n < 20$), se determină din relația:

$$\hat{s}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \quad (3.12)$$

Pentru caracterizarea variației relative a șirului se recurge la raportarea abaterii medii pătratice la valoarea medie a șirului. Se obține coeficientul de variație care se notează cu Cv:

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (Q_i - \bar{Q})^2}{n \cdot \bar{Q}^2}} = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n}} \quad (3.13)$$

Asimetria șirului se referă la modul în care termenii șirului se repartizează de o parte sau cealaltă a medie și rezultă din asimetria curbelor de repartiție a probabilităților.

$$C_s = \frac{\sum (K_i - 1)^3}{n \cdot C_v} \quad (3.14)$$

Evenimentele hidrologice sunt aleatoare și, din această cauză pot fi considerate variabile aleatoare. De aceea, parametrii evenimentelor extreme, care sunt așteptate să se producă cu o probabilitate dată, pot fi estimați prin analiza statistică a șirurilor de date istorice, presupunând că factorii declanșatori ai evenimentelor nu se modifică în timp.

Probabilitatea empirică se poate calcula prin mai multe formule.
 Cea mai utilizată este formula propusă de Cebâșev:

$$p = \frac{m - 0,3}{N + 0,4} \quad (3.15)$$

Pentru debitele extreme se recomandă formula propusă de Weibull:

$$p = \frac{m}{N + 1} \quad (3.16)$$

Rezultatele obținute prin aplicarea acestor formule sunt similare în zona de mijloc a distribuției dar, diferă semnificativ în zonele extreme.

Cu toate acestea, diferențele dintre valorile probabilității empirice calculate cu formulele Cebâșev și Weibull sunt de ordinul 10^{-3} . Pentru determinarea probabilităților debitelor minime la stațiile hidrometrice din Banat a fost utilizată formula lui Cebâșev.

Din graficul curbei de asigurare trasate se determină, pentru asigurarea cerută, debitul minim de acea asigurare.

c) Testarea ajustării funcției construite

Când interesează o asigurare neacoperită de termenii șirului se folosesc curbele de asigurare teoretice, definite de parametrii: *valoarea medie*, *coeficientul de variație* C_v și *coeficientul de asimetrie* C_s . Cunoașterea parametrilor curbelor de asigurare este necesară pentru elaborarea de sinteze care să permită calculul scurgerii minime de diverse asigurări și în alte puncte decât profilele stațiilor hidrometrice.

Curbele de asigurare teoretice utilizate pentru calculul scurgerii minime sunt curbele de asigurare binomiale și curbele de asigurare binomiale exponențiale (Diaconu, Șerban, Pașoi, 1981).

Pasul următor al investigației constă în ajustarea funcției de distribuție teoretică la curba empirică de distribuție a frecvenței.

Curba teoretică care se potrivește cel mai bine curbei de distribuție empirice a debitelor minime este distribuția binomială exponențială Kritki-Menkel (Diaconu, Șerban, Pașoi, 1981).

Kritki și Menkel au propus utilizarea unei anamorfoze exponențiale a distribuției Pearson III. Forma generală a funcției de distribuție Kritki-Menkel este:

$$P(x) = \left[\frac{\Gamma(\gamma + b)}{\Gamma(\gamma)} \right]^{\gamma/b} \frac{1}{\mu b \Gamma(\gamma)} \int_0^x e^{-\left[\frac{\Gamma(\gamma + b)}{\Gamma(\gamma)} \frac{x}{\mu} \right]^{1/b}} \left(\frac{x}{\mu} \right)^{\gamma-1} dx \quad (3.17)$$

- unde: μ - valoarea medie;
 γ - parametru de formă pozitiv și diferit de zero;
 Γ - funcția gamma completă;
 b parametru al funcției de distribuție.

Prin schimbarea de variabilă:

$$x^{1/b} = z \quad (3.18)$$

se ajunge la o distribuție Pearson de tip III a variabilei z .

Dacă se pune problema determinării valorii x a variabilei care corespunde unei probabilități de depășire, se pot calcula ordonatele curbei de distribuție a probabilităților Kritki-Menkel printr-o relație de forma:

$$h = \frac{x}{\mu} = \Psi(P, C_s \cdot C_v) = \Psi(P, \alpha, C_v) \quad (3.19)$$

$$\alpha = \frac{C_s}{C_v} \quad (3.20)$$

unde: Ψ este abaterea ordonatelor funcției de distribuție a probabilităților.

3.2.1. Șirurile de debite medii minime - serii temporale

Variabilele care intervin în caracterizarea proceselor hidrologice reprezintă serii temporale.

Șirurile de debite medii lunare minime anuale și de debite medii zilnice minime anuale reprezintă serii cronologice denumite și *serii dinamice* (Haidu, 1997; Stanciu, 1997).

Seriile cronologice oglindesc, printr-un șir de date, evoluția unui fenomen colectiv; în legătură cu structura lor nu se poate desprinde nici un element de permanență (Moineagu, 1976).

Seriile cronologice au înfățișarea unui șir paralel de valori caracteristice de timp (x), cu rol de variabilă independentă și caracteristică a fenomenului cercetat (y), care joacă rolul de funcție. Vom avea relația $y = f(x)$ dar, spre deosebire de esența noțiunii de corelație, nu se vorbește de o dependență cauzală, în care schimbarea argumentului funcției să determine schimbarea acesteia (Moineagu, 1976).

O caracteristică a seriilor cronologice este limitarea posibilității de a le construi numai la colectivități statistice omogene.

Cunoașterea statistică a componentelor mișcării în timp reclamă analiza schimbărilor care au avut loc în volumul și structura colectivităților statistice respective, în caracteristicile proprii diferitelor unități ale colectivităților, în forma și caracterul legăturii dintre aceste caracteristici, în toate schimbările manifestându-se relații de interdependență (Moineagu, 1976).

O serie temporală are trei componente de bază (Șerban, 2002):

- tendința, care marchează direcția fundamentală a mișcării.
- componenta periodică, care poate fi :
 - diurnă;
 - sezonieră - creată de factorii naturali;
 - incidentală - apare ca rezultat al acțiunii unor factori întâmplători;
 - ciclică - determinată de periodicitatea succesiunii fazelor de ciclu.
- componenta stocastică.

Șirurile temporale pot fi *șiruri staționare* - dacă valoarea probabilă a termenilor șirului nu depinde de numărul de ordine al elementului șirului și, *șiruri nestaționare*.

Șirurile temporale pot fi compuse din:

- elemente aleatoare - dacă fiecare element este independent de elementele anterioare ale șirului;
- elemente nealeatoare, corelate serial sau autocorelate - dacă fiecare element al șirului este funcție de valorile elementelor anterioare.

3.2.1.1. Tendința seriilor de debite medii minime din spațiul Banat

Datorită faptului că resursele de apă sunt influențate puternic de variațiile climatice, anumite variabile hidrologice, cum ar fi scurgerea de suprafață, pot fi considerate ca variabile climatice (Stănescu, Corbuș, Simota, 1999).

Analiza datelor și informațiilor istorice hidrologice și meteorologice, în special a seriilor temporale lungi, dar mai mici de 100 de ani, este utilă în înțelegerea variabilităților

climatică și, are ca scop, cunoașterea variabilității hidrologice în contextul variabilității climatice.

Analizele respective pot furniza informații privind efectele variabilității climatice asupra sistemelor hidrologice punând în evidență tendințele posibile. Aceste informații sunt necesare atât în domeniul hidrologiei cât și gospodăririi apelor (Stănescu, Corbuș, Simota, 1999).

Ca expresie statistică a liniei sau direcției fundamentale de mișcare, tendința este un mijloc de exprimare sintetică a unei dinamici medii, este o mărime medie dinamică (Moineagu, 1976). Sub formă grafică tendința poate fi reprezentată ca o linie ascendentă sau descendentă, curbă exponențială, parabolică sau hiperbolică.

Strict legat de lungimea seriei sunt *tendința globală* și *componenta tendințelor locale* (Haidu, 1997). De asemenea, pot sau nu să apară evenimente episodice bruște sau salturi, care trebuie justificate statistic și să se bazeze pe studii care să dovedească variabilitatea naturală a procesului studiat. Dacă aceste componente sunt consecința intervenției antropice în bazin care au schimbat regimul natural al procesului hidrologic, ele trebuie menționate explicit (Haidu, 1997).

Tendința globală reprezintă o creștere sau o descreștere monotonă continuă a nivelului general al seriei pe o perioadă de timp existentă.

Tendința globală reprezentată sub forma unui polinom este de forma (Haidu, 1997, Stănescu, Corbuș, Simota, 1999):

$$g(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_mt^m \quad (3.21)$$

unde: a_0, a_1, \dots, a_m sunt parametrii care urmează a fi estimați.

Tendința are semnificație statistică numai dacă parametrii a_0, a_1, \dots, a_m sunt semnificativ diferiți de zero.

Pentru investigarea tendinței de lungă durată a variabilelor hidrologice se utilizează, de regulă, serii de valori anuale cu toate că, variațiile de la an la an, care apar atât în scurgerea sezonieră, cât și în precipitațiile sezoniere rămân nedetectate (Stănescu, Corbuș, Simota, 1999).

În studiile privind analiza variabilității hidrologice și climatice s-a adoptat ca durată minimă pentru înregistrări, perioada de 50 de ani pentru precipitații și 30 de ani pentru debite (Stănescu, Corbuș, Simota, 1999). Din aceste considerente, analiza variabilității și a tendințelor globale ale debitelor medii minime înregistrate la stațiile hidrometrice din spațiul Banat se va face pentru o perioadă de 50 de ani.

Precipitațiile înregistrate în intervalul 1950 - 1999 la stațiile meteorologice din Banat sunt redate în anexa 2, figura 5.

Variațiile de la an la an și tendințele globale ale debitelor medii lunare minime anuale și ale debitelor medii zilnice minime anuale înregistrate la stațiile hidrometrice situate pe râurile Bega, Timiș, Bârzava, Caraș și Nera sunt prezentate în anexa 2, figurile 6 - 27. Menționez că au fost luate în considerare numai debitele medii minime în regim natural (măsurat și reconstituit) din perioada 1950 - 1999.

În perioada considerată în toate bazinele hidrografice analizate, se pot observa și intervale care reprezintă tendințele locale. Valorile debitelor medii minime sunt dependente de cantitățile de precipitații căzute. Astfel, seceta din perioada 1946-1950 a afectat regimul hidrologic din Banat. Anul 1950, an considerat excepțional de secetos (Topor, 1964), marchează momentul în care au fost înființate multe dintre stațiile hidrometrice din Banat la care s-a început programul de observații de niveluri și măsurători de debite.

Din punct de vedere statistic, debitele medii lunare minime anuale și debitele medii zilnice minime anuale înregistrate în 1950 și 1952, au rămas cele mai mici valori.

Acestei perioade secetoase îi urmează un an excepțional de ploios, 1955 (Topor, 1964, Bogdan, 1999), an în care, valorile debitelor minime marchează o creștere ca efect al creșterii potențialului hidric prin reîncărcarea acviferului.

Perioada 1956 - 1960 este caracterizată printr-un regim pluviometric relativ normal iar, variația debitelor medii minime ilustrează acest lucru.

În anii 1961-1962 se înregistrează deficit de umiditate, valorile debitelor medii lunare minime anuale și medii zilnice minime anuale fiind în scădere. În funcție de epuizarea rezervelor de apă din acvifer, într-un același bazin hidrografic variația debitelor minime marchează un punct de minim între anii 1962-1964.

Ani excesiv de ploioși, au fost 1969, 1970, 1971, 1974, 1981 și 1999; și ani foarte ploioși au fost 1975, 1976, 1978, 1979 și 1980.

Ani excesiv de secetoși au fost 1983, 1984, 1986, 1987, 1993 (Bogdan, Niculescu, 1999).

În anii în care s-a înregistrat deficit de umiditate, în toate bazinele hidrografice debitele minime au fost reduse. Perioada 1983 - 1997, în care cantitățile de precipitații s-au situat preponderent sub media multianuală, este marcată în scurgerea minimă printr-un salt negativ după care se pune în evidență o tendință negativă.

Interpretarea graficelor este afectată de variația aleatoare a debitelor medii anuale. Variația aleatoare de la an la an pare să fie mai mare decât orice eventuală modificare pe termen lung. Cu toate acestea, se observă că în toate bazinele hidrografice, cu începere din 1986 a apărut o diminuare a debitelor medii lunare minime anuale și a debitelor medii zilnice minime anuale înregistrate, tendința acestora fiind de scădere.

Perioadele cu exces sau deficit de umiditate se resimt în scurgerea minimă anuală. Astfel, după creșterea înregistrată în 1966, urmează o scurtă perioadă de scădere sau oscilație ușoară, perioadă care se sfârșește în 1969. Precipitațiile abundente din 1970 fac ca, în toate bazinele hidrografice să se înregistreze o creștere bruscă după care, până în 1974, se produce o scădere treptată a valorilor debitelor minime.

Precipitațiile căzute în perioada 1974 - 1982 se resimt în scurgerea minimă prin creșterea treptată a valorilor debitelor, care înregistrează un maxim în perioada 1981 -1982.

Cu începere din 1983, pe toate cursurile de apă, debitele minime scad, această scădere datorându-se anilor secetoși. Precipitațiile căzute în anii 1987 și 1989 au avut valoarea normalei dar nu au influențat tendința de scădere a debitelor minime, care înregistrează valori minime în anii 1994 - 1995.

Precipitațiile căzute în anii 1996 - 1997 au produs o schimbare în tendința de scădere a debitelor minime. Din 1996, în toate bazinele hidrografice, se produc creșteri ușoare ale valorilor debitelor minime anuale.

Din analiza graficelor, care au fost trasate pentru perioada 1950 - 1999 pe baza observațiilor directe cât și pe baza șirurilor extinse se observă următoarele:

Bazinul hidrografic Bega. Debitele medii lunare minime anuale, debitele medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII precum și, debitele medii zilnice minime anuale au tendința globală de creștere ușoară. Debitele medii zilnice minime anuale din perioada VI-VIII au tendință globală de creștere ușoară pe cursul superior și de scădere ușoară pe cursul mijlociu (Făget, Balinț). Graficele de variație anuală a debitelor medii minime precum și tendința se regăsesc în anexa 2, figurile 6 - 9.

În *bazinul hidrografic al râului Gladna*, principalul afluent al râului Bega, datorită acumulării Surduc, regimul natural al curgerii este modificat. Din această cauză nu au fost analizate decât debitele medii lunare minime anuale și debitele medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII. Acestea prezintă o tendință globală de creștere la stațiile hidrometrice

Fârdea și Surduc, situate pe râul Gladna și, tendință globală de scădere pe afluenții râului Gladna, respectiv Hăuzeasca și Munișel (anexa 2, figurile 10-11).

Bazinul hidrografic Timiș. Debitel medii lunare minime anuale au tendință globală crescătoare cu excepția râului Feneș care marchează o tendință globală descrescătoare.

Debitel medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII au tendință globală relativ constantă pe cursul superior al râului Timiș și pe râul Feneș; tendință globală de creștere ușoară pe râul Bistra și pe cursul mijlociu și inferior al râului Timiș și, tendință globală de scădere pe râurile Rece, Bistra Mărului și Șucu.

Debitel medii zilnice minime anuale și debitel zilnice minime anuale din perioada VI-VIII au tendință globală descrescătoare pe cursul superior al râului Timiș și râurile Bistra Mărului și Șucu și, de creștere ușoară pe râul Feneș.

Pe cursul mijlociu și inferior al râului Timiș, regimul natural al curgerii este modificat de către construcțiile hidrotehnice existente și nu se face reconstituirea debitel medii zilnice naturale motiv pentru care, nu s-au analizat decât debitel medii lunare minime anuale.

Graficele de variație anuală a debitel medii minime precum și tendința globală a acestora se regăsesc în anexa 2, figurile 12 - 15.

În *bazinul hidrografic Pogăniș*, debitel medii lunare minime anuale (anexa 2 figura 16) precum și debitel medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII (anexa 2 figura 17) au tendința globală crescătoare, cu excepția stației hidrometrice Brebu unde, debitel medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII au tendință globală de scădere.

Bazinul hidrografic Bârzava. Regimul natural al curgerii este modificat de către construcțiile hidrotehnice existente și nu se face reconstituirea debitel medii zilnice naturale. Din acest motiv pentru care nu au fost analizate decât debitel medii lunare minime anuale.

Debitel medii lunare minime anuale au tendința globală de creștere ușoară în bazinul superior și de scădere pe cursul mijlociu și inferior. Excepție face râul Valea Mare, unde debitel medii lunare minime anuale au tendința globală crescătoare (anexa 2, figura 18).

Debitel medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII au tendința globală de scădere, excepție făcând râul Valea Mare unde, tendința globală este de creștere (anexa 2, figura 19).

Bazinul hidrografic Caraș. Debitel medii lunare minime anuale au tendință globală de creștere ușoară, cu excepția râului Vicinic unde, tendința globală este constantă (anexa 2, figura 20).

Debitel medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII au tendință globală de scădere ușoară pe cursul principal (Carașova și Vărădia) și pe râul Ciclova și, crescătoare pe restul afluenților (anexa 2, figura 21).

Debitel medii zilnice minime anuale au tendință globală de creștere ușoară, cu excepția râurilor Ciclova și Vicinic iar, debitel medii zilnice minime anuale din perioada VI-VIII au tendință globală de scădere ușoară, cu excepția râului Vicinic (anexa 2, figurile 22-23).

Bazinul hidrografic Nera. Atât debitel medii lunare minime anuale cât și debitel medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII, au tendință globală de creștere ușoară în bazinul superior și mijlociu și, de scădere ușoară în bazinul inferior și, aceiași observație este valabilă și în cazul debitel medii zilnice minime anuale și din perioada VI-VIII (anexa 2, figurile 24-27).

În general, pe ansamblul fiecărui bazin hidrografic, variația de la an la an a debitelor minime este bine corelată pe cursurile principale și pe afluenții acestora. Diferențele care apar se datorează distribuției areale a precipitațiilor, răspunsului bazinului hidrografic, epuizării stocului de apă din bazin, caracterului azonal al scurgerii în unele subbazine, influenței factorilor fizico-geografici asupra scurgerii minime.

Analiza variației de la an la an a curgerii minime a stat la baza alegerii intervalului de timp pentru care modelele de simulare a debitelor medii zilnice prezentate în Capitolul 4 au fost calibrate. Deoarece numărul de ani pentru care se face testarea acestor modele este limitat la opt, este importantă stabilirea intervalului de timp, care să includă ani ploioși și ani secetoși.

3.2.1.2. Componenta periodică a seriilor de debite medii minime din spațiul Banat

Seriile care apar în hidrologie sunt considerate ca fiind formate dintr-o componentă oscilatorie peste care se suprapune o componentă aleatorie autocorelată.

Analiza seriilor temporale se face prin două categorii de metode și anume: *analizele de autocorelație și analizele spectrale*. Între aceste metode apar diferențe metodologice însă nu există deosebiri de fond, ambele exprimând în esență același aspect al unui fenomen.

Din punctul de vedere al unei prognoze sigure mai important este rolul jucat de *fenomenele periodice* care se repetă cu o regularitate mai mare sau mai mică și imprimând seriilor de timp o trasătură oscilatorie sau ciclică care este caracterizată prin unde și amplitudini aproximativ egale.

Determinarea *periodicității* este o problemă extrem de dificilă. Fenomene nealeatoare sunt amestecate cu fenomene aleatoare și, nici în acest moment nu se cunoaște dacă procesele fizice care generează aceste fenomene sunt sau nu sunt caracterizate printr-un ritm regulat și staționar. Cu toate acestea, analiza periodicității se realizează cu ajutorul funcțiilor trigonometrice, cu metoda corelației seriale sau a procedeelelor aproximative, cum ar fi mediile glisante; intersecția medianelor; metoda integrării; metoda punctelor de inversiune.

Pentru analiza periodicității, cel mai des utilizate în practica hidrologică sunt corelația serială sau autocorelația și metoda aproximativă a mediilor glisante.

În teză, pentru analiza periodicității seriilor de debite medii lunare minime anuale, s-a ales autocorelația sau corelația serială.

Autocorelația (corelograma)

În cadrul seriilor dinamice oscilatorii este deosebit de importantă noțiunea de autocorelație, care de fapt reprezintă corelația dintre termenii unei aceleiași serii. Autocorelația sau corelația serială este o corelație între valorile luate de una și aceeași variabilă la diferite momente separate între ele printr-un anumit interval de timp. În acest caz, coeficientul r va fi un coeficient de corelație de serie ciclică.

Autocorelația reflectă structura internă a seriei temporale, având forme diferite și depinzând de raportul dintre componenta periodică și componenta stocastică.

Coeficientul de autocorelație este definit prin relația (Vladimirescu, 1984):

$$r_k = \frac{\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} x_i x_{i+k} - \frac{1}{(N-k)^2} \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_i \right) \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_{i+k} \right)}{\left[\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} x_i^2 - \frac{1}{(N-k)^2} \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_i \right)^2 \right]^{1/2} \left[\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} x_{i+k}^2 - \frac{1}{(N-k)^2} \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_{i+k} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.22)$$

Coeficientul de autocorelație al debitelor medii lunare înregistrate la stația hidrometrică
Dalboșeț, pentru $k = 1$

Anul	X_i	X_{i+1}	$(X_i)^2$	$(X_{i+1})^2$	$X_i X_{i+1}$
1950	0.960	2.10	0.9216	4.41	2.016
1951	2.10	0.620	4.4100	0.38	1.302
1952	0.620	1.24	0.3844	1.54	0.7688
1953	1.24	1.20	1.5376	1.44	1.488
1954	1.20	4.55	1.4400	20.70	5.46
1955	4.55	1.59	20.7025	2.53	7.2345
1956	1.59	2.16	2.5281	4.67	3.4344
1957	2.16	1.34	4.6656	1.80	2.8944
1958	1.34	2.02	1.7956	4.08	2.7068
1959	2.02	1.96	4.0804	3.84	3.9592
1960	1.96	1.06	3.8416	1.12	2.0776
1961	1.06	0.780	1.1236	0.61	0.8268
1962	0.780	1.40	0.6084	1.96	1.092
1963	1.40	1.08	1.9600	1.17	1.512
1964	1.08	1.14	1.1664	1.30	1.2312
1965	1.14	2.60	1.2996	6.76	2.964
1966	2.60	1.48	6.7600	2.19	3.848
1967	1.48	2.82	2.1904	7.95	4.1736
1968	2.82	2.30	7.9524	5.29	6.486
1969	2.30	3.44	5.2900	11.83	7.912
1970	3.44	2.39	11.8336	5.71	8.2216
1971	2.39	2.81	5.7121	7.90	6.7159
1972	2.81	1.82	7.8961	3.31	5.1142
1973	1.82	2.57	3.3124	6.60	4.6774
1974	2.57	4.24	6.6049	17.98	10.8968
1975	4.24	5.28	17.9776	27.88	22.3872
1976	5.28	2.37	27.8784	5.62	12.5136
1977	2.37	2.94	5.6169	8.64	6.9678
1978	2.94	3.00	8.6436	9.00	8.82
1979	3.00	3.62	9.0000	13.10	10.86
1980	3.62	3.45	13.1044	11.90	12.489
1981	3.45	2.51	11.9025	6.30	8.6595
1982	2.51	2.32	6.3001	5.38	5.8232
1983	2.32	2.19	5.3824	4.80	5.0808
1984	2.19	2.11	4.7961	4.45	4.6209
1985	2.11	1.95	4.4521	3.80	4.1145
1986	1.95	1.22	3.8025	1.49	2.379
1987	1.22	1.76	1.4884	3.10	2.1472
1988	1.76	2.35	3.0976	5.52	4.136
1989	2.35	1.62	5.5225	2.62	3.807
1990	1.62	2.82	2.6244	7.95	4.5684
1991	2.82	2.19	7.9524	4.80	6.1758
1992	2.19	1.83	4.7961	3.35	4.0077
1993	1.83	1.54	3.3489	2.37	2.8182
1994	1.54	2.13	2.3716	4.54	3.2802
1995	2.13	2.50	4.5369	6.25	5.325
1996	2.50	5.11	6.2500	26.11	12.775
1997	5.11	3.05	26.1121	9.30	15.5855
1998	3.05	3.08	9.3025	9.49	9.394
Suma	111.53	113.65	306.2773	314.84	277.7487

Coeficientul de ordinul k este calculat prin atribuirea valorilor $(x_{i+k} - \bar{x}_{i+k})$ la valorile $(x_i - \bar{x}_i)$. Calculele se efectuează conform relației (3.22).

În tabelul 3.2 sunt prezentate debitele medii lunare minim anuale înregistrate la stația hidrometrică Dalboșeț în perioada 1950 - 1999.

Coeficientul de autocorelație de ordinul 1 este de $r = 0,368$ ceea ce înseamnă că debitele medii lunare minime anuale nu au o "memorie" bună.

Pentru un șir foarte numeros, coeficienții de corelație serială scot în evidență caracterul aleator al valorilor, condiție cerută de aplicarea riguroasă a calculului de probabilitate (Vladimirescu, 1984). În consecință, trebuie stabilită limita de semnificație.

Pentru a determina cât de mic trebuie să fie coeficientul de autocorelație pentru ca seria de date să fie aleatoare se aplică testul Andersen, care dă limitele de încredere ale coeficientului de autocorelație pentru un anumit interval de semnificație.

Intervalul de încredere (CL) al factorilor r_k , după cum a fost definit de Anderson în 1941, este:

$$CL = \frac{-1 \pm t_\alpha \sqrt{N-1-k}}{N-k} \quad (3.23)$$

unde: t_α - variabila normală standardizată corespunzătoare probabilității $(1 - \alpha)$;

N - numărul de termeni (în cazul nostru, numărul de ani).

Formula este valabilă numai dacă $k/N < 0,1$, în caz contrar, exactitatea sa scade.

Figurând coeficienții de corelație r_k corespunzători valorilor lui $k = 1, 2, \dots, n$ în funcție de k se obține *corelograma* seriei de timp.

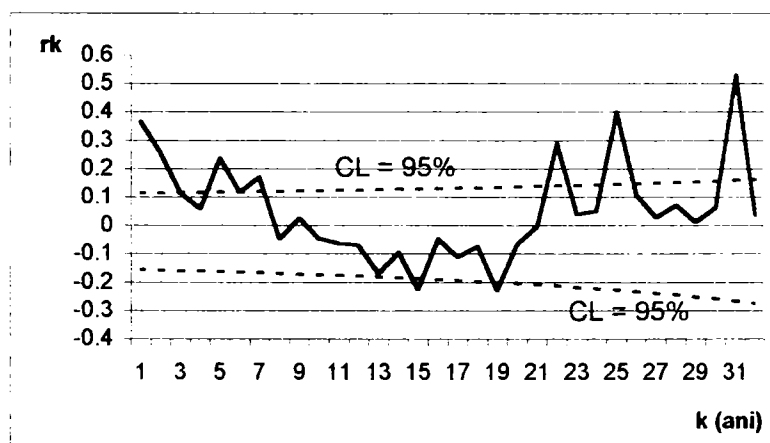


Figura 3.4. Reprezentarea grafică a coeficientului de autocorelație a debitelor medii lunare minime anuale înregistrate la stația hidrometrică Dalboșeț, râul Nera și intervalul de încredere pentru un șir de 50 de valori (1950- 1999).

Dacă seria de date este formată dintr-o componentă deterministă și o componentă stocastică, atunci corelograma prezintă vârfuri regulate ce se repetă cu o anumită periodicitate. Mărimea acestor vârfuri indică tăria componentei periodice a seriei de date.

Corelograma trasată pentru debitele medii lunare minime anuale înregistrate la stația hidrometrică Dalboșeț în perioada 1950-1999 este prezentată în figura 3.4. Se observă că amplitudinea corelogramei este mai mică, ceea ce indică o componentă stocastică mai mare, iar periodicitatea este de 21 de ani.

Din analiza graficului, se constată că unele valori ale coeficienților de autocorelație depășesc limita intervalului de încredere.

Debitele medii lunare minime anuale pot fi independente sau dependente din punct de vedere stocastic. Acest lucru este legat de schimbările anuale pe care le suferă stocul total de apă dintr-un bazin hidrografic. Dacă schimbările sunt neglijabile atunci seria este independentă, iar dacă fluctuațiile stocului de apă sunt însemnate de la un an la altul în raport cu media multianuală, seria este dependentă în timp.

Dependența în timp a seriei de debite medii lunare minime anuale este în mare măsură o funcție de caracteristicile geologice ale bazinului hidrografic. În bazine hidrografice mici coeficientul de autocorelație de ordinul 1 are valori semnificative datorită influenței alcătuirii geologice asupra scurgerii de la un an la altul.

3.3. Prognoza de scurtă durată a debitelor medii minime

Pentru prognoza de scurtă durată a debitelor medii minime, în teză au fost utilizate următoarele metode:

- regresii liniare;
- relațiile dintre stațiile hidrometrice (debite corespondente), metodă bazată pe regresii liniare;

3.3.1. Regresiile liniare

Dependența stocastică este determinată prin analiza corelației. În cazul unei relații funcție, gradul de corelație este unitatea. Dacă variabilele sunt independente, corelația este întotdeauna zero. Valorile corelațiilor obișnuite sunt cuprinse în acest interval. Precedeul folosit pentru determinarea celei mai probabile valori ale variabilei dependente (predictive) prin intermediul variabilei independente este definit ca o asociație corelativă (Teodorescu și al., 1973).

Dacă perechile de valori $(x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)$ care aparțin variabilelor aleatoare (ξ, η) sunt reprezentate într-un sistem de coordonate, punctele vor descrie o curbă. Motivul este faptul că valorile măsurate includ erori necunoscute, numite *erori aleatoare*.

Funcția:

$$y = M(\eta | \xi = x) \quad (3.21)$$

se numește *regresia* variabilei aleatoare raportate la ξ (simbolul $|$ se referă la probabilitatea condiționată). Poate fi demonstrat că, în cazul în care ξ și η sunt distribuite normal, regresia lui η este o dreaptă descrisă de ecuația:

$$y = m_2 + \rho \frac{\sigma_2}{\sigma_1(x - m)} \quad (3.22)$$

unde: $m_1 = M(\xi)$, $m_2 = M(\eta)$, $\sigma_1 = D(\xi)$, $\sigma_2 = D(\eta)$ și, ρ este *coeficientul de corelație*.

Constanta ecuației

$$y = ax + b \quad (3.23)$$

poate fi calculată cu formula:

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.24)$$

și trebuie să respecte condiția: $b = \bar{y} - a\bar{x}$.

Coeficientul de corelație ρ pentru populația de bază se calculează cu ajutorul formulei:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} = \sqrt{a \cdot a'} \quad (3.25)$$

unde:

$$a' = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Coeficientul de corelație este un indicator al legăturii strânse dintre cele două variabile. Dacă $r = 1$ înseamnă că relația este funcțională, dacă $r = 0$ înseamnă că nu există nici o relație între cele două variabile.

Cunoscând linia de egalizare, este posibilă determinarea deviației standard a reziduurilor s_f . Astfel:

$$s_f = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y)^2}{n}} = s_y \sqrt{1 - r^2} \quad (3.26)$$

unde: $s_y = s_2$ este deviația standard a variabilei dependente.

Coeficientul de corelație dă informații referitoare la măsura prin care deviația standard a lui y poate fi redusă prin raportarea sa la altă variabilă.

3.3.2. Debitelile corespondente

Metoda debitelor corespondente este una dintre cele mai simple, dar încă puternice metode utilizate în prognoza de scurtă durată și se bazează pe metoda corelației liniare (Diaconu, Șerban, Pașoi, 1981).

Metoda debitelor corespondente caută să stabilească o corelație între debitele care se produc simultan (cu o întârziere datorată timpului de propagare) la două stații hidrometrice situate, în amonte și aval, pe același curs de apă.

Diferența dintre timpul de producere al debitelor corespondente reprezintă timpul de anticipare al prognozei.

Metoda debitelor corespondente este folosită pentru prognoza debitelor zilnice și principiul său de bază constă în faptul că, debitul Q_0 al secțiunii din aval la momentul t este funcție de debitul Q_e observat în secțiunea din amonte la momentul anterior τ , care este timpul de deplasare a apei între cele două secțiuni. Astfel:

$$Q_{0,t} = f(Q_{e,t-\tau}) \quad (3.27)$$

unde: $Q_{0,t}$ - debitul care se produce la momentul t în secțiunea din aval;
 $Q_{e,\tau}$ - debitul care se produce la momentul $t - \tau$ în secțiunea din amonte.

Relația între stațiile hidrometrice poate fi aplicată pe cursurile principale de apă pentru care creșterea și scăderea debitelor se produce lent. Rezultatele obținute sunt foarte bune atunci când, pe sectorul considerat, aportul suplimentar este relativ mic față de debitul de intrare din secțiunea amonte. Pentru perioada debitelor mici rezultatele obținute sunt foarte bune.

În cele mai multe cazuri, relația dintre debitele corespondente este liniară și poate fi exprimată matematic prin:

$$Q_0 = a_0 + a_1 Q_e \quad (3.28)$$

unde: a_0, a_1 sunt constante.

Relația poate fi determinată fie prin metoda aproximării grafice fie prin analiza corelației dintre două variabile determinând ecuația de regresie.

Un caz particular se întâlnește când relația nu este strânsă, punctele fiind dispersate în câmp. În acest caz, vor fi introduse mai multe variabile, cum ar fi debitele observate în același moment pe râu și pe afluenții săi, relația astfel obținută fiind mult mai complexă.

Relația poate fi exprimată astfel:

$$Q_{0,t} = f(Q_{e,t-\tau}; Q_{A_1,t-\tau}; \dots; Q_{A_N,t-\tau}) \quad (3.29)$$

și se reprezintă sub formă de grafic coaxial cu variabile multiple sau, prin înlocuirea expresiei cu ecuația de regresie liniară cu variabile multiple:

$$Q_{0,t} = a_0 + a_1 Q_{e,t-\tau} + a_2 Q_{A_1,t-\tau} + \dots + a_N Q_{A_N,t-\tau} \quad (3.30)$$

unde: $Q_{0,t}$ - debitul în secțiunea din aval;
 $Q_{e,\tau}$ - debitul în secțiunea din amonte;
 $Q_{A_1,t-\tau}, Q_{A_N,t-\tau}$ - debitele afluenților.

Metoda debitelor corespondente este utilizată frecvent pentru prognoza debitelor medii zilnice pe râurile din Banat.

În teză, este prezentată prognoza debitelor medii zilnice, elaborată pe baza metodei debitelor corespondente, pentru râul Bega.

Se stabilesc timpii de deplasare, τ (ore), între stațiile hidrometrice, în funcție de debit. Timpii de propagare a debitelor au fost determinați cu relația:

$$K = \frac{V_m \bar{Q}_{80^\circ}}{V_m \bar{Q}} \quad (3.31)$$

și sunt reprezentați în figura 3.2.

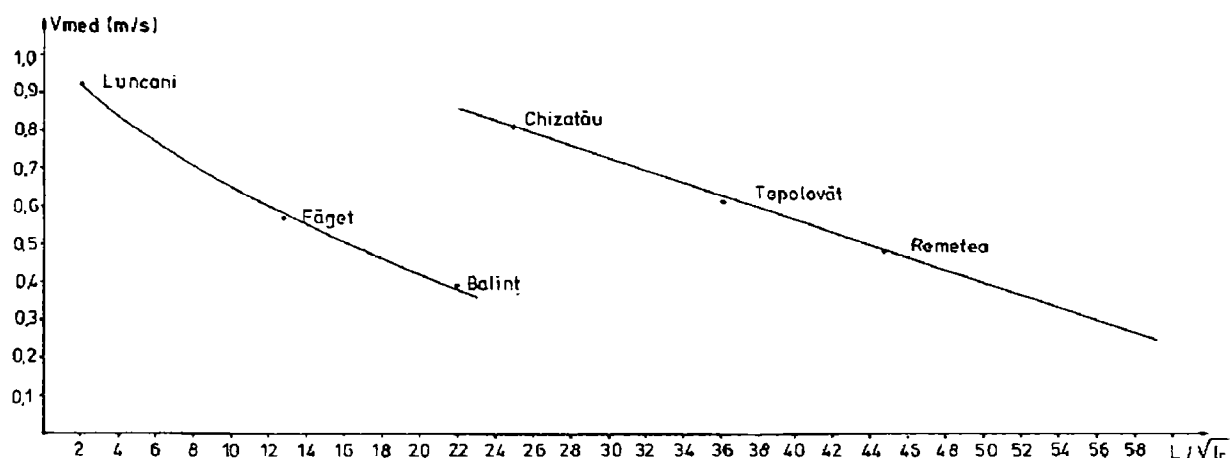


Figura 3.2. Timpul mediu de deplasare al apei între stațiile hidrometrice amplasate pe râul Bega.

Au fost determinate relațiile dintre debitele medii zilnice de la stațiile hidrometrice amplasate pe cursul principal al râului Bega.

În figura 3.3 se prezintă graficul de corelație și ecuația dreptei de regresie dintre debitele medii zilnice înregistrate la stațiile hidrometrice Făget și Balinț.

Determinarea ecuației de regresie descrie legătura dintre mărimile variabile, în cazul acesta debitele medii zilnice și, permite cunoașterea modului în care se modifică în medie o variabilă în raport cu modificările date ale altei variabile.

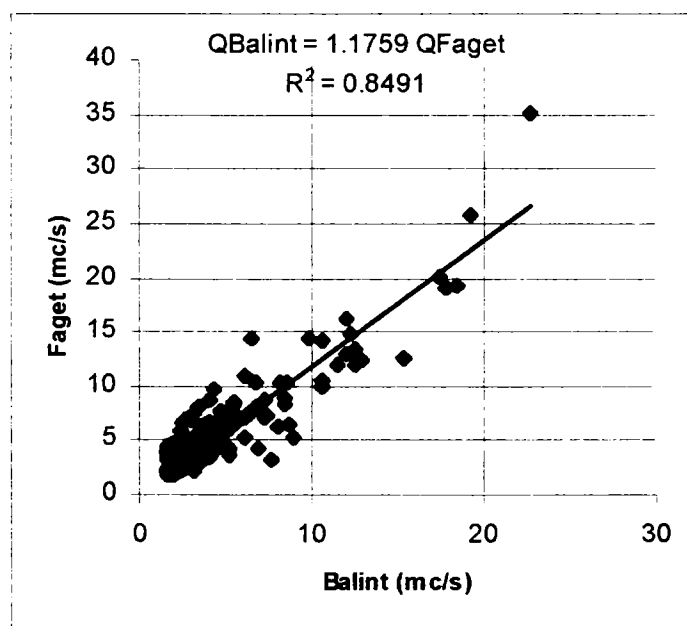


Figura 3.3. Debite corespondente. Râul Bega, stațiile hidrometrice Făget și Balinț.

Pe baza acestei legături stabilite, pot fi prognozate debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Balinț în funcție de debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Făget conform relației:

$$Q_{\text{Balinț}} = 1,176 \times Q_{\text{Făget}} \quad (3.32)$$

Relația este valabilă pentru perioadele în care prognoza meteorologică nu prevede precipitații.

Ca aspect al prognozei practice - o evaluare preliminară poate fi făcută pe baza rezultatelor detaliate ale analizei regresiei referitoare la comportarea viitoare a prognozei modelului. Se consideră că modelul este satisfăcător pentru prognoza debitelor dacă coeficientul de corelație are o valoare relativ mare (0,8-0,9) (Szöllösi-Nagy în Starosolszky, 1987).

Metoda regresiei liniare poate fi utilizată pentru extinderea seriilor de debite medii minime la stațiile hidrometrice care dispun de serii reduse de date sau, pentru determinarea debitelor minime la acele stații hidrometrice la care, din anumite motive, nu s-au efectuat observații și măsurători de debite. În paragraful 3.5 se va prezenta modul în care s-a realizat extinderea seriilor de debite minime din spațiul Banat.

3.4. Prognoza de lungă durată a debitelor medii minime

Prognoza de lungă durată se exprimă deseori, în termeni de probabilitate cum ar fi frecvența de distribuție a scurgerii.

În prognoza de scurtă durată, când se utilizează relațiile de regresie, prognoza este dată ca fiind unică, fără ca să i se atașeze probabilitatea de apariție. Prognoza conține erori dar, intenția este de a prognoza o singură valoare cât mai apropiată posibil de realitate.

În prognoza de lungă durată, incertitudinile sunt atât de mari, încât prognoza unei singure valori trebuie să reflecte probabilitatea de distribuție condiționată a debitelor viitoare. Chiar dacă are mari incertitudini, prognoza poate avea o valoare considerabilă în operarea sistemului resursei de apă. Obstacolul major în folosirea corectă a unei asemenea prognoze este neînțelegerea modului în care poate fi aplicată și utilizată informația probabilă când se formulează deciziile referitoare la cantitatea de apă care va fi alocată.

3.4.1. Debitelor condiționate

Dacă este acceptat conceptul de prognoză ca și probabilitate condiționată, pare normală considerarea alternativelor aproximării "cauză-efect" în tehnicile de prognoză cum ar fi metoda regresiei.

Prognozele care vor fi emise se vor baza direct pe modelele stocastice care descriu probabilitățile condiționate ale variabilelor independente.

În prognoza pe termen lung este uzual ca prognoza debitelor minime să fie exprimată în termeni de probabilitate.

Modelele conceptuale pot simula scurgerea numai pentru perioada pentru care se dispune de datele de intrare. Prognoza pe termen lung a debitelor minime poate fi utilă în timpul fenomenelor extreme (secetă), când metodele regresiei liniare își pierd acuratețea în condiții care depășesc limitele pentru care a fost determinată relația.

Metoda debitelor condiționate a fost propusă de Diaconu (1971) și, inițial a fost folosită pentru a stabili legătura condițională dintre debitele lichide și solide. În teză, acestă

metodă s-a aplicat pentru determinarea legăturii condiționale existente între debitele medii lunare înregistrate în luni consecutive, în perioada debitelor minime de vară.

Etapele de lucru sunt următoarele:

- Prin logaritmare, se transformă corelația curbă în corelație liniară

$$X_i = \log Q_i \quad (3.36)$$

$$Y_i = \log Q_{i-1} \quad (3.37)$$

Se calculează:

- coordonatele centrului de distribuție

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i ; \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i$$

- abaterile față de medii

$$X_i - \bar{X} ; \quad Y_i - \bar{Y}$$

- abaterile pătratice

$$(X_i - \bar{X})^2 ; (Y_i - \bar{Y})^2$$

- produsul abaterilor

$$(X_i - \bar{X}) (Y_i - \bar{Y})$$

- sumele :

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 ; \sum (Y_i - \bar{Y})^2 ; \sum (X_i - \bar{X}) (Y_i - \bar{Y})$$

- abaterile medii pătratice ale valorilor X_i și Y_i în raport cu valorile lor medii:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} ; \quad \sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (3.38)$$

- coeficientul de corelație :

$$R_{XY} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n \cdot \sigma_X \sigma_Y} \quad (3.39)$$

- Se scrie ecuația dreptei de regresie pentru X condiționat de Y

$$\bar{X}_{Y_i} = \bar{X} + \rho_{X/Y} (Y_i - \bar{Y}) \quad (3.40)$$

unde:

$$\rho_{X/Y} = R_{XY} \sigma_X / \sigma_Y \quad (3.41)$$

- Se calculează eroarea medie pătratică condițională în raport cu dreapta de regresie pentru X condiționat de Y:

$$\sigma_{X/Y} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{Y,i})^2}{n-1}} \quad (3.42)$$

- Se calculează abaterea standard în raport cu dreapta de regresie pentru X condiționat de Y :

$$t_{X/Y} = \frac{X_i - \bar{X}_{Y,i}}{\sigma_{X/Y}} \quad (3.43)$$

Din ultima formulă se deduce

$$X_i = \sigma_{X/Y} t_{X/Y} + X_0 + \rho_{X/Y} Y_i \quad (3.44)$$

unde:

$$X_0 = \bar{X} - \rho_{X/Y} \bar{Y}$$

este abscisa la origine a dreptei de regresie.

Se ține seama de ecuațiile (3.36) și (3.37):

$$\log Q_i = \sigma_{X/Y} t_{X/Y} + X_0 + \rho_{X/Y} \log Q_{i-1} \quad (3.45)$$

$$Q_i = Q_{i-1}^{\rho_{X/Y}} \cdot b^{\sigma_{X/Y} t_{X/Y} + X_0} \quad (3.46)$$

- unde: b - baza sistemului de logaritmi;
 $\rho_{X/Y}$ - coeficientul regresiei pentru log Q_i condiționat de log Q_{i-1} ;
 $\sigma_{X/Y}$ - eroarea medie pătratică condițională în raport cu dreapta de regresie pentru log Q_i condiționat de log Q_{i-1} ;
 $t_{X/Y}$ - abaterea standard în raport cu dreapta de regresie log Q_i condiționat de log Q_{i-1} , abaterea depinzând de probabilitatea de depășire p și care se determină cu ajutorul integralei de probabilitate a lui Gauss:

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3.47)$$

prin formula care exprimă probabilitatea de depășire condiționată a lui X când Y este constant

$$P_Y(X) = \begin{cases} 0,5 - \phi(t_{X/Y}) \text{ cand } t_{X/Y} > 0 \\ 0,5 + \phi(t_{X/Y}) \text{ cand } t_{X/Y} < 0 \end{cases} \quad (3.48)$$

Pe baza celor prezentate, au fost calculate debitele medii lunare condiționate pentru lunile iunie, iulie, august și septembrie, luni în care se produc debite minime pe râul Nera la stația hidrometrică Dalboșeț.

Calcululele efectuate sunt redade în anexa 2, tabelele 1 - 4 și, graficele trasate pe baza calcululelor sunt redade în anexa 2, figura 28.

Determinarea valorilor lui Q_i de o anumită probabilitate se face cu ecuația (3.46), în care i se atribuie lui t_{xN} valorile corespunzătoare probabilității considerate, conform tabelului de mai jos:

P%	1%	5%	10%	20%	25%	50%	75%	80%	90%	95%
t_{xN}	2,33	1,645	1,28	0,842	0,674	0,000	-0,674	-0,842	-1,28	-1,645

În cazul în care se dispune de prognoza meteorologică de lungă durată, pe baza acestor legături, în funcție de debitul mediu din luna $i-1$ poate fi prognozat debitul mediu din luna i .

Studiul statistic al debitelor condiționate din perioada de ape mici, permite pregătirea strategiei de gospodărire a apei. Cu ajutorul debitelor condiționate poate fi prognozat, cu aproximație, numai debitul lunar.

3.4.2. Analiza și prognoza scurgerii minime pe baza curbelor de secare.

Curba de secare este utilizată frecvent pentru prognoza debitelor minime. De asemenea, curba de secare poate fi folosită pentru determinarea valorii debitelor care lipsesc. Integrarea curbei de secare conduce la relația dintre coeficientul de curgere și volumul apei stocate. Acest volum de apă stocată dă informații despre caracteristicile geologice ale rezervorului freatic.

Problema care trebuie rezolvată a fost definită de Zsuffa în 1972 (Kovács în Starosolszki, 1987) prin următoarea expresie matematică:

$$F(x, t) = p(Q < x | T < t) \quad (3.49)$$

unde $F(x, t)$ este funcția probabilității de distribuție care va fi estimată. Din aceasta va rezulta probabilitatea p a valorii scurgerii minime x , prevăzând că $Q \leq x$ pentru durata sa T este mai mic decât perioada t selectată anterior. Zsuffa a propus o metodă de calculare a acestei funcții de distribuție. În această metodă se consideră că scurgerea minimă nu este în totalitate un proces aleator. Epuizarea graduală a debitelor în timpul perioadelor de scădere poate fi descrisă prin ecuații hidrologice deterministe în care, numai lungimea perioadei de scădere și debitele inițiale vor fi considerate variabile aleatoare.

Ipotezele folosite în derivarea acestui model stocastico-determinist sunt (Kovács în Starosolszki, 1987):

- 1) Scurgerea de suprafață va fi neglijată, luându-se în considerare numai hidrograful scurgerii de bază atunci când se investighează scurgerea minimă. În figura 3.5 este redată o reprezentare schematică a hidrografului, formei curbelor de secare și a scărilor verticale care caracterizează creșterea scurgerii de bază în timpul viiturilor.
- 2) Lungimea perioadei dintre două unde consecutive este o variabilă aleatoare datorită caracterului aleator de apariție al undelor de viitură. Probabilitatea sa de distribuție poate fi aproximată printr-o funcție exponențială:

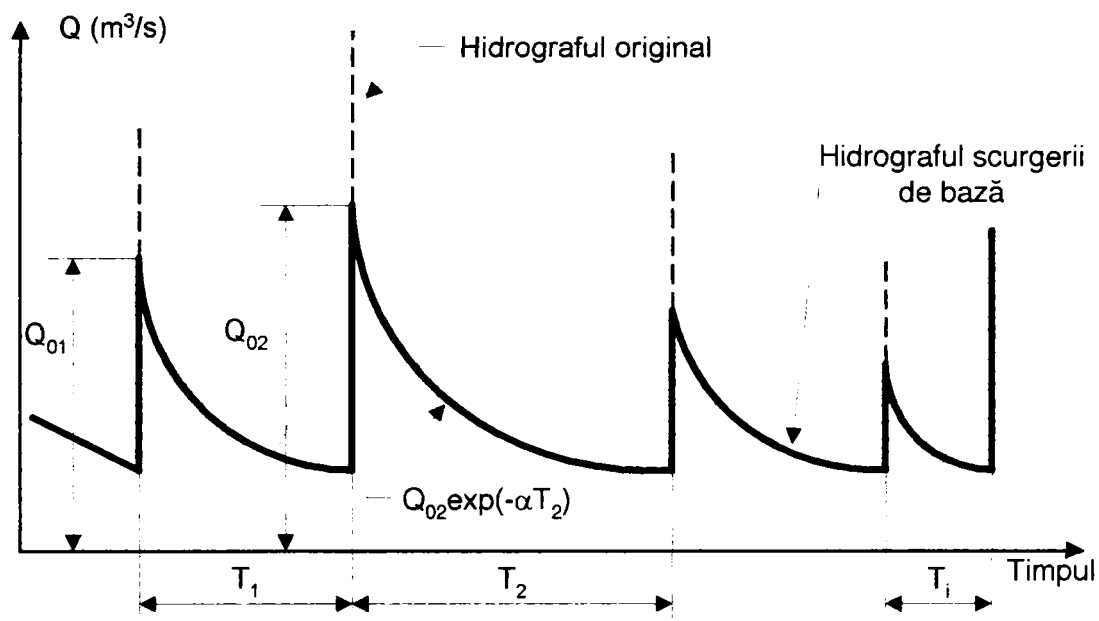


Figura 3.5. Separarea hidrografului scurgerii de bază din hidrograful debitelor.

$$G(y) = p(\theta < y) = 1 - e^{-\lambda y} \quad (3.50)$$

- 3) Recesia, care este componenta deterministă a modelului, poate fi aproximată printr-o funcție exponențială pentru valoarea inițială Q_0 ca fiind:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (3.51)$$

- 4) În ceea ce privește cea mai probabilă valoare a debitului inițial Q_0 , se pot face câteva presupuneri. Zuffa a investigat trei variante diferite: (a) debitul inițial Q_0 este constant; (b) este o variabilă aleatoare cu o distribuție exponențială; (c) în timp ce debitul inițial Q_0 este considerat constant, lungimea totală a perioadei de scădere este calculată din timpul cu care curba de secare intersectează linia orizontală a debitului inițial Q_0 .

Metoda prezentată se bazează pe multe aproximări. Distribuția exponențială a lungimii perioadei de scădere fără precipitații reprezintă o bună aproximație. Cu toate acestea, scurgerea de suprafață rămasă poate induce deviații asupra estimărilor, de aceea trebuie verificată pentru fiecare caz în parte.

Expresia curbei de secare este deseori folosită. De obicei, perioadele secetoase sunt prea scurte pentru a putea defini curba de secare pentru o perioadă îndelungată. Din observațiile de debite Q înregistrate la momente diferite t , utilizând metoda segmentului, se poate obține curba de secare.

Dacă toată apa stocată în acvifer alimentează râul atunci, curba de secare va fi unică. În cazul în care evaporația și transpirația variază foarte mult de la un sezon la altul este necesar să se utilizeze o familie de curbe de secare.

O altă metodă de construire a curbei de secare este metoda corelației. Valorile debitelor Q corespunzătoare intervalelor de timp egale (zile) sunt folosite pentru fiecare segment de hidrograf din perioadele secetoase.

Modelarea unei curbe de secare așa cum a fost ea propus de Mangrin în 1970 și 1975 este ilustrată de relația:

$$Q(t) = \varphi(t) + \Psi(t) \quad (3.52)$$

unde: $\varphi(t) = Q_0 e^{-\alpha t}$ reprezintă epuizarea și are sens din momentul începerii perioadei de epuizare;

$$\psi(t) = q_0 \frac{1 - \eta t}{1 + \varepsilon t}$$

reprezintă descreșterea, traduce efectul infiltrației la nivelul sursei și este o funcție omografică definită între $t_0 = 0$ și $t_1 = 1/\eta$;

- unde: α - definește modul în care se efectuează epuizarea;
 η - timpul la capătul căruia încetează infiltrația; este un coeficient de durată sau viteză de infiltrație;
 ε - caracterizează concavitatea descreșterii.
 ε

Din momentul începerii perioadei de epuizare, golirea sistemului va fi descrisă de legea lui Maillet sub forma ecuației (3.51):

$$Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (3.53)$$

- unde: t - timpul;
 Q - ordonata curbei de epuizare;
 α - coeficientul de epuizare.

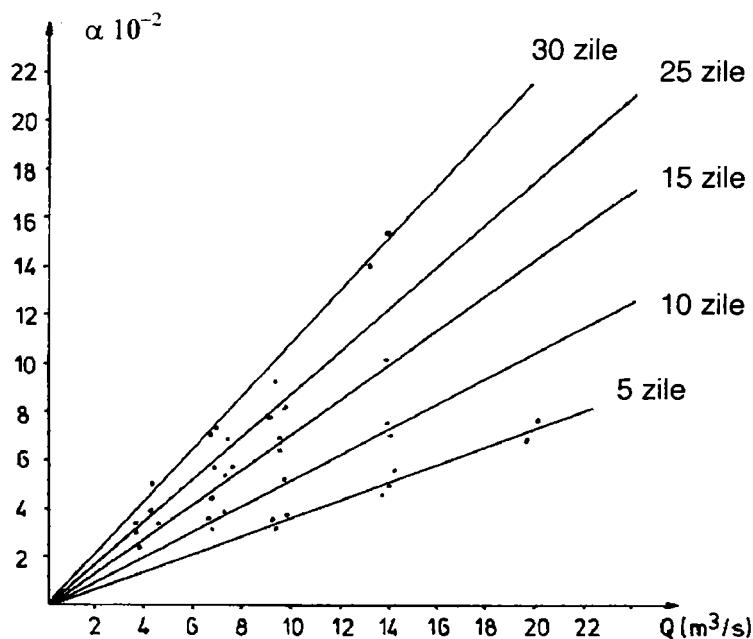


Figura 3.6. Relația $\alpha = f(Q_0, t)$ pentru râul Bega la stația hidrometrică Remetea

Curbele de secare sunt utilizate pentru prognoza de medie și lungă durată a debitelor minime. Dacă se cunoaște debitul din ziua curentă, debitul care va fi peste 10 zile

poate fi determinat din relația $\alpha = f(Q_0, t)$, unde Q_0 este debitul inițial și t intervalul de anticipare, cu condiția ca în această perioadă să nu se înregistreze precipitații.

În figura 3.6 se prezintă relația $\alpha = f(Q_0, t)$ determinată pentru râul Bega la stația hidrometrică Remetea. Pe baza acestei relații se poate prognoza debitul mediu zilnic din perioadele de ape mici cu un interval de anticipație de la 5 până la 30 de zile pe baza relației:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Relații de acest tip au fost determinate pentru stațiile hidrometrice din bazinele hidrografice Bega și Timiș și, în perioadele secetoase, sunt uzual folosite pentru prognoza debitelor medii zilnice.

3.4.3. Calcularea probabilității de apariție a debitelor medii zilnice pe baza mediilor zilnice multianuale (Kovács în Starosolszky, 1987)

O altă metodă de determinare a *probabilității de producere a debitelor minime* se bazează pe debitele zilnice, calculând mediile zilnice multianuale. Șirurile de debite medii zilnice sunt ordonate pentru fiecare lună în parte și, pentru fiecare lună se calculează probabilitățile de producere. Variația debitelor pe durata întregului an este descrisă de liniile care unesc punctele valorilor lunare de aceeași probabilitate (Kovács în Starosolszky, 1987).

Prin trasarea hidrografelor de debite medii zilnice de o anumită probabilitate se determină variația debitelor în timpul anului fiind puse în evidență perioadele cele mai defavorabile în care, de regulă, se produc viituri sau debite minime.

Pentru râul Nera la stația hidrometrică Dalboșeț, pentru intervalul 1950 - 1999, au fost calculate debitele zilnice multianuale de diverse asigurări

Pentru aceasta, au fost calculate debitele medii zilnice multianuale. Șirurile de debitele medii zilnice multianuale au fost ordonate și valorilor ordonate le-au fost atribuite probabilitățile de producere (anexa 2, tabelele 5 - 16).

Variația debitelor pe durata întregului an este descrisă prin liniile care unesc punctele valorilor zilnice de aceeași probabilitate. Astfel, au fost trasate hidrografele debitelor medii zilnice de diverse asigurări (anexa 2, figura 29).

Probabilitatea de 1%; reprezintă cele mai mari debite medii zilnice și, probabilitatea de 100% reprezintă cele mai mici debite care s-au înregistrat la stația hidrometrică Dalboșeț în perioada 1950 - 1999

Se observă că, viiturile se produc în lunile martie - iunie. În acest interval și debitele cu probabilitatea de 95% au valori ridicate atingând maximum în luna aprilie. În perioada iulie - septembrie se produce secarea, debitele atingând valori minime în lunile septembrie - octombrie după care urmează o nouă perioadă de creștere datorită precipitațiilor. Perioada august - septembrie este caracterizată prin debite mici, cu alte cuvinte, în această perioadă se produce scurgerea minimă.

Prin determinarea hidrografelor zilnice de anumite asigurări se confirmă, încă o dată că, variația debitelor minime este legată de schimbările pe care le suferă stocul total de apă din bazinul hidrografic și, acest lucru este legat de caracteristicile geologice ale bazinului hidrografic.

3.5. Analiza regională a debitelor minime

Șirurile scurte de date hidrometrice pot fi valorificate pentru calcularea debitelor minime de diverse asigurări dacă, pe râuri analoge, se dispune de șiruri de aceleași debite minime pe o perioadă mai îndelungată, astfel încât cele două șiruri să aibă o perioadă comună pentru care să fie posibilă stabilirea unei corelații concludente de debite minime (Diaconu, Șerban și Pașoi, 1981). În acest scop, au fost parcurse următoarele etape:

1. *Folosirea fondului de date existent.* În acest scop, s-au extras valorile debitelor medii lunare minime anuale și ale debitelor medii zilnice minime anuale din perioadele cu observații directe de la stațiile hidrometrice situate în bazinele hidrografice din spațiul Banat. Deoarece perioadele de observații directe au fost diferite, a fost necesară extinderea șirurilor de debite pe o perioadă unitară (1950 – 1999 pentru debitele medii lunare minime anuale și 1952 – 1999 pentru debitele medii zilnice minime anuale).

Extinderea șirurilor de debite s-a făcut prin două metode:

- Metoda corelației dintre stațiile hidrometrice care dispuneau de șiruri de debite complete și stațiile hidrometrice cu șiruri reduse de debite, stabilind ecuația de regresie.

Au fost trasate relațiile dintre stațiile hidrometrice situate pe principalele cursuri de apă și pe afluenții importanți ai acestora.

Au fost determinați:

- coeficienții de corelație (r);
- ecuațiile de regresie;
- erorile (E) pentru fiecare relație.

În situațiile în care valorile coeficienților de corelație dintre cele două șiruri de debite medii minime sunt mai mici decât 0,8, metoda nu este funcțională datorită erorilor care apar. Când valorile coeficienților de corelație dintre cele două șiruri sunt mai mari de 0,8, metoda este funcțională și, prin utilizarea sa, erorile obținute în determinarea valorilor debitelor medii lunare minime anuale și din perioada VI-VIII s-au situat sub 8%.

Verificarea validității relațiilor determinate a fost făcută luând în considerare anul 2000.

În anexa 2, figurile 30-35 sunt redate relațiile dintre stațiile hidrometrice stabilite pe baza debitelor medii lunare minime anuale.

Aceiași metodă a fost folosită și pentru extinderea seriilor de debite medii zilnice minime anuale și din perioada VI-VIII pentru acele stații hidrometrice care dispuneau de serii reduse de date.

- Aplicarea coeficienților de corecție la debitele de diverse asigurări care au fost determinate din șirurile scurte. Coeficienți au fost determinați prin prelucrarea statistică la stațiile hidrometrice cu șir lung de date, pe diverse perioade, în funcție de șirul de debite de la stațiile hidrometrice cu șir scurt de date.

Determinarea valorilor debitelor medii lunare minime anuale și medii zilnice minime anuale la stațiile hidrometrice de pe râul Bârzava, al cărui regim hidrologic natural este modificat de aportul de apă provenit din bazinele hidrografice Timiș și Nera s-a făcut fără a ține seama de acest aport precum și de acumulările și folosințele existente.

Analiza statistică a seriilor de debite medii lunare minime anuale și din perioada VI-VIII s-a realizat cu ajutorul opțiunii "Data Analysis" din Excel.

Rezultatele obținute prin prelucrarea statistică unitară sunt redată în anexa 2, tabelele 17 și 18.

Deoarece asigurările pentru care sunt necesare debitele minime sunt în mod curent cele de 80 - 97%, curbele empirice au fost utilizate în mod direct.

2. Cu ajutorul debitelor specifice determinate la stațiile hidrometrice, au fost întocmite relațiile de sinteză bazinale de tipul:

$$q_{\min(p\%)} = f(H_{\text{med}})$$

unde: q - debitul minim specific de diverse asigurări (l/s/km²)
 H_{med} - altitudinea medie (m);

pentru:

- debitele specifice medii lunare minime anuale de asigurare 80% și 95%;
- debitele specifice medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII de asigurare 80% și 95%;
- debitele specifice medii zilnice minime anuale de asigurare 80% și 95%;
- debitele specifice medii zilnice minime anuale din perioada VI-VIII de asigurare 80% și 95%.

Reprezentarea sub formă grafică a relațiilor de sinteză de tipul $q_{\text{med.lunar min.}} = f(H_{\text{med}})$ și $q_{\text{med.zilnic min.}} = f(H_{\text{med}})$, se regăsește în anexa 2, figurile 36-43.

Se observă că, valorile debitelor specifice medii minime se grupează în jurul a trei relații de generalizare, și anume:

- relația I-a, care cuprinde râul Nera și afluenții Dunării;
- relația a II-a, care cuprinde râurile Timiș, Bistra, Pogăniș, Bârzava - cursul superior și Caraș;
- relația a III-a, care cuprinde râurile Bega și Bârzava -cursul mijlociu și inferior.

Din analiza datelor și a graficelor rezultă următoarele:

Debitele specifice medii lunare minime anuale multianuale au valori de la 0,074 l/s/km³ (Moravița pe Moravița) până la 13,8 l/s/km³ (Poiana Mărului pe Șucu). iar, *debitele specifice medii lunare minime anuale multianuale din perioada VI-VIII* au valori de la 0,256 l/s/km² (Moravița pe Moravița) până la 28,7 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu).

Debitele specifice medii lunare minime anuale de asigurare 80% au valori de la 0,00 l/s/km² (Moravița pe Moravița) până la 10,4 l/s/km² (Luncani pe Bega) iar, *debitele specifice medii lunare minime anuale de asigurare 80% din perioada VI-VIII* au valori până la 18,0 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu).

Debitele specifice medii lunare minime anuale de asigurare 95% au valori de la 0,00 l/s/km² (Fârdea pe Hăuzeasca, Surduc pe Gladna, Țerova pe Țerova) până la 7,47 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu) iar, *debitele specifice medii lunare minime anuale de asigurare 95% din perioada VI-VIII* au valori de la până la 10,4 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu).

Debitele specifice medii zilnice minime anuale multianuale au valori de la 0,012 l/s/km³ (Șemlacu Mare pe Moravița) până la 10,5 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu) iar, *debitele medii zilnice minime anuale multianuale din perioada VI-VIII* au valori de la 0,025 l/s/km² (Șemlacu Mare pe Moravița) până la 18,4 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu).

Debitele specifice medii zilnice minime anuale de asigurare 80% au valori de la 0,00 (Moravița) până la 7,50 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu) iar, *debitele specifice medii zilnice minime anuale de asigurare 80% din perioada VI-VIII* au valori de până la 13,0 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu).

Debitele specifice medii zilnice minime anuale de asigurare 95% au valori de până la 5,30 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu) iar, *debitele specifice medii zilnice minime anuale de asigurare 95% din perioada VI-VIII* au valori de până la 9,67 l/s/km² (Poiana Mărului pe Șucu).

Variația teritorială a scurgerii minime este determinată de altitudinea medie a bazinelor hidrografice și exprimă variația teritorială a cantităților de precipitații care determină existența rezervelor de apă subterană ce asigură alimentarea râurilor în perioadele de ape mici.

Valorile ridicate ale debitelor medii minime de pe Bega la stația hidrometrică Luncani se datorează alimentării sporite din zona carstică din bazinul superior. În schimb, Moravița este un râu care seacă. Valorile debitelor medii minime asigurate determinate pentru râul Moravița nu au fost luate în considerare pentru trasarea relațiilor de generalizare.

Relațiile $q_{\text{med.lunar min.}} = f(H_{\text{med}})$ și $q_{\text{med.zilnic min.}} = f(H_{\text{med}})$, vor fi utilizate în practică ținând cont de limitele pentru care sunt valabile cum ar fi posibilitatea existenței fenomenului de secare, existența condițiilor fizico-geografice locale, etc.

Pe baza acestor relații pot fi determinate, atunci când este cazul, valorile debitelor medii minime anuale pentru râurile nestudiate din punct de vedere hidrologic.

În "Monografia hidrologică a râurilor din Banat" (1964), datorită fondului redus de date hidrometrice, studierea scurgerii minime s-a realizat pe baza unei metodici speciale, care a condus la determinarea valorilor caracteristice ale debitelor minime zilnice pe baza debitelor medii lunare minime. Analiza repartiției teritoriale a condus la delimitarea unităților teritoriale caracterizate printr-o anumită individualitate a regimului hidrologic (Monografia hidrologică a râurilor din Banat, 1964).

Comparând repartiția teritorială a debitelor specifice medii zilnice minime anuale cu asigurarea de 97%, determinată pe baza valorilor actuale, cu repartiția teritorială a aceluiași debite, care au fost determinate în 1964, s-a confirmat faptul că acestea își păstrează repartiția teritorială în spațiul hidrografic Banat și, acest fapt este ilustrat în figura 3.7.

3.6. Probleme care rămân deschise pentru cercetarea și aplicarea viitoare a metodelor stocastice

Metodele stocastice prezentate în acest capitol pot fi utilizate în prognoza operativă.

Unele dintre metodele prezentate, cum ar fi *debitele condiționate, debitele medii zilnice multianuale de diverse asigurări*, pot fi folosite la toate stațiile hidrometrice din spațiul hidrografic Banat. În viitor, se va avea în vedere extinderea aplicării acestor metode, debitele condiționate pentru prognoza de lungă durată iar, debitele medii zilnice multianuale de diverse asigurări, pentru cunoașterea regimului de curgere a apei la toate stațiile hidrometrice din spațiul Banat. De asemenea, vor fi analizate probabilitățile de apariție a debitelor medii lunare minime și medii zilnice minime pentru fiecare lună în parte, pentru a cunoaște cele mai defavorabile situații care pot apare, pe tot parcursul anului, în ceea ce privește resursele de apă.



Figura 3.7. Repartiția teritorială a scurgerii specifice medii zilnice minime anuale de asigurare 97%.
(după Monografia hidrologică a râurilor din Banat, 1964), reactualizată prin teză.

CAPITOLUL 4

MODELE PENTRU SIMULAREA DEBITELOR MEDII ZILNICE

Fezabilitatea și succesul sistemului de prognoză depinde de mulți factori. Modelele pot avea o mare acuratețe, dar ele nu pot da o prognoză efectivă fără o bază de date bine organizată și fără rezultate interpretabile. Interacțiunea dintre procesele de gestiune a bazei de date, calcule și prezentarea rezultatelor trebuie să fie dinamică.

În multe țări s-au desfășurat programe de cercetare care au avut ca scop tehnicile de prognoză hidrologică. Experiența a arătat că eficiența acestora depinde nu numai de tehnica utilizată ci și de baza de date și de procedura de calibrare și, aceste două aspecte pot deveni factori restrictivi. Testarea modelelor este o muncă laborioasă și, de cele mai multe ori, este destul de îndelungată pentru a obține cea mai bună acuratețe a rezultatelor modelelor.

Este imposibil să fie utilizată o schemă de prognoză valabilă pentru toate situațiile întâlnite în practică. Problema care apare în cazul celor mai multe modele de prognoză și sisteme de prognoză completă este că acestea sunt "dependente de caz" adică, sunt create pentru anumite râuri sau anumite situații. În acest caz, adaptarea sistemului pentru o altă situație poate necesita mult timp și modificări de software complicate.

Nu este ușoară evaluarea și interpretarea seriilor de numere care reprezintă ieșirile diverselor programe de prognoză. Prognoza poate avea multe incertitudini care au nevoie de interpretare extensivă și evaluarea rezultatelor.

4.1. Sistemul de prognoză a scurgerii râului (PROGSYS)

Sistemul de prognoză PROGSYS a fost creat de Departamentul de Hidrologie al Universității Uppsala - Suedia (Iritz, 1989) și este un sistem complet de prognoză pentru râuri. Sistemul PROGSYS permite desenarea schematizată a rețelei hidrografice a râului ales, stochează baza de date pentru fiecare stație hidrometrică considerată, alege șirul de date necesar pentru un număr de opt modele și dă rezultate ce trebuie analizate de prognozist. Funcțiile sunt prezentate grafic.

Sistemul PROGSYS oferă următoarele facilități necesare elaborării prognozei hidrologice, și anume:

- generalizarea;
- desenarea rețelei hidrografice;
- un program de control interactiv direcționat prin utilizarea instrucțiunilor și facilităților de ajutor;
- suport grafic pentru operare;
- performanță în manevrarea internă a bazelor de date;

- calcularea și interpretarea rezultatelor obținute prin aplicarea modelelor de prognoză.

Sistemul PROGSYS este potrivit atât pentru munca de cercetare cât și pentru prognoza hidrologică operativă sau extraordinară.

Programul permite alegerea rapidă a schemei de calcul pentru orice bazin hidrografic sau, numai pentru o parte din acesta.

4.1.1. Structura și funcțiile sistemului de prognoză PROGSYS

Structura programului este prezentată în diagrama bloc din figura 4.1.

Programul dispune de o schemă de prognoză care necesită o bază de date bine organizată și un set de modele care simulează debitele medii zilnice.

În acest program, funcțiile de prelucrare a datelor și cele de prognoză sunt grupate în două categorii, și anume:

- setarea – care reprezintă alegerea unei noi scheme de calcul sau modificarea uneia existente și introducerea datelor în baza de date și,

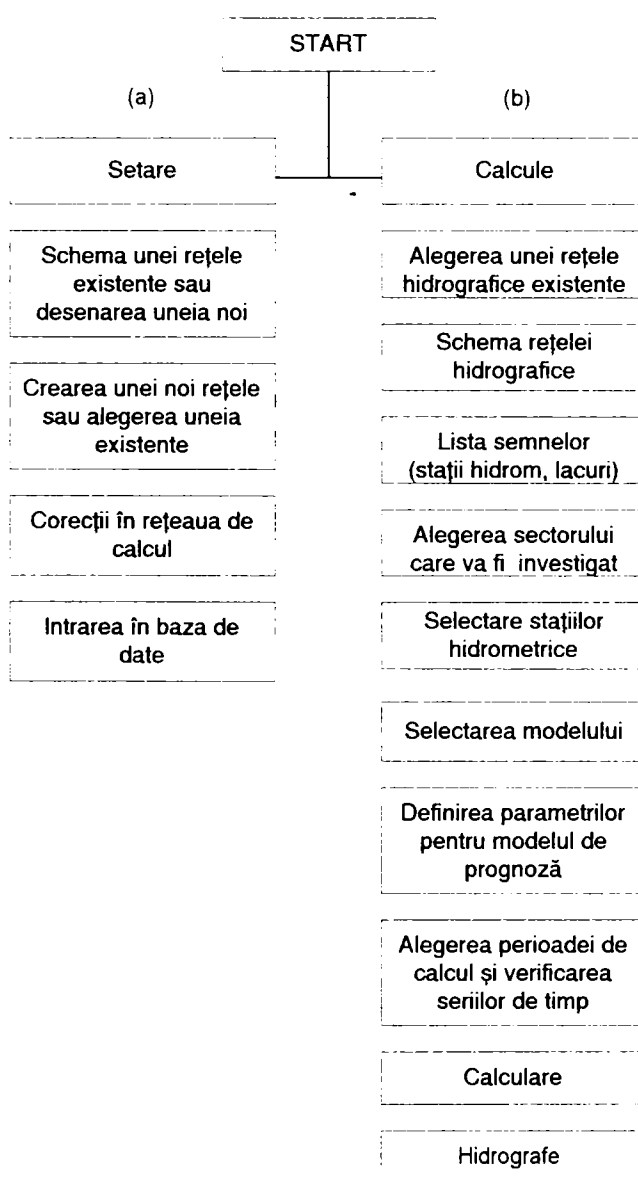


Figura 4.1. Schema sistemului de prognoză a debitelor zilnice "PROGSYS".

b) prelucrarea – calcularea datelor, a parametrilor modelelor și obținerea rezultatelor.

Opțiunea (a) este aleasă atunci când se creează o nouă rețea hidrografică sau când se modifică o rețea existentă

În cazul opțiunii (b) – calcule- poate fi aleasă una dintre rețelele hidrografice pentru care vor fi efectuate calculele (figura 4.2 (a)). Apoi, sunt selectate stațiile hidrometrice în funcție de care se vor efectua calculele. Aceste stații hidrometrice sunt prezentate separat (figura 4.2 (b)). Pe ecran pot fi selectate atât stațiile hidrometrice care dau datele de intrare cât și stațiile hidrometrice pentru care se dorește prognoza.

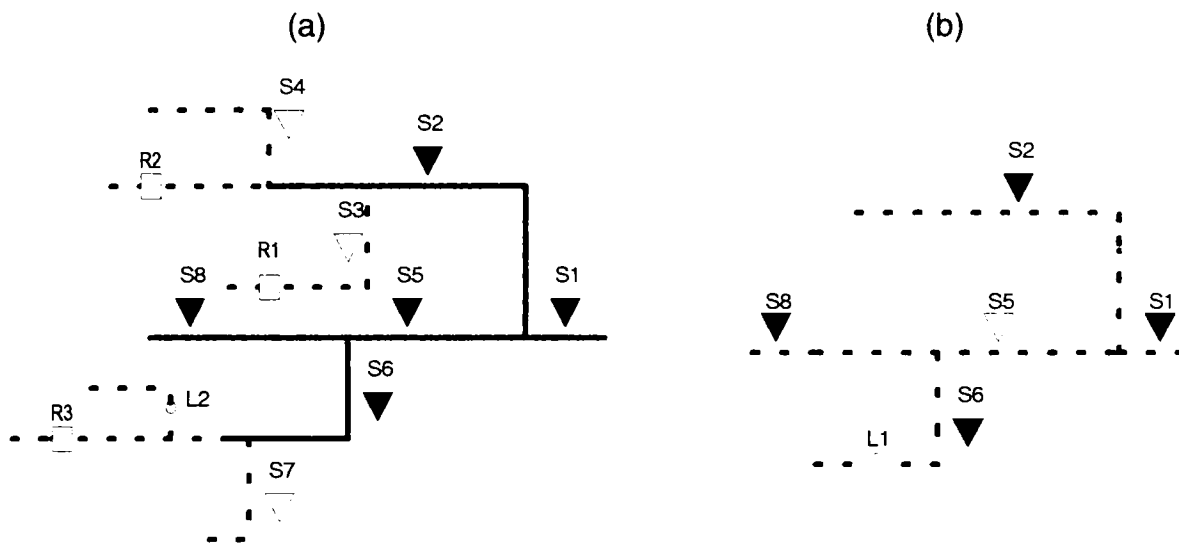


Figura 4.2. Schema rețelei hidrografice pentru întregul sistem (a) și pentru sectorul investigat (b)

Programul amplasează stațiile hidrometrice selectate din amonte spre aval automat.

Ecranul următor prezintă informații despre datele disponibile pentru fiecare din stațiile hidrometrice selectate și de asemenea, permite alegerea modelului care urmează a fi utilizat pentru calibrare sau prognoză (figura 4.3).

Dalboșeț										Sasca										Naidăș									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1900	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1910	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1920	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1930	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1940	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1950	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1960	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1970	---	s	s	s	s	s	s	s	s	---	s	s	s	s	s	s	s	s	s	---	s	s	s	s	s	s	s	s	s
1980	s	s	s	s	s	s	s	---	---	s	s	s	s	s	s	s	---	---	s	s	s	s	s	s	s	---	---		
1990	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

MODELE DISPONIBILE:

- | | |
|------------------|-------------|
| 1. ARMA | 5. NONLIN 1 |
| 2. DLCM | 6. NONLIN 2 |
| 3. REACH ROUTINE | 7. NONLIN 3 |
| 4. LINREG | 8. NONLIN 4 |

Figura 4.3. Modul de prezentare al stațiilor hidrometrice selectate, baza de date disponibilă și modelele de prognoză.

Parametrii modelelor pot fi estimați direct, în timpul rulării modelelor sau pot fi calibrați anterior, pe baza observațiilor existente.

Perioada de anticipare a prognozei poate fi aleasă în momentul în care se începe rularea modelului.

Rezultatele calculelor sunt prezentate sub formă de hidrograf de debite medii zilnice.

Pe parcursul întregii proceduri interactive, un număr de subrutine controlează operațiile și verifică erorile. Mesajele de eroare afișate ajută la rezolvarea problemelor apărute.

Selecția grafică a stațiilor hidrometrice

Una dintre problemele care apar în cazul prognozei cu modelele incluse în sistemul PROGSYS este alegerea stațiilor hidrometrice. Scopul este de a obține o prognoză hidrologică care să fie de mare acuratețe și cu anticipare de lungă durată. Urmărirea unuia dintre aceste scopuri înseamnă îndepărtarea de celălalt. În practică se caută un compromis cum ar fi selectarea acelor stații care pot da cel mai lung interval de anticipare și cea mai mare siguranță. Pe de altă parte, trebuie alese acele stații hidrometrice care au cea mai mare influență asupra regimului de curgere al apei pentru stația hidrometrică la care se dorește prognoza hidrologică. Este dificilă obținerea datelor pentru toate stațiile hidrometrice situate în amonte și, pe de altă parte, stabilitatea numerică a modelului poate fi afectată în mod negativ prin creșterea numărului de variabile.

Schema de simulare începe cu prima stație hidrometrică din amonte situată pe cursul principal și, continuă succesiv până la ultima stație hidrometrică din aval. Secvența afluenților este similară cu excepția punctelor de început și de sfârșit a confluențelor (figura 4.4).

Râul principal	Afluenții	
	De ordinul I	De ordinul II
Punct de începere am.	Confluența 24 Punctul din amonte Acumularea 3	
Stația hidrometrică 8	Confluența 32	Confluența 32 Punctul din amonte Acumularea 2 Confluența 32
Confluența 24	Confluența 12	Confluența 12 Punctul din amonte Stația hidrometrică 7 Confluența 12
Stația hidrometrică 5	Lacul 1 Stația hidrometrică 6 Confluența 24	
Confluența 64		
Stația hidrometrică 1 Punct sfârșit aval		

Figura 4.4. Schema de generare a rețelei hidrografice (după Iritz, 1990)

4.1.2. Modelele conceptuale și stocastice incluse în sistemul de prognoză PROGSYS

Sistemul de prognoză pentru râuri (PROGSYS) este proiectat atât pentru cercetare cât și pentru aplicare imediată în prognoza operativă. De aceea nu există reguli stricte care să condiționeze utilizatorul ca indiferent de cerințe și circumstanțe să folosească numai un anumit model. Din această cauză, PROGSYS devine un program universal prin includerea mai multor tipuri de modele.

Marea responsabilitate pentru prognoza debitelor cere ca modelele să fie sigure, în timp ce scopul operațional cere modele cu proceduri de adaptare relativ ușoară. În practică, numărul parametrilor trebuie să fie limitat, iar calibrarea lor nu trebuie să fie complicată. Aceste considerații tehnice presupun ca datele de intrare să nu depășească observațiile hidrometrice standard.

Modelele incluse fac parte din următoarele tipuri:

- conceptuale – derivate din legile care guvernează mișcarea apei în albi și canale (ex. propagarea pe sectoare de râu -REACH- și cascada liniar discretă-DLCM) și
- stocastice – bazate pe conceptele statistice (ex. autocorelația -ARMA- și regresia multiplă - LINREG și NONLIN).

Conceptele de bază ale acestor modele sunt descrise în rândurile care urmează.

Modelul “cascadă liniară discretă” DLCM

Aproximația de ordinul 1 a ecuațiilor Saint Venant, care descrie curgerea nepermanentă gradual variată a apei în albi deschise ca o cascadă de rezervoare care au același coeficient de stocare K (definită de Nash în 1957), a fost derivată în formă discretă de către Szolosi – Nagy în 1982. Astfel, s-a demonstrat că dacă sistemul continuu intrare-ieșire este eșalonat pe intervale de timp Δt , atunci sistemul poate fi parțial descris printr-un model de stare discretizat.

$$z(t + \Delta t) = \psi(\Delta t) z(t) + \Gamma(\Delta t) u(t) \quad (4.1.1)$$

$$y(t) = H z(t) \quad (4.1.2)$$

unde: $u(t)$ - reprezintă intrarea într-o cascadă formată din n rezervoare liniare elementare;

$z(t)$ - este vectorul de stare care constă din stocarea elementelor liniare;

$y(t)$ - este curgerea din cascada liniară (ieșirea).

Sistemul dinamic al cascadei liniare este caracterizat prin tripletul matricial $\Sigma_D = (\psi \bullet \Gamma \bullet H)$.

Matricea:

$$[\psi(\Delta t)]_{i,j} = \begin{cases} \frac{(k \Delta t)^{i-j}}{(i-j)!} e^{-k\Delta t} & i \geq j \\ 0 & i < j \end{cases} \quad (4.1.3)$$

este matricea tranziției de stare:

$$[\Gamma(\Delta t)]_i = \left(1 - e^{-k\Delta t} \sum_{j=0}^{i-1} \frac{(k\Delta t)^j}{j!} \right) \frac{1}{k} \quad (4.1.4)$$

$$H = \{0, 0, \dots, K\} \quad (4.1.5)$$

unde: $k=1/K$; K reprezintă timpul de deplasare.

Coeficienții K și n sunt parametrii modulului de calcul și vor fi optimizați pe baza observațiilor anterioare.

Modelul DLDM utilizează parametrii optimizați indirect în cursul calibrării și care sunt stocați în program. Optimizarea parametrilor a fost făcută prin metoda Rosenbrok (1960). Parametrii sunt stabili și robusți și nu este necesară înlocuirea lor în mod frecvent (Iritz ș.a., 1984).

Modelul DLDM dă rezultate bune atunci când timpul de anticipare al prognozei este mai mare.

Modelul de propagare pe sectoare de râu "REACH"

Modelul se bazează pe principiul cascadei de rezervoare cu deosebirea că parametrii modelului sunt raportați direct la caracteristicile fizice ale patului albiei și la regimul de curgere.

Utilizatorul împarte sectorul de râu ales în două sau patru elemente de calcul (tronsoane) cu lungime egală iar curgerea este translatată prin fiecare tronson.

Algoritmul se bazează pe o soluție tehnică semi-implicită din care rezultă o soluție explicită pentru dh/dt :

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{w \frac{\partial Q}{\partial h} + s A} \quad (4.1.6)$$

- unde: Q_{in} - debitele de intrare în elementul de calcul;
 Q_{out} - debitele în secțiunea de ieșire (stația hidrometrică pentru care se elaborează prognoza);
 w - ponderea;
 h - nivelul apei;
 s - lungimea tronsonului de calcul;
 A - aria secțiunii transversale.

Curba debitului este exprimată prin :

$$Q = a + b h + c h^2 + g h^{ex} \quad (4.1.7)$$

iar aria secțiunii transversale:

$$A = \alpha + \beta h + \gamma h^2 \quad (4.1.8)$$

unde: a, b, c, ex și α, β, γ sunt coeficienți definiți de șirurile de date hidrometrice.

Ieșirea dintr-un sector de calcul devine intrare pentru următorul sector de calcul, situat în aval. Rularea curgerii prin fiecare sector conduce la obținerea hidrografului în

ultima secțiune din aval (secțiunea stației hidrometrice pentru care se elaborează prognoza).

În cazul aplicării modelului este necesară determinarea constantelor ecuațiilor (4.1.7) și (4.1.8). Ecuația (4.1.7) a fost ajustată la curba de debite măsurate prin metoda celor mai mici pătrate Gauss-Newton-Marquard de către Bengtsson în 1989 (Iritz, 1990). Acest lucru a fost făcut sub forma ecuației Manning:

$$a = b = c = 0$$

și (4.1.9)

$$Q = B \frac{1}{n} S^{0.5} h^{1.67}$$

unde: B - lățimea albiei râului;
 S - gradientul pantei;
 n - coeficientul de rugozitate Manning;
 h - adâncimea medie a apei.

În ecuația (4.1.9), B poate fi exprimat prin aceeași relație ca și A (aria secțiunii transversale).

Modelul de prognoză de tip "ARMA"

Modelul de prognoză de tip "ARMA" (autocorelare și medie glisantă) a fost creat de Wittenmark în 1974 (Iritz, 1990).

Modelul se bazează pe cel mai pur algoritm stocastic adaptabil și nu necesită parametri de estimare stabiliți anterior. După primirea ultimelor măsurători din teren, parametri sunt înlocuiți recursiv la intervale de timp discretizate și astfel este obținută prognoza.

Etapele recursive ale algoritmului efectuat pentru fiecare interval de timp, t , au fost definite de Ambrus în 1980 (Iritz, 1990):

Prognoza

Valoarea prognozată y , la timpul $(t + k)$ este $y(t + k | t)$ unde $k(>0)$ denotă timpul pentru care prognoza este dată în avans, condiția fiind că măsurătorile, $y(t)$, sunt valabile până la timpul t . Prognoza se face utilizând parametri stabiliți anterior și variabilele măsurate.

Astfel:

$$\hat{y}(t + k | t) = x^T(t) \hat{a}(t) \tag{4.1.10}$$

unde:

$$x^T(t) = \left[y(t + k - 1 | t - 1), \dots, \hat{y}(t + k - p | t - p), u(t), \dots, u(t - q + 1), \dots, \mu(t), \dots, \mu(t - s + 1) \right]$$

este vectorul variabilelor, și:

$$a^T = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_s]$$

este vectorul parametrilor, unde:

$u(t)$ - seria de timp a observațiilor de la stația din amonte;

$\mu(t)$ - seria erorilor de prognoză:

$$\mu(t) = y(t) - \hat{y}(t-k); \quad (4.1.11)$$

$p, q, \text{ și } s$ - ordinea în care operatorii polinomiali vor fi aleși în timpul procedurii de adaptare a modelului;

$\hat{a}(t)$ - estimarea vectorului parametru a^T la intervalul de timp t .

Estimarea este făcută prin metoda recursivă a celor mai mici pătrate. Pe baza informațiilor de ultimă oră referitoare la evoluția debitelor, matricea de greutate și vectorul parametru sunt înlocuiți recursiv la fiecare interval de timp.

Estimarea recursivă a matricei de greutate

Matricea P este matricea covariantă a erorilor rezultate din estimarea parametrilor divizată prin varianța zgomotului alb și este definită ca:

$$P = \frac{1}{\delta_{\mu}^2} E \left\{ \left(a - \hat{a} \right) \left(a - \hat{a} \right)^T \right\} \quad (4.1.12)$$

Poate fi ușor demonstrat faptul că matricea P este liniar proporțională cu eroarea prognozei [conform Kendall & Stuart, 1977 (Iritz, 1990)]. Matricea de greutate a metodei celor mai mici pătrate pentru estimarea a parametrilor este de fapt o matrice convergentă dacă metoda recursivă a celor mai mici pătrate este considerată ca un algoritm gradient. Înlocuirea matricei P este făcută, conform lui Young (Iritz, 1990), astfel:

$$P(t+1) = P(t) - P(t) x(t) \left[1 + x^T(t) P(t) x(t) \right]^{-1} x^T(t) P(t) \quad (4.1.13)$$

Termenul din paranteză este un scalar și de aceea nu este necesar ca matricea să fie inversată.

Înlocuirea vectorului parametru

Înlocuirea vectorului parametru \hat{a} se bazează pe eroarea de prognoză:

$$\hat{a}(t+1) = \hat{a}(t) - P(t) x(t) \left[1 + x^T(t) P(t) x(t) \right]^{-1} \mu(t) \quad (4.1.14)$$

Următoarea prognoză se calculează, din nou, cu ecuația (4.1.9) în care au fost înlocuiți parametrii. Aceste etape recursive sunt repetate pe parcursul calculului de prognoză.

Nu există o regulă generală pentru alegerea dimensiunilor modelului. Dimensiunea optimă pentru diferitele sectoare va fi determinată prin *alegere și eroare*.

Prin aplicarea modelului într-un număr apreciabil de cazuri a rezultat că cea mai bună prognoză a fost obținută prin trei autoregresive, trei regresii încrucișate și un parametru de eroare.

Regresiile multiple (LINREG și NONLIN)

Regresia liniară multiplă (LINREG) se aplică la problemele în care înregistrările au fost făcute în funcție de variabila dependentă, y , și alte câteva variabile independente, u_1, u_2, \dots , și ale căror obiective necesită investigarea relației dintre y și u_1, u_2, \dots .

Pentru o astfel de înregistrare, relația matematică specifică este:

$$y = a + b_1 u_1 + b_2 u_2 + \dots + b_k u_k \quad (4.1.15)$$

unde: a, b_1, b_2, \dots, b_k sunt constante.

Astfel, se presupune că y se află în raport liniar cu toate variabilele independente și fiecare variabilă independentă are un efect suplimentar asupra lui y [(conform celor spuse de Holder în 1985, (Iritz, 1990)]. Nu este greu de observat (figura 4.2) că debitele de la stațiile hidrometrice din amonte (S_2, S_5, S_6) influențează debitul de la stația hidrometrică din aval (S_1). Efectul lor comun este descris de ecuația (4.1.14).

Ecuația (4.1.14) a fost utilizată pentru prognoze de scurtă durată. Prin aplicarea ecuației în cazul prognozei zilnice pot fi obținute rezultate bune, în special când se face înlocuirea parametrilor. În esență, metoda permite găsirea corelației dintre curgerea de la stațiile hidrometrice situate în amonte, $u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)$ și curgerea care va apărea, cu o întârziere Δt cauzată de timpul de deplasare, la stația hidrometrică pentru care se elaborează prognoza, $y(t + \Delta t)$:

$$y(t + \Delta t) = a + b_1 u_1(t) + b_2 u_2(t) + \dots + b_k u_k(t) \quad (4.1.16)$$

Constantele sunt definite pe baza observațiilor anterioare prin metoda de estimare a celor mai mici pătrate.

LINREG are două opțiuni: în prima etapă, constantele ecuației de regresie sunt necunoscute. Ele vor fi estimate pe baza șirurilor de date înregistrate anterior momentului pentru care se va elabora prognoza și apoi, pe baza lor se elaborează prognoza. În etapa a doua, constantele estimate anterior sunt stocate în program și utilizate.

Parametrii și dimensiunile modelului definiți mai sus, sunt stocați dar pot fi modificați temporar (în cursul rulării curente) sau pot fi înlocuiți în baza de date prin valori noi.

Modelul LINREG dă posibilitatea de a elabora prognoza prin parametrii înlocuiți parțial și prin creșterea timpului de anticipare. În acest caz modelul este rulat pentru perioade scurte de timp (nu pentru întregul an).

Sistemul de prognoză PROGSYS include și metoda Gauss-Newton-Marquard (NONLIN) care permite estimarea parametrilor necesari funcțiilor de prognoză neliniară. NONLIN permite utilizatorului să aleagă locul stației hidrometrice din amonte în cadrul funcției de prognoză astfel:

$$y(t + \Delta t) = a + b_1 u_1(t) + b_2 u_2^2(y) + b_3 u_3^3(t) \quad (4.1.17)$$

sau

$$y(t + \Delta t) = a + b_1 u_3(t) + b_2 u_1^2(y) + b_3 u_2^3(t) \quad (4.1.18)$$

etc.

Datele necesare aplicării acestor modele sunt debitele zilnice.

Parametrii care trebuie optimizați, variază în funcție de modelul ales pentru simularea debitelor. Optimizarea nu se face pentru perioade de timp mai lungi de un an, hidrologul fiind cel care decide care sunt parametrii optimi astfel încât prognoza obținută să fie eficientă.

4.2 Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de perturbare liniară LPM (Linear Perturbation Model)

Versiunea programului LPM a fost realizată în 1993 de către Zhang Jian-Yun (de la Institutul de Cercetări Hidrologice și Resurse de apă din Nanjing, China) sub îndrumarea profesorilor Kieran O'Connor și G. C. Liang de la Colegiul Universitar Galway din Irlanda.

Programul LPM (Linear Perturbation Model – model de perturbare liniară) include toate funcțiile și toate prelucrările necesare pentru simularea hidrologică și pentru prognoza operativă în timp real, începând cu datele de intrare și prelucrarea acestora până la calibrarea parametrilor modelului utilizând metode de optimizare uzuale și eficiente, de la prognoza în timp real cu un algoritm de reactualizare adecvat până la obținerea rezultatelor sub formă grafică și tabelară.

Structura aplicației LPM este prezentată în figura 4.5.

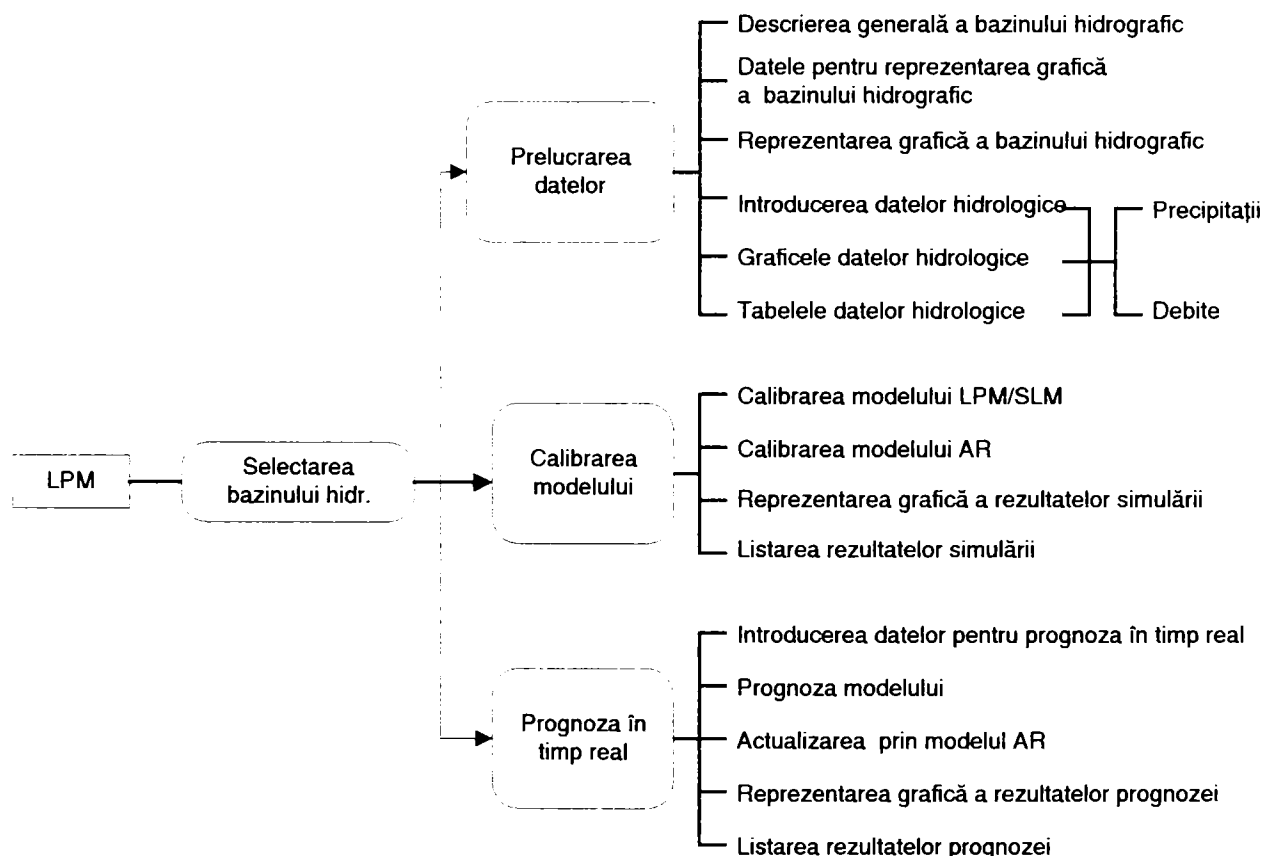


Figura 4.5. Structura aplicației LPM

Programele au o structură de meniuri multiple care permit alegerea fiecărei operațiuni.

Pachetul de programe poate fi aplicat cu ușurință pentru orice bazin hidrografic.

Limitele aplicației:

- Sunt necesare datele zilnice

- Numărul maxim de intrări considerate este de 4 și, numărul datelor care pot fi introduse este de 7500.

Prezentarea modelului LPM

Modelul de perturbare liniară (LPM) a fost propus inițial de către Nash și Barsi în 1983 (O'Connor, 1995; Zhang, O'Connor, Liang, 1993). Acest model, care utilizează informațiile conținute în variația sezonieră observată a hidrografului unitar pentru a reduce dependența de liniaritate, se bazează pe următoarele două presupuneri:

- Dacă, într-un an, fiecare funcție de intrare pentru fiecare zi a anului este egală cu valoarea prognozată pentru aceea dată, atunci și ieșirea va fi egală cu valoarea prognozată pentru data respectivă. Spre exemplu; dacă valorile prognozate ale precipitației și scurgerii din fiecare zi "d" sunt notate cu x_d și y_d , atunci intrarea x_d produce ieșirea y_d sau, altfel spus $x_d \rightarrow y_d$.
- Perturbația (sau abaterea) de la valoarea de intrare prognozată (x_d) dintr-o anumită dată, se află în raport liniar cu perturbația corespondentă a valorii de ieșire prognozate (ex.: $(x-x_d) \rightarrow (y-y_d)$).

Într-un bazin hidrografic cu mari variații sezoniere ale scurgerii, scăderea mediei sezoniere din seria originală va influența dependența liniară, astfel încât, presupunerea unei relații liniare între abaterile respective va fi mai puțin restrictivă decât aceeași presupunere referitoare la valorile de intrare și ieșire reale. Pentru un bazin hidrografic în care variațiile sezoniere ale scurgerii nu sunt mari sau, pentru care relația dintre totalul intrărilor și totalul ieșirilor este aproape liniară, este de așteptat ca modelul LPM să aibă aceeași eficiență ca și modelul liniar simplu (SLM). În figura 4.6 este prezentată schema modelului LPM (cazul cu două intrări).

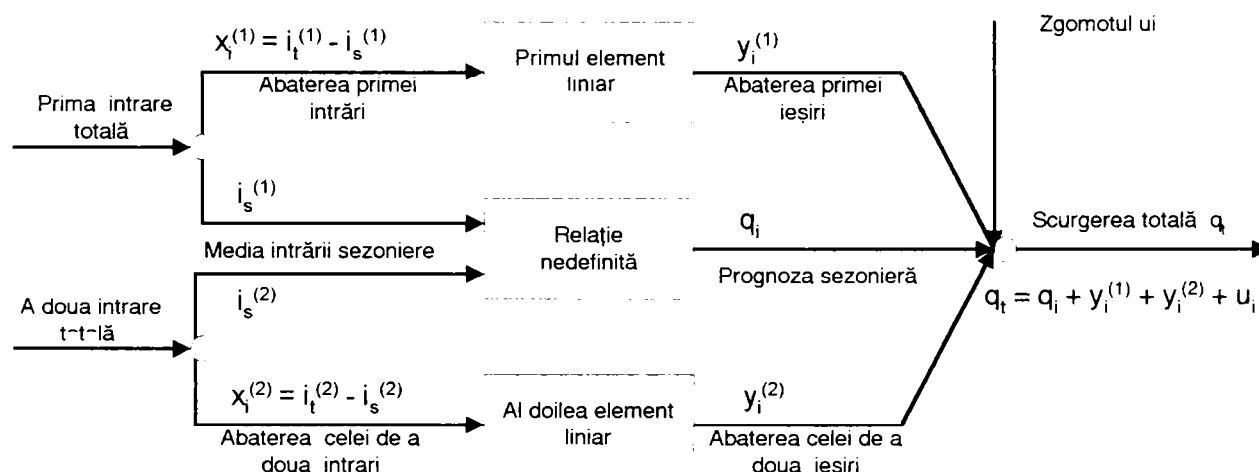


Figura. 4.6. Reprezentarea schematică a structurii modelului LPM

Pentru o singură serie de intrări, modelul LPM poate fi descris prin ecuația:

$$Q_i = \sum_{j=1}^m R_{i-j+1} h_j + e_i \quad i=1, 2, \dots, n \quad (4.2.1)$$

unde:

$$Q_i = y_i - y_d$$

$$R_i = x_r - x_d \quad d=1, 2, \dots, 365$$

$$h_i \quad - \text{răspunsul la impuls}$$

- x_i - seria de intrări; x_d - abaterea de la valoarea de intrare prognozată
- y_i - seria de ieșiri; y_d - abaterea de la valoarea de ieșire prognozată;
- e_i - corecția erorii

În cazul *intrări multiple/ieșire singulară*, modelul LPM poate fi descris prin ecuația definită de către Liang și Nash în 1988 și, Kachroo și alții în 1992 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993):

$$Q_i = \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{m(j)} h_k^{(j)} R_{i+1-k}^{(j)} + u_i \quad (4.2.2)$$

pentru $i = 1, 2, \dots, L$ și unde:

- n_i - numărul total al seriilor de intrări,
- $m(j)$ - lungimea memoriei sistemului corespunzătoare celei de a j serie de intrări;
- $R_i^{(j)} = x_i^{(j)} - x_d^{(j)}$ - abaterea seriei j ;
- $h^{(j)}$ - ordonatele răspunsului pulsatoriu ale celei de a j serie de intrări;
- u - termenul de împrăștiere;
- L - lungimea seriilor de ieșiri.

În aplicarea modelului LPM, pentru un număr de " n " ani ca date de calibrare, valoarea sezonieră medie (x_d) poate fi obținută pentru fiecare zi " d " prin calcularea mediei zilnice multianuale ($x_{d,r}$) a anilor considerați [conform celor afirmate de Garrick și alții în 1978 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993)], astfel:

$$x_d = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n x_{d,r} \quad (4.2.3)$$

unde r reprezintă numărul de ani.

În mod normal, valoarea medie x_d calculată prin această metodă variază neomogen față de valorile reale produse din ziua " d " a fiecărui an considerat datorită eșantionului redus de date dar, se presupune că populația valorilor medii sezoniere variază omogen, reflectând astfel efectele elementelor climatice, care variază omogen și continuu. În acest program, pentru omogenizarea seriilor de date sunt utilizate seriile Fourier (Zhang, O'Connor, Liang, 1993).

Prin serii Fourier, sau analiză armonică, pot fi omogenizate seturi de N valori discrete, x_1, x_2, \dots, x_N , utilizând următoarea serie trigonometrică:

$$x_k = \bar{x} + \sum_{j=1}^h \left[a_j \cos\left(\frac{2\pi jk}{N}\right) + b_j \sin\left(\frac{2\pi jk}{N}\right) \right] \quad (4.2.4)$$

- unde: \bar{x} - valoarea medie a datelor;
- a_j, b_j - coeficienți Fourier;
- h - numărul total de armonici care este $N/2$ sau $(N-1)/2$ și depinde dacă N este un număr par sau impar;
- N - numărul de valori a seriei considerate.

Valorile coeficienților a_0, a_j și b_j pot fi calculate din următoarele ecuații (Zhang, O'Connor, Liang, 1993):

$$a_0 = x = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N x_d \quad (4.2.5)$$

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{d=1}^N x_d \cos\left(\frac{2\pi jd}{N}\right) \quad (4.2.6)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{d=1}^N x_d \sin\left(\frac{2\pi jd}{N}\right) \quad (4.2.7)$$

Având determinate componentele sezoniere ale debitelor de intrare și de ieșire din bazinul hidrografic considerat, prin scăderea componentei sezoniere din totalul seriilor de observații poate fi obținută perturbarea (abaterea) și, modelul poate fi calibrat prin metoda celor mai mici pătrate propusă de Liang și Nash în 1988 (Liang, 1991; Zhang, O'Connor, Liang, 1993).

Calibrarea modelului LPM

În cazul în care nu există componentă sezonieră, modelul de perturbare liniară este simplificat la modelul liniar simplu (SLM).

Fie că se alege LPM sau SLM, timpul de calibrare variază în funcție de numărul de intrări și de lungimea memoriei fiecărei intrări. Atunci când calibrarea este terminată, dacă se dorește revizuirea parametrilor modelului (lungimea memoriei sau, în cazul modelului LPM, numărul de armonici) se poate face acest lucru în funcție de graficele și informațiile prezentate secvențial pe ecranul calculatorului și care reprezintă performanța modelului.

Pentru modelul LPM, atunci când este aleasă opțiunea *ajustare parametrii* la început vor fi prezentate unele informații despre media sezonieră a fiecărei intrări iar, pentru scurgerea rezultată acestea vor fi afișate secvențial. În tabelele de sub grafice sunt listate valorile lui a_0 care reprezintă media seriei de date zilnice din cele 365 de zile, de exemplu pentru debitul de ieșire :

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n y_d \quad (4.2.8)$$

$a(j), b(j)$ sunt coeficienții seriei Fourier calculați pe baza următoarelor ecuații (conform ec. (4.2.6) și (4.2.7)):

$$a_j = \frac{2}{n} \sum_{d=1}^n y_d \cos\left(\frac{2\pi jd}{n}\right) \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (4.2.9)$$

$$b_j = \frac{2}{n} \sum_{d=1}^n y_d \sin\left(\frac{2\pi jd}{n}\right) \quad J = 1, 2, \dots, p \quad (4.2.10)$$

Prin rularea programului de calcul se obține un tabel centralizator în care: mh reprezintă numărul de armonici implicit sau selectat de către utilizator iar, $C\%$ este varianța fiecărei armonici calculată cu relația:

$$C_j = \frac{(a_j^2 + b_j^2)/2}{Var_0} * 100(\%) \quad (4.2.11)$$

unde:

$$Var_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [y_d(j) - a_0]^2 \quad (4.2.12)$$

reprezintă varianța inițială a seriei debitelor de ieșire y_d de la media sa a_0 . Astfel, C_j reprezintă importanța relativă a fiecărei componente armonice. Expresii similare sunt obținute pentru seriile debitelor de intrare și ale precipitației.

Pentru a reprezenta exact în fiecare punct funcția y_d ar fi necesar un număr de 182 de armonici dar, omogenitatea acestora este realizată prin folosirea primelor armonici, de regulă primele patru sau cinci.

După acest pas, se trece la calibrarea hidrografelor unitare aferente fiecărei intrări. În mod normal, lungimea memoriei pentru scurgerea din amonte este mai scurtă decât memoria suprafeței de recepție a ploii medii. Revizuirea lungimii memoriei se va face în conformitate cu forma hidrografului unitar. Fluctuațiile zonei de la finalul hidrografului reprezintă răspunsul la zgomot. Valorile negative ale hidrografului unitar se datorează metodei celor mai mici pătrate care este folosită în calibrare.

Factorul de amplificare (index volumetric), care este adimensional, reprezintă raportul dintre volumul scurgerii de ieșire și volumul scurgerii de intrare și, poate fi exprimat prin relația:

$$(GF) = \sum_{j=1}^m h_j \quad (4.2.13)$$

În cazul în care volumul scurgerii nu este conservat, factorul de amplificare poate să fie mai mare sau mai mic decât unitatea.

Având revizuite numărul de armonici și lungimile memoriei pentru fiecare serie de intrare precum și pentru seria de ieșire, modelul poate fi calibrat din nou cu aceste valori.

În cazul modelului SLM, nu există componenta medie sezonieră. De aceea nu se va face decât calibrarea hidrografelor unitare pentru fiecare intrare și, dacă este cazul, poate fi revizuită lungimea memoriei.

Fiecare prognoză este subiectul erorilor chiar și atunci când este utilizat un model fizic. Prin definiție, eroarea de prognoză reprezintă diferența dintre valoarea variabilei care a fost prognozată și valoarea observată ulterior. Pentru a reduce erorile de prognoză, în acest pachet de programe, modelul autoregresiv AR este folosit ca o procedură pentru reactualizarea variabilelor de ieșire din model și pentru corectarea prognozei.

Modelul autoregresiv AR este o procedură care încearcă să compenseze erorile sistematice din modelul original de intrare-ieșire prin determinarea corecției modelului de prognoză individual (care nu a fost reactualizat) bazat pe cele mai recente erori de prognoză. Având modelul individual de prognoză, prin calcularea deviației valorii prognozate de la valoarea observată corespondentă în intervalul de calibrare, se poate obține seria erorilor de prognoză, așa numita serie reziduală, x_n . Presupunând că seria reziduală este un proces stocastic staționar, modelul autoregresiv de ordinul p notat prin $AR(p)$, poate fi definit ca:

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + e_t \quad (4.2.14)$$

pentru $t = p, \dots, n$, și unde, e_t este un proces discret de zgomot alb al mediei zero și varianței constante σ_a^2 .

Modelul AR poate fi exprimat și în formă matriceală, astfel:

$$Y = X\Phi + E \quad (4.2.15)$$

unde:

$$Y = \begin{bmatrix} x_p \\ x_{p+1} \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4.2.16)$$

Pentru orice ordin (p) ales, vectorul coeficient Φ poate fi identificat prin metoda celor mai mici pătrate:

$$\Phi = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (4.2.17)$$

utilizând datele calibrate, vectorul coeficient fiind folosit ulterior în ecuația (4.2.14) ca și coeficient constant în procedura de reactualizare a prognozei.

Atunci când vectorul coeficient Φ a fost identificat, corecția prognozei se face prin înlocuirea valorilor în ecuația (4.2.14). Cele mai recente valori observate ale seriei de erori (x_{t-1}, \dots, x_{t-p}) sunt înlocuite în membrul drept al ecuației iar valoarea zgomotului alb e_t este considerată zero. Rezultă:

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} \quad (4.2.18)$$

Dacă datele curente sunt cele observate la timpul real și, la fiecare interval de timp este necesară actualizarea valorii vectorului coeficient Φ , aceasta înseamnă că recalcularea coeficienților se face utilizând noile serii de erori, care conțin cele mai recente date observate, de îndată ce acestea sunt disponibile și astfel, vectorul coeficient poate fi recalculat la fiecare interval de timp prin metoda recursivă a celor mai mici pătrate. Acesta poate fi exprimat prin relația:

$$\Phi_{n+1} = \Phi_n + P_{n+1} x_{n+1} (y_{n+1} - x_{n+1}^T \Phi_n) \quad (4.2.19)$$

și

$$\begin{aligned} P_{n+1} &= (P_n^{-1} + x_{n+1} x_{n+1}^T)^{-1} \\ &= P_n - P_n x_{n+1} (1 + x_{n+1}^T P_n x_{n+1})^{-1} x_{n+1}^T P_n \end{aligned} \quad (4.2.20)$$

Perechea de ecuații (4.2.19) și (4.2.20) formează baza estimării recursive prin metoda celor mai mici pătrate [după Hsia, 1977 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993)].

În algoritmul prezentat mai sus, toate datele măsurate ca procese desfășurate au ponderi egale iar algoritmul poartă numele de *“algoritmul recursiv de ponderi egale al celor mai mici pătrate”*. Algoritmul se bazează pe ipoteza că, valorile reale ale parametrilor sunt constante și valoarea optimizată a acestor parametrilor este obținută prin lungirea recursivă a perioadei de calibrare dar, acest lucru nu înseamnă că, cele mai recente date sunt mai bune decât cele anterioare în ceea ce privește informațiile referitoare la valorile parametrilor necunoscuți. De aceea, atunci când algoritmul este aplicat într-o situație în care parametrii care urmează a fi determinați variază în timp, calculul poate deveni nesigur și nu vor rezulta valori apropiate de variațiile reale în timp ale valorilor acestor parametri. În acest caz, va fi utilizat algoritmului celor mai mici pătrate la timp real, care acordă o importanță mai mare celor mai recente date, date ce sunt luate în considerare printr-o schemă de pondere exponențială. În practica curentă, acest algoritm se numește *“algoritmul ponderilor celor mai mici pătrate”*. Ca rezultat al includerii ponderii proceselor, capacitatea de urmărire a parametrilor algoritmului recursiv este mult sporită.

Prin minimizarea finală a funcției obiectiv:

$$J(\Phi) = \sum_{i=0}^n e_i^2 w^{n-i} = \sum_{i=0}^n (x_i^T \Phi - y_i)^2 w^{n-i} \quad (4.2.21)$$

similar cu procedeul utilizat pentru algoritmul de pondere egală al celor mai mici pătrate:

$$\Phi_{n+1} = \Phi_n + P_{n+1} x_{n+1} (y_{n+1} - x_{n+1}^T \Phi) \quad (4.2.22)$$

și

$$P_{n+1} = \frac{P_n}{w} [I - x_{n+1} (w + x_{n+1}^T P_n x_{n+1})^{-1} x_{n+1}^T P_n] \quad (4.2.23)$$

Este necesară precizarea că, cu cât este mai mică valoarea lui w , cu atât este mai mare ponderea celor mai recente date. Acest lucru înseamnă algoritmul este capabil să surprindă variația în timp a parametrilor. Mai mult, parametrii estimați pot varia din cauza zgomotului de perturbanță (ex. micile perturbări ale datelor). De aceea, valoarea lui w este, deseori, determinată empiric. Se sugerează ca, în practică, valorile lui w să fie cuprinse în intervalul 0,85 – 1,0. Când $w = 1,0$ algoritmul este redus la algoritmul de ponderi egale ale celor mai mici pătrate care este exprimat de perechea de ecuații (4.2.19) și (4.2.20).

Atunci când este rulată opțiunea “calibrare prin modelul AR” este afișat un tabel al lui R^2 pentru diverse ordine p și ponderi w . Din acest tabel, se poate afla că în timp ce valoarea lui R^2 crește, ponderea w descrește pentru orice valoare dată lui p iar, hidrograful corectat poate oscila excesiv. De aceea a fost sugerat anterior, ca valoarea lui w să fie cuprinsă în intervalul 0,85 – 1,0 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993).

Pentru bazinul hidrografic studiat, vor fi alese valorile lui p și w , modelul calibrează parametrii astfel încât p , w și coeficientul Φ vor fi stocați automat în fișier și vor fi folosiți în aplicarea procedurii de actualizare a prognozei în timp real.

Rezultatele simulării debitelor medii zilnice utilizând modelul LPM

La listarea rezultatelor simulării pentru modelul LPM, primele două linii conțin numele bazinului hidrografic și modelul care a fost folosit pentru obținerea acestor rezultate.

Urmează unele informații referitoare la coeficienții seriei Fourier și sunt listate valorile corectate ale mediilor sezoniere ale intrărilor și ale debitului de ieșire. După aceea, sunt listate: hidrograful unitar calibrat și factorul de amplificare pentru fiecare intrare; valorile statistice atât pentru perioada de calibrare cât și pentru perioada de verificare; debitele măsurate, debitele simulate și erorile de simulare.

Rezultatele simulării utilizând modelul SLM sunt similare cu cele ale modelului LPM cu excepția informațiilor despre media sezonieră a fiecărei intrări.

Prognoza în timp real a debitelor zilnice utilizând modelul LPM

Principala componentă a pachetului de programe LPM este procedura de prognoză în timp real. Din punct de vedere practic, procesul complet al prognozei în timp real trebuie să includă datele de intrare, modelul de simulare a prognozei, obținerea informațiilor referitoare la erorile de prognoză, actualizarea prognozei și emiterea prognozei, după cum se arată și în figura 4.7.

După introducerea datelor de intrare (debite și precipitații) pentru bazinele hidrografice ale căror date au fost calibrate anterior, se utilizează modelul de prognoză simulată obținându-se debitele calculate în secțiunea selectată.

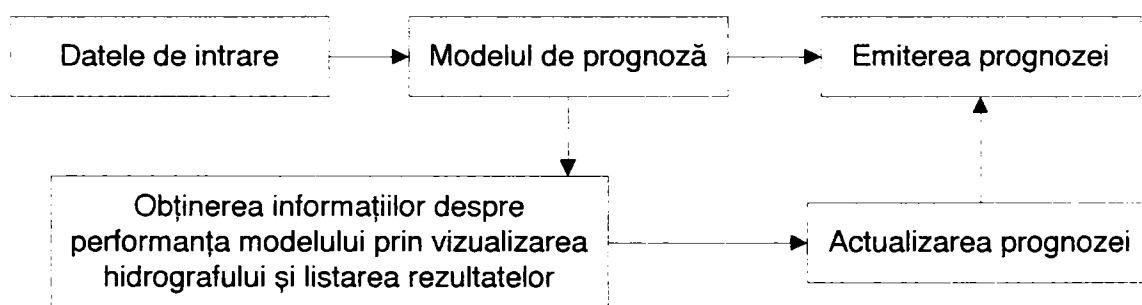


Figura 4.7. Diagrama procedurii de prognoză în timp real

Actualizarea prognozei simulate inițial se face prin modelul AR al seriilor de erori. Seria de reziduuri e_t va urma o schemă autoregresivă (AR) de ordinul p astfel încât:

$$e_t = \phi_1 e_{t-1} + \phi_2 e_{t-2} + \dots + \phi_p e_{t-p} + a_t \quad (4.2.24)$$

unde: a_t este zgomotul alb al mediei zero și varianță σ_a^2 .

Multiplicând cu termenul general $x_{t,j}$ și considerând valoarea prognozată, rezultă o ecuație de autocovarianță. Împărțind prin varianța seriei x_b rezultă un *coeficient de autocorelație de forma*:

$$\rho_j = \phi_1 \rho_{j-1} + \phi_2 \rho_{j-2} + \dots + \phi_p \rho_{j-p} \quad (4.2.25)$$

Există o astfel de ecuație pentru fiecare valoare a lui j , de la 1 până la valoarea maximă a lui p . Sistemul de p ecuații rezultate este cunoscut sub numele de *ecuațiile Yule Walker* [după Box și Jenkins, 1976 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993)]. Dacă cantitățile ρ_k sunt înlocuite cu coeficienții de autocorelație r_k estimați prin metoda obișnuită atunci, aceste

ecuații pot fi rezolvate pentru ρ necunoscute iar, ϕ_p și valorile obținute sunt inserate în ecuația (4.2.14), rezultând:

$$\rho_j = \phi_1 \rho_{j-1} + \phi_2 \rho_{j-2} + \dots + \phi_{k(k-1)} \rho_{j-p} + \phi_{kk} \rho_{j-k}; j = 1, 2, \dots, k \quad (4.2.26)$$

Dacă coeficientul de la momentul j din procesul autoregresiv de ordinul k este notat cu ϕ_{kj} astfel încât ϕ_{kk} este ultimul coeficient al ecuației (4.2.26) atunci, cantitatea ϕ_{kk} , privită ca o funcție de pas k , se numește *funcție de autocorelație parțială*. În timp ce procesul autoregresiv de ordinul p este o funcție de autocorelare care are o extindere infinită, funcția de autocorelație parțială a aceluiași proces se sfârșește după pasul p .

Având potrivit modelul autoregresiv la reziduuri, corectarea prognozei viitoare bazată pe observarea erorilor prognozei actuale, se face prin:

$$\hat{e}_t = \hat{\phi}_1 e_{t-1} + \hat{\phi}_2 e_{t-2} + \dots + \hat{\phi}_p e_{t-p} \quad (4.2.27)$$

Prognoza reactualizată devine:

$$\hat{Q}_t = \hat{y}_t + \hat{e}_t \quad (4.2.28)$$

unde: y_t - valoarea prognozată care nu a fost actualizată;
 e_t - corecția erorilor calculate pe baza observațiilor anterioare.

În practică, prognoza este cerută pentru un anumit interval de anticipație L definit prin:

$$\hat{Q}_t(L) = \hat{y}_t(L) + \hat{e}_t(L) \quad (4.2.29)$$

unde: $y_t(L)$ - prognoza neactualizată pentru timpul de anticipație L ;
 e_t - corecția erorilor pentru timpul de anticipare L .

Corecția erorilor $e_t(L)$ pentru intervalul de anticipare L poate fi exprimată ca pondere a observațiilor anterioare și, poate fi scrisă ca:

$$\hat{e}_t(L) = \hat{\phi}_1(L) e_{t-L} + \hat{\phi}_2(L) e_{t-L-1} + \dots + \hat{\phi}_p(L) e_{t-L-p+1} \quad (4.2.30)$$

unde coeficientul $\phi_{i(L)}$ este cunoscut ca eroarea medie pătratică minimă a ponderilor prognozei. Acești coeficienți pot fi calculați din ponderile prognozei pentru timpul de anticipare de o zi, prin relația (Liang, 1991):

$$\hat{\phi}_i(L) = \hat{\phi}_i(L-1) \hat{\phi}_i(1) + \hat{\phi}_{i+1}(L-1) \quad (4.2.31)$$

În cazul modelului LPM, prognoza reactualizată pentru intervalul de anticipare L este dată de relația:

$$\hat{y}_t(L) = \hat{h}_1 \hat{x}_t + \hat{h}_2 \hat{x}_{t-1} + \dots + \hat{h}_L \hat{x}_{t-L+1} + \hat{h}_{L+1} \hat{x}_{t-L} + \dots + \hat{h}_m \hat{x}_{t-m+1} \quad (4.2.32)$$

Datele necesare pentru testarea și utilizarea în prognoza în timp real a modelului LPM sunt precipitația medie pe bazin (la stația hidrometrică pentru care se calculează debitele medii zilnice) și debitele medii zilnice înregistrate.

Erorile care apar între debitele simulate și cele observate sunt de amplitudine și/sau de formă și se pot datora măsurătorilor și citirilor eronate a datelor de intrare sau, datorită nepotrivirii modelului la bazinul hidrografic ales.

Faptul că prognoza modelului se obține numai pe baza datelor de precipitații și debite, care rezultă din observațiile standard, face ca utilizarea acestui model să fie mult mai ușoară.

4.3. Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de bilanț al umidității solului și integrarea scurgerii pe versanți SMAR (Soil Moisture Accounting and Routing)

Modelul SMAR este abrevierea de la Soil Moisture Accounting and Routing – bilanțul umidității solului și integrarea scurgerii pe versanți și, este un model conceptual cvasi-fizic. A fost prezentat pentru prima oară în 1970 de către O'Connell & alții.

Varianta actuală a programului bazat pe modelul SMAR este realizată în 1993 (și revizuită în 1995) de către J.Y. Zhang, K. O'Connor și G.C. Liang de la Colegiul Universitar Galway din Irlanda.

Mecanismele infiltrației reprezintă un concept fizic necesar în practica hidrologică pentru a ține cont de variația ratei de infiltrație în funcție de umiditatea solului. Formulele de calculare a infiltrației nu pot fi aplicate direct deoarece ipotezele acestor formule nu se potrivesc în toate cazurile, cum ar fi modelarea unui proces continuu ploaie-scurgere, care presupune că ploaia este succesivă și umiditatea solului este variabilă. În mod cert, în aplicarea unui model de scurgere, asemenea condiții nu sunt valabile cu presupunerea unei ponderi continue sau cu presupunerea unei ploi de lungă durată a cărei intensitate este mai mare sau egală cu capacitatea de infiltrație, așa cum se acceptă în majoritatea ecuațiilor empirice ale infiltrației definite de Horton în 1940 (Zhang, O'Connor și Liang, 1995). Aceste ecuații se referă la rata de infiltrație ca timp de infiltrare modificat de către proprietățile solului [după Rawls et. al., 1993 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993)]. Reducerea ratei de infiltrație în timpul ploii poate fi privită ca reflectând atât timpul de infiltrare cât și acumularea apei în sol, proces care continuă până când solul este saturat. De aceea, în locul considerării ratei de infiltrație ca o funcție explicită de timp, aceasta poate fi considerată ca fiind dependentă de conținutul de umiditate a solului (O'Connor, 1995).

Modelul SMAR este format din două componente, componenta de bilanț al apei, care presupune simularea, într-o manieră simplificată, a fenomenelor fizice variate care guvernează procesele de formare a scurgerii, cealaltă fiind componenta de integrare a scurgerii pe versanți, prin care scurgerea generată este transformată în debit la ieșirea din bazin.

Componenta de bilanț al apei (pentru generarea volumului scurgerii) are următorii parametri:

- Z – capacitatea de stocare a apei în sol (mm);
- T – factorul de conversie al evaporației măsurate în evaporație potențială, cu $E_p = T \times E_0$

- unde: E_p – este evaporația potențială;
 E_0 – este evaporația măsurată;
 H – scurgerea directă;
 Y – rata de infiltrație (mm/zi);
 C – coeficientul de diminuare al evaporației.

Evaporația potențială E_p , dintr-un interval de timp, este egală cu evaporația măsurată E multiplicată cu un parametru de conversie T .

H. Khan a modificat în 1986 parametrul H (scurgerea directă), care în modelul original era o constantă, ca fiind o funcție a conținutului de umiditate a solului în primele cinci straturi. Această funcție este definită prin relația (Zhang, O'Connor, Liang, 1993):

$$H' = H \frac{\sum_{i=1}^5 S_i}{125} \quad (4.3.1)$$

unde: S_i este adâncimea umidității solului în cel de al i -lea strat iar capacitatea fiecărui strat este de 25 mm.

În versiunea lui Khan, scurgerea generată de ploaia netă (ca ieșire a componentei de bilanț al apei) este produsă prin trei moduri, definite prin:

$$r_1 = H' (R - T \times E_0) \quad - \text{scurgerea rapidă} \quad (4.3.2)$$

$$r_2 = (1 - H') (R - T \times E_0) - Y \quad - \text{scurgerea hipodermică} \quad (4.3.3)$$

$$r_3 = \text{excesul de umiditate a solului} \quad (4.3.4)$$

unde R reprezintă cantitatea de precipitații.

Toate cele trei componente (r_1 , r_2 și r_3) sunt însumate pentru a obține scurgerea directă totală (r_s) care devine intrare în componenta de integrare a scurgerii pe versanți rețeaua hidrografică. Această procedură este potrivită dacă modelul este aplicat în regiunile semi-aride, deoarece ploaia netă devine scurgere directă. Pentru regiunile umede, în care apele de suprafață sunt alimentate substanțial din freatic, răspunsul scurgerii directe la ploaia netă poate fi privit ca o combinație între răspunsul rapid (scurgere de suprafață și hipodermică) și răspunsul lent (scurgerea de bază care alimentează râul). Pentru a reflecta acest punct de vedere, în 1992 Liang introduce un nou parametru G , *coeficientul scurgerii subterane*, pentru a diviza componenta r_3 (excesul de umiditate a solului) în două părți, r_g (scurgerea de bază) și r'_s (scurgerea întârziată) definite ca fiind (Zhang, O'Connor, Liang, 1993):

$$r_g = G \times r_3 \quad (4.3.5)$$

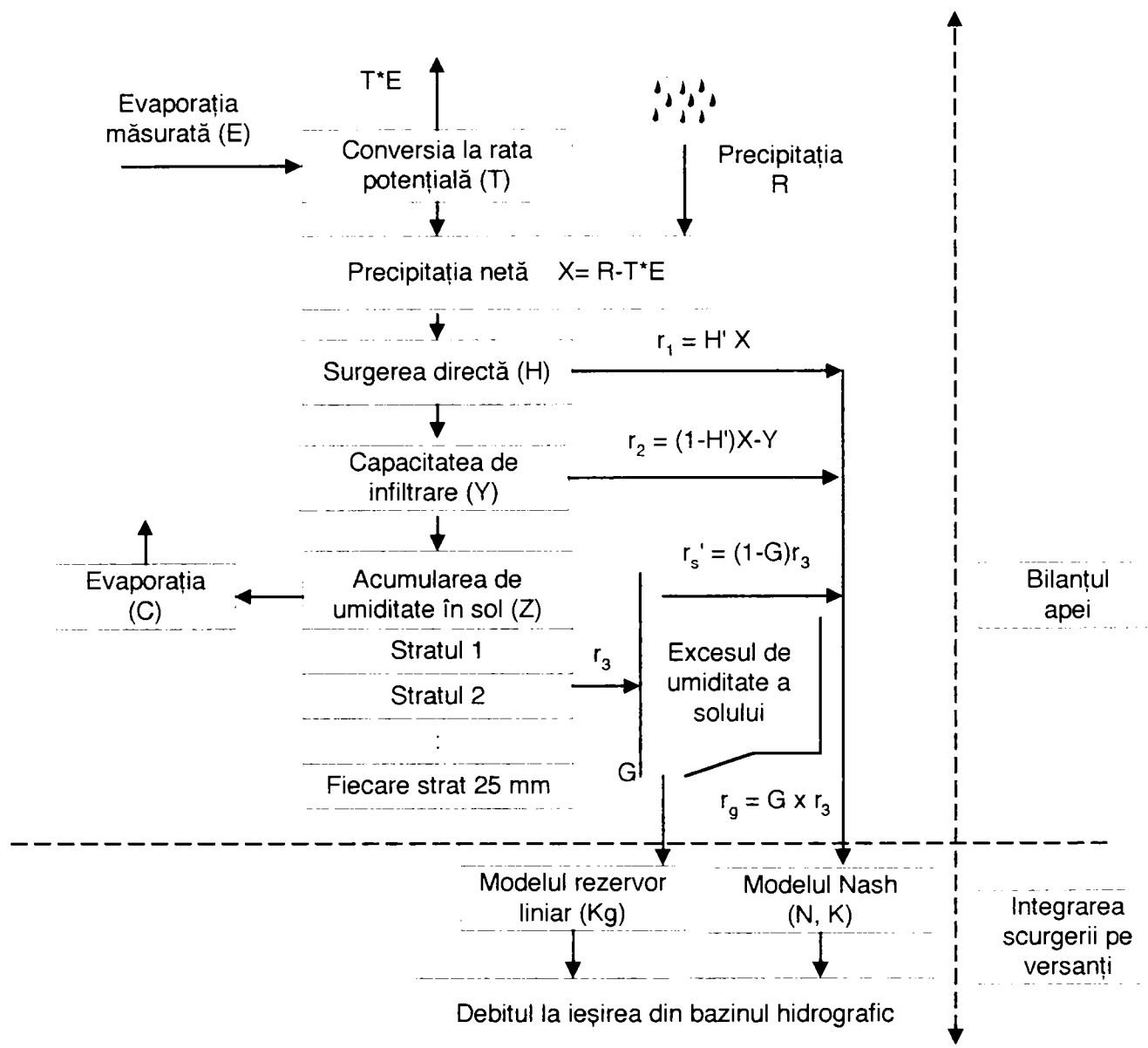
$$r'_s = (1 - G) \times r_3 \quad (4.3.6)$$

Liang este cel care mai introduce un parametru suplimentar, corespunzător componentei de integrare a scurgerii pe versanți, K_b , ca fiind *coeficientul de stocare a rezervorului subteran* folosit pentru propagarea componentei subterane r_g .

Dacă $G = 0$, va fi aplicată versiunea Khan a modelului SMAR; dacă $G = 1$, tot excesul de umiditate din sol, r_3 , va reprezenta scurgerea de bază.

Parametrii adiționali G și K_b pot fi optimizați, împreună cu parametrii originari ai modelului, pentru un bazin hidrografic considerat.

Prezentarea schematică a modelului SMAR se regăsește în figura 4.8.



Z – capacitatea de stocare a apei în sol (mm); T – factorul de conversie al evaporației măsurate în evaporație potențială; H – scurgerea directă; Y – rata de infiltrare (mm/zi); C – coeficientul de diminuare al evaporației; G – coeficientul scurgerii subterane; N – numărul de rezervoare; K – capacitatea fiecărui rezervor și K_g – coeficientul de stocare al rezervorului subteran

Figura 4.8. Prezentarea schematică a modelului SMAR.

În modelul SMAR, se presupune că un bazin hidrografic este analog cu un rezervor vertical format din straturi orizontale de sol. Fiecare strat poate conține o anumită cantitate de apă în capacitatea câmpului. Evaporația din primul strat apare la rata potențială; evaporația din al doilea strat apare numai la epuizarea apei din primul strat și, cu o rată egală cu rata potențială multiplicată cu parametrul C a cărui valoare este mai mică decât unitatea. La epuizarea celui de al doilea strat, evaporația din stratul al treilea va apare cu o rată egală cu rata potențială multiplicată cu parametrul C^2 , și așa mai departe. Astfel, evaporația potențială medie pe suprafața întregului bazin va reduce umiditatea solului într-o manieră aproximativ exponențială.

Ploaia va reîncărca capacitatea de câmp a fiecărui strat de la suprafață în jos, până când se termină ploaia sau este epuizată capacitatea de câmp a fiecărui strat. Orice exces de apă infiltrată va contribui la componenta r_3 -excesul de umiditate a solului.

Însumând componentele r_1, r_2, r'_s ca și scurgere directă totală r_s , aceasta este transformată în debit de suprafață (Q_s) prin utilizarea hidrografului unitar a lui Nash.

Modelul Nash poate fi descris astfel:

Funcția de răspuns la impulsul unitar este descrisă prin funcția de distribuție Gamma:

$$h(t) = \frac{1}{K\Gamma(N)} \left(\frac{t}{K}\right)^{N-1} e^{-t/K} \quad (4.3.7)$$

unde:

N și K - parametri;

$\Gamma(N)$ - funcția Gamma definită prin integrala:

$$\Gamma(N) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{N-1} dt \quad (4.3.8)$$

Pentru cazul "impuls pulsatoriu/ieșire tip", precipitațiile de intrare vor avea intensitatea constantă și durată Δt , și seria de ieșiri va fi în aleasă pentru același interval de timp considerat. Funcția de răspuns poate fi obținută ca fiind:

$$h(\Delta t, t) = (S(t) - S(t - \Delta t)) / \Delta t \quad (4.3.9)$$

unde:

$$S(t) = \int_0^t h(\tau) d\tau \quad (4.3.10)$$

este definit ca răspuns la pasul de timp astfel încât, curba S, poate fi obținută din funcția Gamma incompletă ca fiind:

$$S(t) = \frac{1}{\Gamma(N)} \int_0^{t/K} e^{-\tau/K} \left(\frac{\tau}{K}\right)^{N-1} d\left(\frac{\tau}{K}\right) \quad (4.3.11)$$

Când ieșirea și intrarea sunt exprimate în intervale de durată Δt , corespunzător cazului "puls mediu", seria răspunsului poate fi obținută din $h(\Delta t, t)$ ca fiind:

$$h_j = \frac{1}{\Delta t} \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} h(\Delta t, t) dt, \text{ pentru } j = 1, 2, \dots, m \quad (4.3.12)$$

unde m este numărul ordonatelor hidrografului unitar, cunoscute și sub numele de "lungimea memoriei sistemului".

Având hidrograful unitar h_j și ploaia netă x_i , hidrograful debitelor y_i poate fi determinat utilizând integrala de convoluție în forma discretă:

$$y_i = \sum_{j=1}^m x_{i-j+1} h_j \quad (4.3.13)$$

Componenta r_g a scurgerii subterane este transformată în debit bază prin intermediul modelului cu un singur rezervor liniar care are capacitatea de stocare K_B . Acesta este cazul special al hidrografului unitar a lui Nash, când $N = 1$.

Seria debitelor de ieșire din bazinul hidrografic considerat se obține prin însumarea componentei scurgerii subterane Q_g cu componenta scurgerii de suprafață Q_s , care este calculată din scurgerea directă totală r_s .

Calibrarea modelului SMAR

La prima calibrare a modelului, toți parametrii vor avea valorile inițiale. Optimizarea parametrilor se face cu metodele de optimizare Rosenbrock sau simplex și se obțin informații despre performanța (eficiența) modelului (Zhang, O'Connor, Liang, 1993).

1. Optimizarea parametrilor modelului SMAR cu metoda Rosenbrock

Metoda propusă de H.H. Rosenbrock în 1960, se bazează pe căutarea directă a minimumului funcției obiectiv. Metoda folosește numai evaluarea funcției și nu necesită derivate. Avantajul acestei metode constă în alegerea, la fiecare etapă, a unei noi direcții de căutare fapt care face ca această metodă să fie foarte eficientă. Prezentarea succintă a algoritmului acestei metode poate fi făcută astfel:

1. Se presupune vectorul inițial al valorilor parametrilor, definind punctul de începere $X^{(0)}$ pe suprafața funcției obiectiv și apoi, se folosește o metodă uniaxială simplă pentru căutarea succesivă a minimumului în direcția fiecărui parametru, găsindu-se astfel un nou punct de minim $X^{(1)}$.
2. În locul repetării imediate a căutării uniaxiale, este ales un nou set de direcții de căutare. Presupunem că se face căutarea din punctul $X^{(k)}$ spre $X^{(k+1)}$. Acești doi vectori definesc noua direcție de căutare care, în cele mai multe cazuri, va conduce la obținerea optimului. Se aleg cei doi vectori ca fiind principală nouă direcție de căutare împreună cu alte direcții ortogonale la acesta. Fiecare dintre direcțiile de căutare este dedusă din ortogonalizarea Gram-Schmidt.
3. Folosind metoda uniaxială, se caută minimumul de-a lungul noii direcții.
4. Se repetă etapele 2 și 3 până când este satisfăcută limita de toleranță a minimumului.

După rularea acestei opțiuni, fișierul parametrilor este actualizat astfel încât, parametrii inițiali ai modelului sunt înlocuiți cu noile valori ale parametrilor optimizați

2. Optimizarea parametrilor modelului SMAR cu metoda simplex

Metoda simplex este o metodă de căutare prin "mutarea tiparului". Metoda se bazează pe mutarea unui simplex echilateral, care este construit din $n+1$ vortexuri și, conduce pas cu pas către optim. Metoda a fost sugerată de către Spendly și al. în 1962 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993). Etapele acestei proceduri sunt:

1. Se dă punctul de începere $X^{(0)}$:

$$X^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \quad (4.3.14)$$

și se formează simplexul original.

2. Se calculează funcția obiectiv a fiecărui vortex. Se notează cele $n+1$ vortexuri ale simplexului $S^{(k)}$ prin:

$$X_i^{(k)} = (x_{1i}^{(k)}, \dots, x_{ni}^{(k)})^T \text{ pentru } (i = 1, 2, \dots, n+1) \quad (4.3.15)$$

lăsând

$$f(X_h^{(k)}) = \max [f(X_i^{(k)})] \quad (4.3.16)$$

3. Vortexul cu cea mai mare valoare a funcției este scos din simplex și înlocuit, în punctul său de reflecție, prin centroidul vortexului rămas. Centroidul vortexului rămas poate fi calculat cu relația:

$$X_c^{(k)} = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{n+1} X_i^{(k)} - X_h^{(k)} \right] \quad (4.3.17)$$

Punctul de reflecție este calculat cu relația:

$$X_r^{(k)} = 2X_c^{(k)} - X_h^{(k)} \quad (4.3.18)$$

4. În cazul în care simplexul se rotește în jurul vortexului, mărimea simplexului este redusă la jumătate și căutarea continuă cu un simplex similar dar mai mic.
5. Calibrarea prin această metoda este terminată atunci când simplexul devine mai mic decât limita de toleranță predeterminată.

După rularea acestei opțiuni, fișierul parametrilor este actualizat astfel încât, parametrii inițiali ai modelului sunt înlocuiți cu noile valori ale parametrilor optimizați

Utilizarea modelului autoregresiv (AR) este similară cu procedura prezentată în paragraful 4.2 de la modelul LPM și, rolul său este de a compensa erorile sistematice din modelul original de intrare-ieșire prin estimarea corecției modelului de prognoză individual (care nu a fost reactualizat) bazat pe cele mai recente erori de prognoză.

Atunci când este rulată opțiunea "calibrare prin modelul AR" este afișat un tabel al lui R^2 (criteriul de eficiență Nash) pentru diverse ordine p și ponderi w . Din acest tabel, se poate afla că în timp ce valoarea lui R^2 crește, ponderea w descrește pentru orice valoare dată lui p iar, hidrograful actualizat poate oscila excesiv. De aceea a fost sugerat anterior, ca valoarea lui w să fie cuprinsă în intervalul 0,85 – 1,0 (Zhang, O'Connor, Liang, 1993 și 1995).

Pentru bazinul hidrografic studiat, vor fi alese valorile lui p și w , modelul calibrează parametrii astfel aceștia vor fi stocați automat în fișier și vor fi folosiți în aplicarea procedurii de actualizare a prognozei în timp real.

Rezultatele simulării debitelor medii zilnice utilizând modelul SMAR

Rezultatele calculelor efectuate de către model sunt prezentate în formă tabelară. Tabelul conține trei secțiuni distincte:

1. Informații generale, cum ar fi:
 - numele bazinului;
 - metoda utilizată pentru simularea debitelor; seriile de date; etc.;
 - câți ani au fost luați în considerare și data de început;
 - perioadele de calibrare și verificare;
 - valorile inițiale ale parametrilor modelului;
 - valorile optimizate ale modelului, dacă s-a ales opțiunea de optimizare.
 - condiția inițială Q_b , reprezintă debitul de bază, care poate fi scăzut la data de începere a șirului de debite.
 - N_{warm} reprezintă numărul de zile din perioada caldă a anului ales pentru calibrarea modelului;
 - *lungimea memoriei (Memory length)* este lungimea hidrografului unitar;
 - ordonatele hidrografului unitar.

2. Lista statistică conține valori pentru perioadele de calibrare și verificare cât și pentru întregul interval de testare.

3. Rezultatele calculelor. Sub formă tabelară se regăsesc: data, debitul simulat, debitul observat; scurgerea de suprafață calculată, scurgerea subterană calculată și eroarea de calcul.

Prognoza în timp real utilizând modelul SMAR

Prognoza în timp real este principala componentă a programului prin care se simulează prognoza debitelor folosind datele din timp real și parametrii optimizați ai modelului.

Prognoza simulată este corectată prin modelul autoregresiv AR care folosește parametrii calibrați anterior, pe baza datelor istorice.

Erorile prognozei includ erorile de amplitudine și erorile de formă.

Eroarea de amplitudine reprezintă deviația volumului curgerii și poate fi cauzată de o presupunere incorectă a stării inițiale, cum ar fi umiditatea inițială a solului sau, datorită observațiilor eronate de debite, precipitații și evaporație, care constituie intrările.

Eroarea de formă se referă la eroarea de fază de exemplu, decalarea în timp a hidrografului debitelor de ieșire.

Aceste erori pot apărea datorită valorilor nepotrivite atribuite parametrilor modelului sau, datorită nepotrivirii modelului la bazinul hidrografic studiat. Deoarece parametrii sunt optimizați pe baza datelor istorice, ei reprezintă cazul mediu pentru întreaga perioadă de calibrare. În realitate, fiecare eveniment hidrologic are caracterul său particular și, din acest motiv, parametrii trebuie ajustați corespunzător.

În cazul propagării scurgerii prin albie utilizând modelul de rezervoare în cascadă a lui Nash, N și K sunt parametrii de formă. În termeni matematici, produsul NK este momentul de ordinul I. Acest produs combină efectele lui N și K și este un parametru sensibil pentru determinarea formei hidrografului.

Modelul are 8 parametrii dintre care 5 de bilanț al apei: T , H , Y , C și Z , parametrul propagării scurgerii subterane G și 2 parametrii ai modelului Nash: N și K .

4.4. Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS

Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS este realizat în anul 2000, în cadrul programului de cercetare și dezvoltare hidrologică a Corpului Inginerilor Armatei Statelor Unite.

Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS este proiectat pentru a simula procesele hidrologice în sistemele cursurilor de apă dendritice. Poate fi aplicat în orice zonă geografică pentru a rezolva o gamă foarte largă de probleme, cum ar fi: alimentarea cu apă și hidrologia viiturilor în bazine hidrografice mari și, scurgerea în bazine mici sau în zonele urbane. Hidrografele obținute prin aplicarea programului sunt folosite pentru studierea resurselor de apă, drenajul urban, prognoza debitelor, impactul urbanizării viitoare, proiectarea de deversoare la baraje, reducerea riscurilor de inundații, regularizarea zonelor inundabile și operarea sistemelor.

Descrierea elementelor, care constituie caracteristicile bazinului, precum și a metodelor și modelelor incluse în sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS, s-a realizat în conformitate cu manualele de utilizare elaborate de către Corpul Inginerilor Armatei Statelor Unite (2000).

Pentru o exprimare mai ușoară, s-a adoptat, în unele cazuri, termenul de program HEC-HMS în loc de sistem de modelare hidrologică HEC-HMS.

4.4.1. Modelarea componentelor bazinului

4.4.1.1. Modelul bazinului

Reprezentarea fizică a bazinului hidrografic este configurată în modelul bazinului. Elementele hidrologice sunt schematizate sub formă de rețea dendritică pentru a simula procesele scurgerii. Elementele hidrologice de care dispune sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS sunt: *subbazin, canal, confluență, rezervor, derivație, sursă și ponor (chiuvetă)*.

Elementele hidrologice sunt componentele de bază ale modelului bazinului. Un element reprezintă un proces fizic, de exemplu: bazinul hidrografic este reprezentat prin elementul hidrologic *subbazin*; cursul de apă este reprezentat prin elementul hidrologic *canal, etc.* Fiecare element hidrologic reprezintă o parte din răspunsul total al bazinului hidrografic la precipitație.

Pentru fiecare element hidrologic sunt descrise cu ajutorul modelelor matematice procesele fizice care se produc. Uneori, modelul este doar o bună aproximație a proceselor fizice reale care se produc într-un cadru limitat al condițiilor de mediu. Exactitatea datelor de intrare în model precum și parametrii necesari pot determina eficiența modelului. Pentru ca programul să fie potrivit unui număr cât mai mare de condiții, cele mai multe elemente hidrologice au mai multe modele sau metode de aproximare a proceselor fizice.

Subbazinul este un element care, de obicei, nu are debit de intrare și are numai un debit de ieșire. Este unul din cele două moduri de producere a scurgerii în modelul bazinului. Scurgerea de ieșire este calculată din datele meteorologice prin scăderea pierderilor, transformarea ploii nete în scurgere directă și adăugarea scurgerii de bază. Subbazinul poate fi folosit pentru modelarea unui număr variat de bazine hidrografice de diverse mărimi.

Canalul este un element cu una sau mai multe debite de intrare și numai un singur debit de ieșire. Debitul de intrare provine de la alte elemente ale modelului bazinului. Dacă există mai multe debite de intrare, acestea vor fi însumate înainte de a se calcula debitul de ieșire. Debitul de ieșire este calculat folosind una dintre metodele existente în program pentru simularea curgerii în canale deschise. Canalul poate fi folosit pentru modelarea râului sau a sectoarelor de râu.

Rezervorul este un element cu unul sau mai multe debite de intrare și un debit de ieșire calculat. Debitul de intrare din alte elemente ale modelului sunt însumate înainte de calcularea debitului de ieșire. Debitul de ieșire este calculat din relația nivel-debit specificată de utilizator și, pe baza prezumției că suprafața apei reprezintă nivelul. Acest element poate fi folosit pentru modelarea rezervoarelor, lacurilor și polderelor.

Confluența este un element cu unul sau mai multe debite de intrare și un debit de ieșire. Toate debitele de intrare sunt însumate pentru a produce debitul de ieșire, presupunând că debitul stocat este zero. Acest element este folosit pentru reprezentarea confluențelor.

Derivația este un element cu două debite de ieșire, unul principal și celălalt secundar și are unul sau mai multe debite de intrare. Dacă există mai multe debite de intrare, acestea sunt însumate înainte de calcularea debitelor de ieșire. Debitul de ieșire sunt calculate pe baza relației "intrare-derivație" specificată de către utilizator. Toată curgerea care nu este derivată devine curgere principală. Derivația poate fi folosită pentru reprezentarea deversoarelor sau stăvilarelor care dirijează curgerea în canale sau bazine de stocare.

Sursa este un element fără debit de intrare, cu un debit de ieșire și reprezintă cel de al doilea mod de producere a curgerii în modelul bazinului. Sursa poate fi folosită pentru reprezentarea condițiilor de margine în modelul bazinului, cum ar fi debitul de ieșire din rezervoare sau din zonele de izvoare ale râurilor. De asemenea, condițiile de margine pot reprezenta contribuția unei suprafețe modelate într-un alt model de bazin. Acest element poate fi folosit pentru reprezentarea izvoarelor sau stațiilor hidrometrice situate la intrarea în bazin.

4.4.1.2. Metodele pierderii apei în subbazin

Bazinul hidrografic al unui curs de apă poate fi clasificat ca fiind format din suprafețe impermeabile și permeabile. Suprafețele impermeabile reprezintă acele porțiuni pe care precipitațiile căzute se scurg în totalitate, neexistând procesele de infiltrație, interceptie, evaporatie sau alte pierderi. Precipitațiile căzute pe suprafețele permeabile suferă pierderi.

Metoda peste folosită pentru calcularea pierderilor din precipitație. Precipitațiile care cad pe suprafața unui bazin hidrografic suferă o primă reducere (pierderi inițiale) prin interceptia acestora de către învelișul vegetal și prin reținerea lor în depresiunile de la suprafața terenului. Apa reținută se va evapora și se va infiltra ulterior. Precipitațiile rămase după aceste pierderi inițiale se vor scurge pe suprafața terenului formând scurgerea rapidă sau se vor infiltra. Infiltrația apei în sol nu poate să depășească capacitatea maximă de infiltrație, care reprezintă o valoare limită.

În programul HEC-HMS este inclus un număr de șapte metode pentru estimarea pierderilor: *deficit și constant*, *Green & Ampt*, *numărul curbei SCS în rețea*, *bilanțul umidității solului în rețeaua de celule*, *inițial și constant*, *curba SCS* și *bilanțul umidității solului*. Toate aceste metode sunt compatibile cu toate metodele de transformare a precipitație în exces în scurgere de suprafață, cu excepția metodelor *rețeaua de curbe SCS* și *calcularea rețelei*

umidității solului. Aceste două metode pot fi folosite numai cu modelul de transformare Mod Clark. Când nu este selectat nici un model, pierderile sunt considerate zero

❖ Deficit și constant

Metoda modelează infiltrația pe baza unui sistem de tipul *strat unic de sol care se reîncarcă*. Reîncărcarea se referă procesele de drenare, evaporație și transpirație din stratul de sol. Deficitul maxim reprezintă capacitatea maximă de stocare a rezervorului. Deficitul inițial reprezintă capacitatea rezervorului la începutul simulării. Nu va exista ploaie netă până când nu se completează deficitul inițial al rezervorului.

Parametrii metodei sunt: deficitul inițial, deficitul maxim, coeficienții pierderii prin evaporație și ai reîncărcării prin drenare.

❖ Green & Ampt

Acestă metodă modelează infiltrația prin combinarea ecuațiilor lui Darcy, care descriu scurgerea apei din zona nesaturată, cu condițiile ecuației de conservare a masei. Modelarea interceptiei și reținerii în depresiunile terenului se face prin parametrul pierderilor inițiale. După ce precipitația a suferit pierderile inițiale, pe baza ecuațiilor Green & Ampt este calculată ploaia netă. Parametrii metodei sunt: pierderile inițiale, sucțiunea frontului umed și conductivitatea.

❖ Numărul rețelei de curbe SCS

Metoda poate fi folosită împreună cu modelul de transformare ModClark pentru a calcula excesul de infiltrație folosind nu număr diferit de curbe pentru fiecare celulă a rețelei. Numărul curbelor este specificat într-un fișier exterior programului HEC-HMS. Parametrii metodei sunt: coeficientul de reducere, care trebuie să fie cuprins în intervalul 0,427 - 2,28 și factorul scării de retenție potențială, care trebuie să fie cuprins în intervalul 0,095 - 0,38.

❖ Inițial și constant

Metoda "inițial și constant" reprezintă procesele de interceptie și reținere în depresiunile de la suprafața terenului ca reprezentând pierderile inițiale. Toate celelalte pierderi sunt considerate constante. Ploaia netă se produce numai după ce ploaia brută a suferit pierderile inițiale. Parametrii metodei sunt: pierderile inițiale și constanta celorlalte pierderi.

❖ Numărul curbei SCS

Serviciul de conservare a solului (Soil Conservation Service -SCS) a creat metoda numărului curbei empirice pentru calcularea ploii nete totale provenite din ploaie torențială pe baza precipitațiilor cumulate și luând în considerare stratul vegetal, utilizarea terenului și umiditatea inițială a solului. Cantitatea totală de ploaie netă este calculată folosind precipitația cumulată și ploaia netă cumulată la sfârșitul fiecărui pas de timp al modelului. Parametrii metodei sunt: pierderile inițiale și numărul curbei, care poate fi cuprinsă în intervalul 0 - 99 dar, practic, trebuie să fi mai mică de 40.

❖ Bilanțul umidității solului folosind metoda SMA

Luând în considerare evapotranspirația, metoda SMA (Soil Moisture Accounting) modelează infiltrația cu ajutorul unui sistem format din cinci straturi de sol (model conceptual). Înainte de calcularea evapotranspirației, pentru fiecare pas de timp este calculată infiltrația. Pentru fiecare pas de timp, rezervoarele de stocare sunt umplute în următoarea ordine:

1. Învelișul vegetal;
2. Depresiunile de la suprafața terenului;
3. Profilul solului;

4. Stratul freatic 1
5. Stratul freatic 2

Precipitația umple rezervorul de interceptie al stratului vegetal. După umplerea acestui rezervor, precipitația umple rezervorul depresiunilor de la suprafața terenului. Din depresiunile de la suprafața terenului, apa se infiltrează în sol, valoarea coeficientului de infiltrație putând fi mai mică sau egală cu capacitatea maximă de infiltrație. Când rezervorul depresiunilor de la suprafața terenului este plin și, capacitatea maximă de infiltrație este mai mică decât ploaia se produce ploaia netă. Apa din profilul solului percolează în stratul freatic 1. În stratu freatic 1, apa se mișcă lateral, în afara stratului, ca și scurgere de bază și apoi este calculată percolația în stratul freatic 2. Apa din stratul freatic 2 se mișcă lateral, în afara stratului, și este calculată percolația de adâncime care iese din sistem (scurgerea de bază).

Pentru fiecare pas de timp, evapotranspirația potențială este calculată în următoarea ordine:

1. Învelișul vegetal;
2. Depresiunile de la suprafața terenului;
3. Profilul solului;
4. Zona nesaturată.

Evapotraspirația apare numai din cele mai mari rezervoare de stocare a apei și se produce până în momentul în care încep precipitațiile. Evapotraspirația poate apare secvențial, în același moment, din mai multe rezervoare. Cantitatea de apă evaporată din primele trei straturi (învelișul vegetal, depresiunile de la suprafața terenului și profilul solului) este suficientă pentru satisfacerea evapotranspirației potențiale. Un procent din valoarea evapotranspirației potențiale este folosit pentru calcularea apei exfiltrate din zona nesaturată și, reprezintă forța de tensiune pentru îndepărtarea apei atașate de particulele solului. Apa subterană nu se ridică în profilul solului și nu este folosită pentru satisfacerea evapotranspirației potențiale. În timpul perioadelor ploioase nu există evapotranspirație.

Parametrii metodei sunt: unitatea SMA și capacitatea inițială ca procent din capacitatea fiecărui strat.

O variantă a metodei SMA este bilanțul umidității solului pe zone omogene, bazinul hidrografic fiind discretizat în zone care au același tip de sol.

Metoda poate fi folosită cu modelul de transformare ModClark pentru a specifica unitatea SMA (bilanțul umidității solului) pentru fiecare celulă. Numele unității SMA este specificat pentru fiecare celulă în fișier separat. Celulele rețelei sunt calculate separat astfel încât, câteva celule, care folosesc aceiași unitate SMA, pot reprezenta o regiune discontinuă în subbazin. Parametrii metodei sunt: capacitatea de stocare inițială ca procent din capacitatea fiecărui strat. Același procent de stocare inițială este folosit pentru fiecare celulă a rețelei subbazinului.

4.4.1.3. Metodele de transformare a precipitației în exces în scurgere de suprafață

Transformarea ploii nete în scurgere de suprafață se face utilizând una din metodele:

- Metoda hidrografului unitar care include tehnicile Clark, Snyder și SCS;
- Hidrograful unitar specificat de utilizator;
- Metoda Clark modificată (Mod Clark), care este o metodă liniară cvasi-distribuită a hidrografului unitar și poate fi folosită împreună cu datele rețelei de precipitații;
- Metoda undei cinematice cu suprafețe multiple și canale colectoare.

Precipitațiile care nu se infiltrează și cele care cad pe suprafețele impermeabile formează excesul de precipitație. O parte din excesul de precipitație poate rămâne în depresiunile de la suprafața terenului iar restul se scurge pe suprafața versanților formând scurgerea directă.

Scurgerea directă a fiecărui subbazin poate fi modelată cu una din cele șase metode existente în sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS.

❖ Hidrograful unitar al lui Clark

Metoda hidrografului unitar al lui Clark reprezintă, sub formă explicită, propagarea și atenuarea scurgerii directe care se produce de-a lungul subbazinului până în secțiunea de închidere. Calculul scurgerii pe versanți se bazează pe curba sintetică de tipul timp-suprafață și pe timpul de concentrare. Atenuarea scurgerii directe este modelată cu ajutorul unui rezervor liniar. Parametrii metodei sunt: timpul de concentrare și capacitatea rezervorului.

❖ Unda cinematică

Metoda folosește ecuația de continuitate și aproximarea ecuației de momente a scurgerii uniforme nevariate pentru a transforma ploaia netă în scurgere directă. Este folosit un model conceptual care poate include până la două suprafețe plane de formă rectangulară și trei canale. Calculul începe cu scurgerea de pe suprafața terenului. Pentru fiecare suprafață plană se obține un hidrograf. Scurgerea provenită de pe mai multe suprafețe plane este însumată și apoi, distribuită uniform de-a lungul canalului colector, ca și debit lateral de intrare. Debitul de ieșire din canalul colector este distribuit uniform de-a lungul canalului principal ca și debit lateral de intrare. În cazul în care se iau în considerare două canale colectoare, scurgerea este distribuită uniform ca și debit lateral de intrare din plan în canalul colector 1, din primul canal colector în canalul colector 2 și apoi, din al doilea canal colector în canalul principal.

Parametrii necesari pentru descrierea suprafețelor plane sunt: lungimea, panta, rugozitatea și suprafața ca procent din suprafața totală a subbazinului. Parametrii necesari pentru descrierea canalelor sunt: lungimea, panta, forma, lățimea fundului canalului sau diametrul și suprafața de pe care canalul colectează scurgerea. Propagarea hidrografului debitelor prin canal poate fi făcută prin metoda Muskingum-Cunge.

❖ ModClark

Metoda ModClark este o transformare liniară cvasi-distribuită care operează cu o bază de rețea-celulă. Printr-un sistem de drepte octogonale, subbazinul este împărțit în celule (carouri). În fiecare celulă ploaia netă este cumulată în timp și apoi, pe baza hidrografului unitar al lui Clark (propagarea printr-un rezervor liniar), este transformată în scurgere directă. Este necesar un fișier exterior în care să se stocheze datele referitoare la suprafața celulelor și timpul de deplasare în fiecare celulă. Pasul de timp al hidrografului unitar pentru o celulă este calculat ca și raport între timpul de deplasare în celulă și timpul maxim de deplasare în subbazin, multiplicat cu timpul de concentrare. Toate celulele subbazinului au același coeficient de stocare. Parametrii metodei sunt: timpul de concentrare pe subbazin și capacitatea rezervorului.

❖ Hidrograful unitar al lui Snyder

Snyder a creat un hidrograf unitar parametric pentru calcularea debitului maxim și a timpului de răspuns al hidrografului unitar (reprezintă diferența dintre timpul de producere a debitului maxim al hidrografului unitar și timpul de producere a nucleului ploii nete). Calculul ordonatelor hidrografului unitar se realizează pe baza metodei hidrografului unitar a lui Clark. Parametrii hidrografului unitar a lui Clark sunt calculați printr-un proces iterativ

proiectat să producă hidrograful care are debitul maxim și timpul de răspuns dat de tehnica Snyder.

Hidrograful unitar sintetic a lui Snyder raportează parametrii hidrografului unitar parametric la caracteristicile bazinului hidrografic. Prin utilizarea relațiilor de legătură este posibilă obținerea unui hidrograf unitar pentru alte condiții sau bazine hidrografice decât cele care au stat la baza determinării hidrografului unitar.

Parametrii metodei sunt: pasul de timp standard (în ore) și coeficientul de debit maxim, care trebuie să fie cuprins în intervalul 0,1 - 1,0.

❖ Hidrograful unitar SCS

Sunt folosite ecuațiile parametrică care, pe baza pasului de timp ales, calculează debitul maxim și timpul de răspuns. Ordonatele hidrografului unitar sunt calculate secvențial ținând cont de debitul maxim, timpul de răspuns și de hidrograful unitar adimensional. Parametrul necesar este pasul de timp.

❖ Hidrograful unitar specificat de către utilizator

Hidrograful unitar specificat de către utilizator permite specificarea exactă a relației empirice dintre o unitate a ploii nete și scurgerea directă rezultată. Ordonatele hidrografului unitar trebuie să fie introduse pentru același interval de timp ca și pasul de timp al modelului. Parametrii metodei sunt: ordonatele hidrografului unitar și ordonatele intervalului de timp.

4.4.1.4. Metodele scurgerii de bază din subbazin

Apa care s-a infiltrat în solul bazinului hidrografic trece prin zona nesaturată și alimentează freaticul. În funcție de formațiunile geologice din zona considerată, mișcarea apei freatice se produce prin spațiul dintre pori, prin fisurile rocilor sau prin cavernele calcaroase.

Apele freatice reprezintă principala sursă de alimentare a râurilor în perioadele lipsite de precipitații. Debitul subteran care alimentează apele de suprafață se numește *debit de bază (scurgere de bază)*.

Pentru fiecare subbazin, debitul de bază poate fi luat în calcul prin una din cele trei metode existente în programul HEC-HMS și anume, *constantă lunară*, *rezervor liniar* și *curba de secare*.

Metodele *constantă lunară* și *curba de recesie* pot fi folosite pentru orice subbazin. Metoda *rezervor liniar* poate fi folosită numai la subbazinele la care au fost aplicate metodele *SMA* și *rețeaua SMA* de calcul a pierderilor. Atunci când nu se alege nici o metodă, scurgerea de bază este considerată ca fiind zero.

❖ Constantă lunară

Metoda folosește un debit de bază constant pentru întreaga durată de simulare. Valorile pot fi orare, zilnice sau lunare. Scurgerea totală a subbazinului se obține prin însumarea scurgerii directe cu debitul de bază.

❖ Rezervorul liniar

Metoda calculează scurgerea de bază din acumularea subterană și poate fi folosită numai în combinație cu metoda SMA de calculare a pierderilor. Excesul de apă din fiecare strat freatic este transformat în debit de bază cu ajutorul unei serii de rezervoare liniare. Parametrii metodei sunt: capacitatea fiecărui rezervor și numărul de rezervoare.

❖ Curba de secare

Metoda curbei de secare folosește o scădere exponențială a debitului de bază. Această metodă este potrivită pentru acele bazine hidrografice în care volumul și durata debitului de bază sunt puternic influențate de precipitații. Parametrii necesari sunt: debitul de la începutul perioadei de simulare, coeficientul de recesie și pragul scurgerii subterane (punctul de pe hidrograf în care scurgerea de bază înlocuiește scurgerea pe versant, ca și sursă a scurgerii din subbazin).

4.4.1.5. Propagarea scurgerii prin albie și canale

Elementul hidrologic *canal* poate fi folosit pentru a reprezenta curgerea apei în canale deschise (albie). Timpul de propagare variază în funcție de lungimea, panta, rugozitatea și secțiunea de curgere iar atenuarea depinde de rugozitate și de capacitatea de acumulare a albiei.

Pentru propagarea scurgerii prin albie și canale, în sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS au fost incluse șase metode.

- Metoda Lag - rulare fără atenuare;
- Muskingum;
- Metoda Puls modificată, care modelează canalul ca o serie de rezervoare a căror relații "acumulare-debit de ieșire" sunt specificate de către utilizator;
- Metodele unde cinematice și Muskingum-Cunge - pentru modelarea canalelor cu secțiuni transversale de formă trapezoidală, rectangulară, triunghiulară sau circulară;
- Muskingum-Cunge și
- metoda secțiunii în 8 puncte - pentru modelarea curgerii pe cursuri de râu cu albie majoră.

❖ Unda cinematică

Metoda folosește ecuația de continuitate și aproximarea ecuației momentului pentru definirea scurgerii uniforme continue în canale. Teoretic, metoda modelează curgerea, cu translație și fără atenuare. Forma canalului poate fi trapezoidală sau circulară. Parametrii necesari sunt: lungimea canalului, panta canalului, lățimea sau diametrul fundului albiei, coeficientul de rugozitate al lui Manning, panta taluzului.

❖ Metoda Lag

Metoda realizează propagarea scurgerii prin albie fără atenuare. Hidrograful debitelor de intrare este translatat în intervalul de timp egal cu pasul de timp ales. Pasul de timp este singurul parametru necesar și poate fi ales în minute sau ore.

❖ Metoda PULS modificat

Metoda PULS modificată este cunoscută ca "propagarea acumulării" și se bazează pe combinația dintre aproximația ecuației de continuitate cu reprezentarea empirică a ecuației de momente. Parametrii necesari sunt: relația de legătură dintre volumul acumulat și debitul de ieșire și, numărul de sectoare de calcul. Relația de legătura dintre volumul acumulat și debitul de ieșire se împarte la numărul de sectoare de calcul și este folosită ca și condiție inițială pentru toate sectoarele.

❖ Metoda Muskingum

Metoda Muskingum reprezintă o aproximație a ecuației de continuitate.

Parametrii metodei Muskingum sunt: K - timpul de deplasare, N - numărul de rezervoare și X = capacitatea fiecărui rezervor (0 - 0,5).

❖ Metoda Muskingum-Cunge

Metoda se bazează pe ecuația de continuitate și pe forma difuză a ecuației momentului. Din parametrii specificați, programul calculează automat coeficienții de propagare. Secțiunea transversală poate fi circulară sau prismatică (triunghiulară, rectangulară sau trapezoidală). Parametrii necesari sunt: forma canalului, lungimea, panta, lățimea sau diametrul fundului canalului, coeficientul de rugozitate al lui Manning.

❖ Metoda Muskingum-Cunge în 8 puncte

Metoda folosește aceleași ecuații și tehnică de calcul ca și metoda Muskingum-Cunge standard, prezentată anterior. În locul secțiunii circulare sau prismatice, canalul este descris prin 8 coordonate care descriu secțiunea transversală. Secțiunea se împarte în albie majoră stânga, albie minoră și albie majoră dreapta. Debitul este calculată separat pentru fiecare porțiune. Parametrii necesari sunt: lungimea, panta, coeficientul de rugozitate al lui Manning pentru fiecare porțiune de albie, datele topometrice care descriu forma secțiunii.

4.4.2. Analiza datelor meteorologice

Analiza datelor meteorologice se realizează cu ajutorul modelului meteorologic care include precipitația și evapotranspirația. În program sunt incluse patru metode pentru analizarea precipitațiilor istorice, și anume:

- Metoda hietogramei utilizatorului - pentru analiza datelor de precipitații în afara programului;
- Metoda ponderii stațiilor pluviometrice - utilizează un număr nelimitat de stații pluviometrice care, înregistrează sau nu precipitațiile. Poligoanele Thiessen reprezintă una dintre metodele de determinare a ponderii pluviometrelor.
- Metoda distanței inverse - utilizează un număr nelimitat de stații pluviometrice, care înregistrează sau nu precipitațiile. Metoda poate fi folosită pentru generarea automată de date la stațiile pluviometrice la care nu s-au efectuat observații;
- Metoda rețelei de precipitații - folosește datele provenite de la radar.

Precipitația sintetică poate fi obținută cu ajutorul a trei metode diferite:

- Frecvența ploii, care folosește datele statistice pentru a produce ploaia de o anumită probabilitate;
- Ploaia de calcul care implementează regulamentul pentru precipitații atunci când se estimează viitura de calcul;
- Hietograful specificat de către utilizator care poate fi folosit cu hietograful sintetic rezultat din analizele din afara programului.

Metoda evapotranspirației folosește valorile medii lunare cu un coeficient de corecție opțional.

În paragrafele anterioare au fost prezentate modelele pentru calcularea scurgerii directe, cum ar fi formele variate ale hidrografului unitar și modelul undei cinemate. Ambele modele presupun că precipitația este uniform distribuită pe suprafața bazinului hidrografic și în intervalul de timp considerat. În schimb, modelele necesită specificarea proprietăților acestei ploi uniforme. În programul HEC-HMS, aceste proprietăți includ (1) stratul total al precipitațiilor căzute în bazin (ploaia medie) și (2) distribuția temporală a acestor precipitații.

Ploaia medie pe bazin poate fi determinată din precipitațiile înregistrate la stațiile pluviometrice.

Metodele uzuale pentru determinarea factorilor de pondere a stațiilor pluviometrice, care sunt necesari calculării ploii medii pe bazin sunt: *media aritmetică*, *poligoanele Thiessen*, *izohietele*.

Pentru calcularea hidrografului, care reprezintă variația debitului în timp, trebuie specificate informații despre variația în timp a ploii medii pe bazin.

❖ Hietograma utilizatorului

Utilizatorul este cel care determină hietograma ploii pentru subbazinului studiat. Pentru calcularea hietogramei, poate fi aleasă o tehnică de analiză arbitrară. Datele hietogramei vor fi introduse în programul HEC-HMS ca și stație pluviometrică.

❖ Ponderea stației pluviometrice precizată de către utilizator

Metoda permite controlul complet asupra stațiilor pluviometrice și a ponderii acestora la ploaia medie pe bazin. Valorile ponderilor stațiilor pluviometrice sunt calculate manual și pot fi rezultatul poligoanelor Thiessen, distanței inverse sau a altor analize. Hietograma fiecărui subbazin este calculată în două etape: prima oară se calculează ploaia medie pe bazin iar apoi, se calculează distribuția temporală a precipitațiilor.

❖ Metoda pătratului distanței-inverse

Ca o alternativă a definirii separate a ploii medii pe bazin și a combinării acesteia cu distribuția temporală pentru a obține hietograma ploii medii pe bazin, prin această metodă se obține direct hietograma ploii medii pe bazin. Metoda calculează $P(t)$, precipitația pe bazin la momentul t , prin aplicarea dinamică a schemei ponderii la precipitațiile înregistrate la stațiile pluviometrice la același moment t . Schema de calcul introduce noțiunea de "noduri". Nodurile sunt poziționate astfel încât să asigure o rezoluție spațială adecvată a precipitației în bazinul hidrografic considerat. Programul HEC-HMS calculează hietograma precipitației pentru fiecare nod, folosind stația pluviometrică situată în apropierea nodului. Pentru a selecta această stație pluviometrică, programul HEC-HMS construiește, prin fiecare nod, axe ipotetice pe direcția nord-sud și est-vest și găsește cea mai apropiată stație pluviometrică din fiecare cuadrant definit de axe. Ponderile sunt calculate și atribuite stațiilor pluviometrice în proporție inversă cu pătratul distanței de la acestea până la nod.

Metoda evapotranspirației

Metoda evapotranspirației medii lunare trebuie să fie selectată atunci când modelul meteorologic va fi folosit împreună cu un model al bazinului care conține elemente hidrologice de tip subbazin ale căror pierderi sunt calculate prin metoda bilanțului umidității solului (SMA). În cazul în care pierderile sunt calculate prin alte metode, metoda evapotranspirației nu va fi selectată.

Metoda evapotranspirației medii lunare poate fi folosită pentru calcularea combinației evaporație - transpirație cu coeficienți diferiți pentru fiecare lună a anului. Este inclus un coeficient de corecție pentru corectarea observațiilor directe ale evaporației.

4.4.3. Simularea proceselor hidrologice

Intervalul de timp pentru care se va face simularea debitelor este controlat prin așa numita "specificație de control", care necesită specificarea exactă a datei și orei de începere și de terminare a simulării precum și, pasul de timp ales pentru efectuarea calculelor.

Intervalul de timp

Rezoluția modelului depinde de pasul de timp ales pentru efectuarea calculelor timp ales. Acesta poate varia în ecartul de la 1 minut până la 24 de ore. Datele provenite de la stațiile hidrometrice și pluviometrice sunt interpolate la pasul de timp specificat.

Perioada de timp aleasă pentru simularea debitelor poate varia, în funcție de analiza care se face, de la ore, zile, luni până la un an.

Componentele necesare rulării programului HEC-HMS

Rularea programului de calcul se face prin combinarea modelului bazinului cu modelul meteorologic și cu specificația de control (intervalul de timp pentru care se face simularea). Nu toate modelele bazinului sunt compatibile cu modelele meteorologice. De asemenea, nu există compatibilitate între câteva metode de precipitație, pierderi, transformare a precipitației nete în scurgere directă și ale scurgerii de bază.

Toate metodele de precipitație pot fi folosite cu toate metodele de calculare a pierderilor.

Incompatibilități distincte există între unele metode de calculare a pierderilor și cele de transformare (tabelul 4.1.) precum și între unele metode de calculare a pierderilor și ale scurgerii de bază (tabelul 4.2.). Metodele constantei lunare și curbei de recesie pot fi folosite cu orice metodă de calculare a pierderilor. Numai bilanțul umidității solului și rețelei de umiditate a solului pot fi folosite cu metoda rezervorului liniar a scurgerii de bază.

Tabelul 4.1.

Metode compatibile pentru calcularea pierderilor și de transformare						
	Clark HU	Snyder HU	SCS HU	Utilizator	ModClark	Unda cinematică
Deficit și constant	*	*	*	*	*	*
Green & Ampt	*	*	*	*	*	*
Rețeaua nr. de curbe SCS					*	
Rețeaua SMA					*	
Inițial și constant	*	*	*	*	*	*
Nr. curbei SCS	*	*	*	*	*	*
Bilanțul umidității solului	*	*	*	*	*	*

Compatibilitatea dintre metodele de calcul a pierderilor și metodele scurgerii de bază

	Clark HU	Snyder HU	SCS HU
Deficit și constant	*		*
Green & Ampt	*		*
Rețeaua nr. de curbe SCS	*		*
Rețeaua SMA	*	*	*
Inițial și constant	*		*
Nr. curbei SCS	*		*
Bilanțul umidității solului	*	*	*

Prezentarea rezultatelor simulării

Rezultatele simulării debitelor utilizând sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS pot fi vizualizate și editate atât sub formă grafică (hidrografele observate și calculate pentru fiecare element hidrologic considerat în modelul bazinului) cât și sub formă tabelară (ordonatele hidrografelor debitelor măsurate și simulate; informații sumare la elementele hidrologice standard). În tabelul 4.3 sunt prezentate rezultatele care pot fi obținute sub formă grafică la elementele hidrologice standard și, în tabelul 4.4 sunt prezentate tipurile de informații care pot fi obținute sub formă tabelară pentru fiecare dintre elementele hidrologice.

Tabelul 4.3.

Seria de date rezultate prezentate sub formă grafică la elementele hidrologice standard

	Subbazin	Canal	Confluență	Rezervor	Derivație	Sursă	Chiuveță
Scurgerea de bază	*						
Debitul de intrare combinat							*
Scurgerea directă	*						
Debitul derivat					*		
Elevația				*			
Precipitația totală	*						
Pierdere	*						
Debitele de intrare individuale		*	*	*	*		*
Debitul de ieșire		*	*	*	*	*	
Nivelul	*	*	*	*	*	*	*
Acumularea				*			

Informații sumare la elementele hidrologice standard

	Subbazin	Canal	Confluență	Rezervor	Derivație	Sursă	Chiuveță
Debitul maxim	*					*	
Debitul maxim derivat					*		*
Elevația maximă				*			
Debitul maxim de intrare		*		*	*		
Debitul maxim de ieșire		*	*	*	*		
Nivelul maxim	*	*	*	*	*	*	*
Acumularea maximă				*			
Scurgerea de bază totală	*						
Curgerea totală	*						*
Scurgerea directă totală	*						
Derivația totală					*		
Totalul precipitației în exces	*						
Creșterea totală a precipitației	*						
Debitul de intrare total		*		*	*		*
Totalul pierderilor	*		*	*		*	
Debitul de ieșire total		*	*	*	*		

4.4.4. Calibrarea parametrilor modelelor incluse în HEC-HMS utilizate la modelarea și simularea hidrologică

Majoritatea parametrilor metodelor incluse pentru elementele hidrologice (subbazin, canal, etc.) pot fi estimați prin optimizare. Înainte de începerea optimizării, debitele observate trebuie să fie specificate pentru cel puțin un element hidrologic. Pot fi calculați parametrii pentru oricare element hidrologic situat în amonte de cel pentru care se dispune de debitele observate.

Determinarea diferențelor dintre debitele simulate și cele observate se poate realiza cu ajutorul a patru funcții obiectiv.

Pentru găsirea celui mai bun coeficient de corelație, între debitele simulate și debitele observate, pot fi folosite două metode diferite de căutare. Când se utilizează metodele de căutare, pot fi impuse valori limită pentru a restrânge domeniul de optimizare a parametrilor modelelor.

Calibrarea modelului este procesul de ajustare a valorilor parametrilor modelului până când rezultatele modelului se potrivesc cu datele istorice.

Procedura de calibrare începe cu baza de date. Pentru modelele ploaie-scurgere, datele necesare sunt precipitațiile și debitele.

Pentru modelele de propagare a scurgerii prin albie, datele necesare sunt hidrofragele observate a debitelor de intrare și de ieșire pe sectorul de râu pentru care se va face simularea.

Următoare etapă constă în alegerea valorilor inițiale ale parametrilor care, împreună cu condițiile de margine, vor fi folosite de programul HEC-HMS pentru calcularea debitului de ieșire fie din bazinul hidrografic, fie din canal (albie).

După efectuarea calculelor, programul HEC-HSM compară hidrograful simulat cu cel observat. Dacă diferența dintre hidrografele debitelor simulate și cele observate este prea mare, programul HEC-HMS ajustează sistematic parametrii și reiterează.

Măsura cantitativă a acurateții dintre cele două hidrografe este *funcția obiectiv*, care măsoară gradul de variație dintre hidrografele debitelor observate și cele simulate. "Cheia" modelului de calibrare automată este *metoda de căutare* a valorilor optime ale parametrilor astfel încât funcția obiectiv să aibe valoare minimă. iar hidrograful debitelor simulate reproduce cu acuratețe hidrograful debitelor observate.

Funcțiile obiectiv (criteriile de eficiență a modelelor) care pot fi selectate sunt:

- ❖ **Suma erorilor absolute.** Această funcție obiectiv compară ordonatele a hidrografului calculat cu hidrograful observat, ponderând fiecare egalitate. În acest caz, indicele comparației este diferența dintre ordonate. Această funcție indică acuratețea cu care hidrograful debitelor calculate simulează debitele observate (debite maxime, volume scurse și momentele de producere a debitelor maxime). Dacă valoarea acestei funcții este zero, atunci cele două hidrografe sunt identice.
- ❖ **Suma pătratelor reziduurilor.** Compară ordonatele hidrografului observat cu ordonatele hidrografului simulat dar, ca măsură a acurateții simulării folosește pătratul diferențelor (erorilor). Această funcție este, de asemenea, o metodă de comparației între amplitudinea hidrografelor, volumele scurse și momentele de producere a debitelor maxime.
- ❖ **Procentul erorii la vârf.** Funcția măsoară numai potrivirea dintre vârfurile celor două hidrografe și o cuantifică ca valoare absolută a diferenței exprimată în procente. Nu reflectă erorile volumelor sau ale momentelor de producere a debitelor maxime.
- ❖ **Ponderea maximumului - eroarea medie pătratică.** Funcția compară toate ordonatele, ridică la pătrat diferențele și, le atribuie o pondere. Ponderea atribuită fiecărei ordonate este proporțională cu amplitudinea ordonatei. Debitelor mai mari decât debitul mediu observat le este atribuită o pondere mai mare decât 1,0, iar celor mai mici decât debitul mediu observat le este atribuită o pondere mai mică decât 1,0. Debitului maxim al hidrografului observat îi este atribuită ponderea maximă. Suma ponderilor este împărțită la numărul ordonatelor hidrografului calculat rezultând media pătratului erorilor. Extrăgând radicalul rezultă, rădăcina medie pătratică a erorilor. Funcția reprezintă o metodă de comparație implicită a amplitudinii hidrografelor, volumelor scurse și momentului de producere a debitelor maxime.

În programul HEC-HMS sunt prevăzute și opțiuni pentru vizualizare grafică hidrografelor debitelor simulate și observate; a corelației dintre debitele calculate la fiecare interval de timp și valorile observate și, a erorilor aleatoare. De asemenea, programul calculează și desenează seria temporală a reziduurilor - diferențele dintre debitele observate și cele simulate. Graficul indică modul în care erorile de prognoză sunt distribuite de-a lungul duratei de simulare.

Metodele de căutare a valorilor optime ale parametrilor modelelor

După cum a fost menționat anterior, scopul calibrării este identificarea parametrilor optimi care să conducă la o potrivire între valorile simulate și cele observate, ca măsură a uneia dintre funcțiile obiectiv. Din punct de vedere matematic, acest fapt corespunde căutării parametrilor care *minimizează* valoarea funcției obiectiv. Căutarea se face prin *încercare - eroare* (trial and error). Sunt alese valorile inițiale ale parametrilor modelelor, este rulat programul și este calculată eroarea de simulare a debitelor. Dacă eroarea de simulare este prea mare, HEC-HMS modifică parametrii și reiterează. Metoda de căutare poate să fie algoritmul de căutare *gradient univariant* sau algoritmul de căutare al simplexului *Nelder și Mead*.

- ❖ Algoritmul de căutare "gradient univariant" - Această metodă se bazează pe metoda creată de către Newton, iar funcția obiectiv este aproximată prin serii Taylor . Algoritmul corectează succesiv valorile parametrilor modelelor. O corecție nu conduce, în general, la aflarea valorii minime a funcției obiectiv și, din acest motiv, ecuația este aplicată recursiv.. Ajustarea succesivă a parametrilor este repetată de patru ori. Algoritmul evaluează ultima ajustare pentru toți parametrii pentru a identifica cea mai mare reducere a funcției obiectiv.
- ❖ Algoritmul Nelder și Mead - caută valorile optime ale parametrilor fără să folosească derivatele funcției obiectiv. Valorile optime ale parametrilor sunt selectate cu ajutorul unei strategii care folosește cunoștințele acumulate la iterația anterioară pentru a identifica estimările bune, de a respinge estimările rele și, de a genera estimări și mai bune după modelul estimărilor bune. Algoritmul de căutare folosește *metoda simplex* - un set de valori alternative ale parametrilor și caută vortexul pentru care valoarea funcției obiectiv este minimă.

Restângerea căutării

Problema matematică de găsim a celor mai buni parametrii pentru un model ales este, ceea ce se numește *restrângerii optimizării*. De aceea, intervalul admis al parametrilor acceptabili, care se mai numesc și *variabile de decizie*, este limitat.

În timpul procedurii de căutare a valorilor optime ale parametrilor modelelor cu ajutorul algoritmul gradientului univariant sau Nelder & Mead, HEC-HMS verifică fiecare iterație astfel încât valorile parametrilor să fie într-un domeniu acceptabil. În cazul în care parametrii nu sunt în domeniul acceptabil, HEC-HMS modifică valorile înainte de a continua.

Utilizatorul poate impune propriile condiții ce definesc limitele între care vor fi calibrați parametrii modelelor. Programul HEC-HMS va considera aceste condițiile specificate de către utilizator ce fiind *condiții de soft*.

În tabelul 4.5. sunt redate valorile minime și maxime între care pot varia parametrii diferitelor modele utilizate în HEC-HMS.

Limitele parametrilor calibrați

Modelul	Parametrii	Minim	Maxim
Modelul pentru calcularea pierderilor			
Inițial și constant	Pierdere inițială	0 mm	500 mm
	Coeficientul constant	0 mm/oră	300 mm/oră
SCS	Reducerea inițială	0 mm	500 mm
	Numărul curbei	1	100
Green & Ampt	Deficitul de umiditate	0	1
	Conductivitatea hidraulică	0 mm/mm	250 mm/mm
	Sucțiunea din stratul umed	0 mm	1000 mm
Deficit și constant	Deficitul inițial	0 mm	500 mm
	Deficitul maxim	0 mm	500 mm
	Factorul de refacere a deficitului	0,1	5
Modelul de transformare			
HU Clark	Timpul de concentrare	0,1 ore	500 ore
	Coeficientul de stocare	0 ore	150 ore
HU Snyder	Pasul de timp	0,1 ore	500 ore
	C_p	0,1	1,0
HU SCS	Pasul de timp	0,1 min	30000 min
Unda cinematică	Coeficientul lui Manning n	0	1
Modelul scurgerii de bază			
Scurgerea de bază	Scurgerea de bază inițială	0 m ³ /s	100000 m ³ /s
	Factorul de recesie	0,000011	-
	Coeficientul scurgere-vârf	0	1
Modelul de rulare			
Muskingum	K	0,1 ore	150 ore
	X	0	0,5
	Numărul de sectoare	1	100
Unda cinematică	Valoarea factorului N	0,1	10
Lag	Pasul de timp	0 min	30000 min

CAPITOLUL 5

UTILIZAREA MODELELOR PENTRU SIMULAREA DEBITELOR MEDII ZILNICE ÎN SPAȚIUL HIDROGRAFIC BANAT

Modelele a căror prezentare teoretică a fost făcută în Capitolul 4, au fost testate în câteva dintre bazinele hidrografice din spațiul Banat, și anume Bega, Timiș, Caraș și Nera.

În bazinul hidrografic Timiș, regimul de curgere este influențat de acumularea Trei Ape, care transferă apă în bazinul hidrografic Bârzava și a cărei influență se resimte, în principal la stația hidrometrică Teregova și, acumulările Poiana Mărului și Zervești, care prin programul propriu de uzinări modifică, cu începere din 1994, regimul curgerii zilnice cu debite ce pot ajunge la 50 m³/s. Aceste debite se resimt puternic la stația hidrometrică Caransebeș și influențează și curgerea de la stația hidrometrică Lugoj. În bazinul Timiș au fost testate numai modelele incluse în sistemul de prognoză PROGSYS scopul fiind simularea debitelor medii zilnice de la stațiile hidrometrice Sadova (la care regimul de scurgere este slab modificat) și Lugoj.

Datorită dublei conexiuni Timiș-Bega, în bazinul hidrografic Bega, aval de stația hidrometrică Balinț, regimul de scurgere al apei este modificat. Modelele pentru simularea debitelor medii zilnice au fost testate în bazinul Bega considerând ca secțiune de închidere a bazinului stația hidrometrică Balinț, stație la care s-a ținut cont și de influența acumulării Surduc (râul Gladna) asupra regimului de scurgere al apei.

În bazinele hidrografice Caraș și Nera, modelele au fost utilizate pentru simularea debitelor medii zilnice în ultimele secțiuni de control și anume Vărădia respectiv Naidăș.

Modele au fost utilizate pentru simularea răspunsului bazinelor hidrografice, cel mai frecvent, a debitelor medii zilnice ca funcție de precipitație, evaporație potențială și parametrii care implicit sau explicit caracterizează condițiile hidrologice ale bazinelor hidrografice.

Toate modelele utilizate pentru simularea debitelor zilnice, a căror testare face obiectul acestei teze, includ următoarele funcții:

- definirea bazinului hidrografic care va fi modelat;
- calcularea și pregătirea datelor;
- alegerea parametrilor modelului;
- prezentarea rezultatelor modelului;
- analizarea rezultatelor modelului pe baza criteriilor predefinite.

Simularea regimului de curgere (debite medii zilnice) din secțiunile de închidere ale bazinelor hidrografice considerate se face în funcție de:

- debitele medii zilnice din secțiunile amplasate în amonte (modelele incluse în sistemul de prognoză PROGSYS);
- precipitațiile căzute și debitele medii zilnice din secțiunile din amonte (modelul LPM - model de perturbație liniară);
- precipitațiile căzute, evaporație potențială, infiltrație și debitele medii zilnice din secțiunile din amonte (modelul SMAR) sau,
- luând în considerare toate procesele hidrologice care se produc la scara unui bazin (sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS).

Parametrii modelelor variază în funcție de scopul urmărit - simularea debitelor maxime sau simularea debitelor minime. Indiferent de regimul hidrologic considerat, pentru perioade lungi de timp, scurgerea zilnică a apei poate fi simulată corect numai dacă volumele scurse sunt calculate corect.

Optimizarea parametrilor modelelor care au fost aplicate în bazinele hidrografice din Banat s-a făcut astfel încât să fie simulate cu acuratețe în special debitele medii zilnice din perioadele de ape mici, urmărind, în același timp, simularea corectă a volumelor lunare și anuale scurse.

Datele folosite ca intrări în modele sunt:

- **Debitele** Datele referitoare la debite iau în considerare valorile medii zilnice ale debitelor. Debitele înregistrate (observate) sunt folosite de către fiecare model pentru comparația cu debitele zilnice simulate (calculate de model).
- **Precipitațiile** Datele referitoare la precipitații iau în considerare numai zilele în care s-au înregistrat precipitații. Celelalte valori, din zilele fără precipitații, sunt zero.
- **Evaporația** Datele de evaporație se bazează pe observațiile zilnice. În perioada de iarnă aceste date lipsesc din măsurători.

Urmând practica tradițională, sugerată de Nash și Sutcliffe în 1970 (O'Connor, 1995), pentru testarea modelelor conceptuale de scurgere în bazine hidrografice, datele fiecărui bazin au fost împărțite în perioada de calibrare (pentru ajustarea modelului) și perioada de verificare (pentru testarea consistenței modelului ajustat asupra unui set independent de date). Pentru bazinele hidrografice considerate perioada aleasă pentru testarea modelelor este 1990-1997 (1990-1995 pentru calibrare și 1996-1997 pentru verificare).

Erorile dintre debitele măsurate și cele simulate se evaluează utilizând criteriile grafice și numerice (Șerban, Corbuș, 1989). Criteriul grafic constă în desenarea pe același grafic a hidrografelor debitelor medii zilnice măsurate și simulate. Criteriile numerice utilizate sunt: eroarea medie pătratică (MSE), criteriul de eficiență Nash-Sutcliffe (F^2), indexul ajustării volumetrice (IVF) și eroarea relativă a debitului maxim anual (RE). Primii doi indici ai eficienței modelului sunt considerați prin alegerea sumei pătratice a erorilor modelului, definită prin relația:

$$F = \sum (Q_i - \hat{Q}_i)^2 \quad (5.1)$$

astfel încât funcția obiectiv să fie minimizată prin calibrarea modelului, unde Q_i și \hat{Q}_i sunt debitele măsurate și simulate în secțiunea de ieșire din bazinul hidrografic considerat.

Pentru perioada de calibrare, eroarea medie pătratică (MSE) este definită prin relația:

$$(MSE)_c = \sqrt{\frac{\sum (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n_c}} = \text{varianța reziduală} \quad (5.2)$$

unde: c - perioada de calibrare;
 n_c - numărul de valori Q_i din perioada de calibrare;
 Q_i - debitele medii zilnice măsurate;
 \hat{Q}_i - debitele medii zilnice simulate.

Pentru perioada de verificare, eroarea medie pătratică este definită similar, folosind valorile pentru perioada respectivă.

Eroarea medie pătratică (MSE) este dimensională și depinde de lungimea șirului. Cu cât valoarea rezultată din calcule este mai mică, cu atât valorile debitelor medii zilnice simulate sunt mai apropiate de valorile debitelor medii zilnice măsurate. Dacă $MSE = 0$ înseamnă că debitele medii zilnice simulate sunt egale cu debitele medii zilnice măsurate.

Pentru perioada de calibrare, criteriul de eficiență R^2 rezultă din relația:

$$R^2 = \frac{F_0 - F}{F_0} \quad (5.3)$$

cu

$$F_0 = \sum (Q_i - \bar{Q}_c)^2 = \text{varianța inițială}$$

unde:

$$\bar{Q}_c = \frac{(\sum Q_i)}{n} = \text{media perioadei de calibrare}$$

Pentru perioada de verificare, criteriul R^2 este definit similar, folosind valorile din perioada respectivă.

Criteriul R^2 încearcă să compare erorile de prognoză cu erorile care se produc în absența modelului, când singura prognoză care poate fi elaborată este media multianuală a datelor (Șerban, Corbuș, 1989). Acest criteriu poate lua și valori negative în situația în care debitele medii zilnice prognozate de model sunt mai depărtate de debitele medii zilnice măsurate decât media acestora.

În analiza performanței modelelor, se va lua ține cont de condiția că un model este considerat acceptabil dacă valoarea criteriului de eficiență (R^2) este $\geq 0,36$; este bun dacă $R^2 > 0,5$ și, foarte bun dacă $R^2 > 0,7$ (Iritz, 1992; O'Connor, 1995).

Indexul volumetric (IVF) este o măsură pentru exprimarea gradului de acuratețe a volumelor scurgerii simulate față de scurgerea observată în perioada pentru care se face calibrarea și, este definit prin relația:

$$IVF = \frac{\sum \hat{Q}_i}{\sum Q_i} \quad (5.4)$$

unde: $\sum \hat{Q}_i$ suma debitelor simulate;

$\sum Q_i$ suma debitelor observate.

Independent de funcția obiectiv, care este minimizată în cadrul procedurii de calibrare a modelului, indexul IVF prezintă interes din punctul de vedere al performanței modelului pentru perioada considerată.

Deoarece, în timpul anului sunt și situații în care se produc viituri, pentru determinarea eficienței modelelor în astfel de situații s-a utilizat eroarea relativă a debitului maxim anual (RE) exprimată prin relația:

$$RE = \frac{|\delta Q|}{Q_p} = \frac{|\hat{Q}_p - Q_p|}{Q_p} \quad (5.5)$$

unde: \hat{Q}_p și Q_p sunt debitele maxime anuale simulate și observate.

Diferențele dintre valorile debitelor simulate și ale debitelor înregistrate sunt raportate la amplitudinea de variație a debitelor simulate. Pentru fiecare eroare se stabilește procentul pe care îl reprezintă din amplitudinea de variație respectivă. Modelul simulează foarte bine când erorile sunt până la 5% din amplitudinea de variație, bine dacă eroarea este sub 10% și satisfăcător când eroarea reprezintă până la 20% din amplitudinea de variație.

5.1. Sistemul de prognoză PROGSYS

Sistemul de prognoză PROGSYS include modele de rulare a curgerii prin albie și a fost aplicat bazinelor hidrografice Bega, Timiș, Caraș și Nera.

Datele folosite sunt:

- **Debitele** Datele referitoare la debite iau în considerare valorile medii zilnice ale debitelor. Debitele înregistrate (observate) sunt folosite de către fiecare model pentru comparația cu debitele zilnice simulate (calculate de model).

Optimizarea parametrilor modelelor incluse în sistemul de prognoză PROGSYS precum și simularea debitelor din secțiunile considerate s-a făcut pe baza debitelor zilnice măsurate la stațiile hidrometrice situate în amonte de stația hidrometrică aleasă. Subbazinele sunt conectate prin sectoare de râu pe care se produce rularea debitelor.

Sistemul de prognoză PROGSYS include mai multe modele hidrologice conceptuale și stocastice, a căror prezentare a fost făcută în Capitolul 4, paragraful 4.1, și anume:

- ARMA - autoregresie și medie glisantă;
- DLCM - cascadă liniară discretă;
- REACH - propagare pe sectoare de râu;
- LINREG - regresii liniare multiple și
- NONLIN - regresii neliniare multiple.

Au fost desenate schematizat rețelele hidrografice ale râurilor Bega (figura 5.1.), Timiș (figura 5.2.), Caraș (figura 5.3.) și Nera (figura 5.4.).

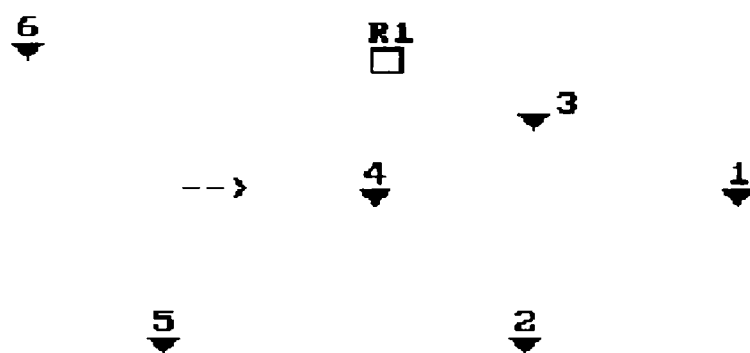


Figura 5.1. Schema de calcul a programului PROGSYS.
Bazinul hidrografic Bega până la stația hidrometrică Balinț.
1. Balinț; 2. Cladova; 3. Surduc; 4. Făget; 5. Poieni; 6. Luncani.

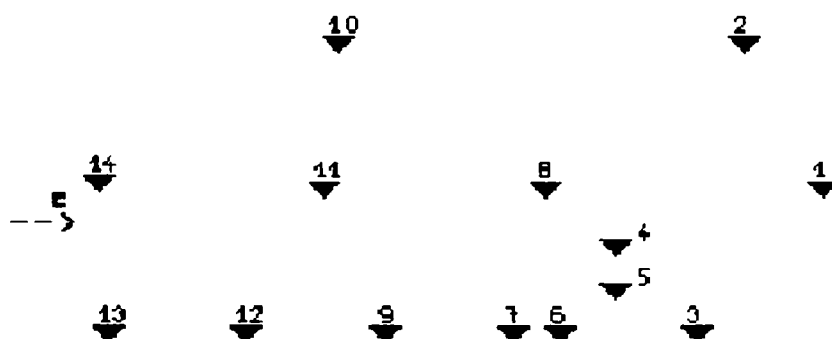


Figura 5.2. Schema de calcul a programului PROGSYS.
Bazinul hidrografic Timiș până la stația hidrometrică Lugoj.
1. Lugoj; 2. Găvojdia; 3. Nădrag; 4. Obreja; 5. Voislova;
6. Poiana Mărului (Șucu); 7. Poiana Mărului (Bistra Mărului);
8. Caransebeș; 9. Turnu Ruieni; 10. Goleț; 11. Sadova;
12. Feneș; 13. Rusca; 14. Teregova.

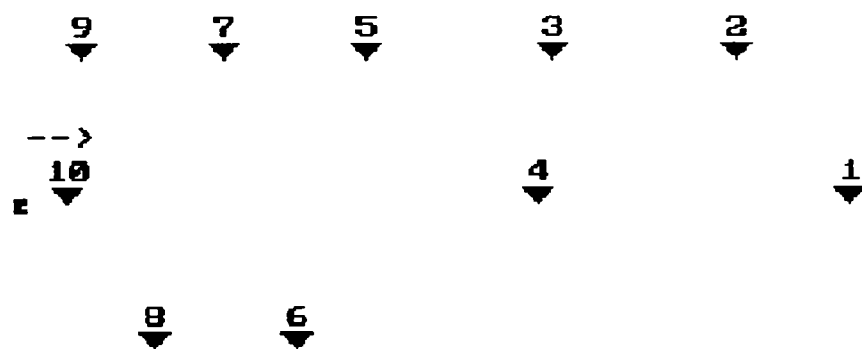


Figura 5.3. Schema de calcul a programului PROGSYS.
Bazinul hidrografic Caraș.

1. Frontieră; 2. Milcoveni; 3. Vraniuț; 4. Vărădia; 5. Brădișorul;
6. Comorâște; 7. Jitin; 8. Secășeni; 9. Gîrliște; 10. Carașova

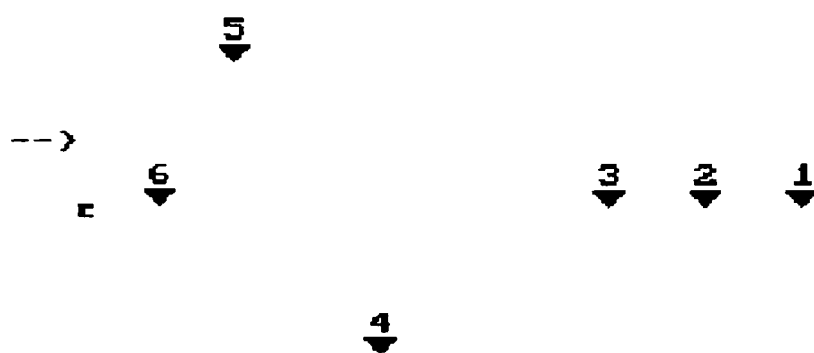


Figura 5.4. Schema de calcul a programului PROGSYS.
Bazinul hidrografic Nera.

1. Naidăș; 2. Sasca; 3. Dalboșeț; 4. Bozovici; 5. Prigor;
6. Pătaș.

A fost stocată baza de date pentru fiecare stație hidrometrică din bazinele hidrografice considerate. Sistemul de prognoză PROGSYS alege șirul de date necesar pentru un număr de opt modele de prognoză, dă rezultate ce trebuie analizate de prognozist iar funcțiile sunt prezentate grafic.

În faza de testare a modelelor în bazinele hidrografice considerate, s-a observat că rezultate se obțin numai în cazul modelelor DLGM, ARMA și LINREG.

Modelul REACH și, modelele NONLIN (variantele 1-4) nu au putut fi aplicate din cauze legate de soft, drept pentru care, nu au mai făcut obiectul testării în bazinele hidrografice considerate.

Optimizarea parametrilor a fost făcută pentru modele DLCCM, ARMA și LINREG pe baza datelor istorice astfel încât să simuleze cu o acuratețe cât mai mare debitele medii zilnice din perioadele de ape mici. Deoarece, în timpul anului sunt și situații în care se produc viituri, pentru determinarea eficienței modelelor în astfel de situații s-a utilizat eroarea relativă a debitului maxim anual (RE).

Datele de intrare în modele sunt debitele zilnice înregistrate la stațiile hidrometrice situate în bazinele hidrografice considerate. Calibrarea parametrilor se face separat, pentru fiecare model și pentru perioade de timp ce nu pot depăși un an. Baza de date care se stochează poate acoperi un interval de 100 de ani.

Perioada de testare este 1990 - 1997 (1990-1995 perioada de calibrare și 1996-1997 perioada de verificare), pentru a putea face o analiză comparativă a eficienței modelelor incluse în sistemul de prognoză PROGSYS cu celelalte modele de simulare a debitelor medii zilnice (LPM și SMAR), care folosesc pentru calibrare și verificare un interval de timp de 8 ani.

Optimizarea parametrilor modelului de tip ARMA

Modelul de tip ARMA se bazează pe cel mai pur algoritm stocastic adaptabil și nu necesită parametri de estimare stabiliți anterior. După primirea ultimelor date din teren, parametri sunt înlocuiți recursiv la intervale de timp discretizate și astfel este obținută prognoza.

Nu există o regulă generală pentru alegerea dimensiunilor modelului. Valorile optime pentru diferitele sectoare sunt determinate prin *încercare și eroare*.

Optimizarea parametrilor modelului DLCCM

Parametrii modelului DLCCM sunt K (*timpul de deplasare*) și N (*numărul de rezervoare*) și au fost optimizați pe baza debitelor medii zilnice din perioada aleasă. Optimizarea parametrilor a fost făcută prin metoda Rosenbrok elaborată în 1960.

În prognoza în timp real modelul DLCCM utilizează parametri optimizați indirect în cursul calibrării și care sunt stocați în program. Parametrii sunt stabili și robusți și nu este necesară înlocuirea lor în mod frecvent (Iritz ș.a., 1984).

Sensibilitatea parametrilor K și N se reflectă asupra formei și amplitudinii hidrografului de debite. Cu cât este mai mare valoarea lui N cu atât debitele medii zilnice simulate sunt mai mici decât debitele medii zilnice observate.

Optimizarea parametrilor modelului LINREG

Metoda permite găsirea corelației dintre curgerea de la stațiile hidrometrice situate în amonte, $u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)$ și curgerea care va apărea, cu o întârziere Δt cauzată de timpul de deplasare, la stația hidrometrică pentru care se elaborează prognoza, $y(t + \Delta t)$.

Constantele sunt definite pe baza observațiilor anterioare prin metoda de estimare a celor mai mici pătrate.

Modelul LINREG are două opțiuni. Astfel, în prima etapă, constantele ecuației de regresie sunt necunoscute. Ele vor fi optimizate pe baza șirurilor de date înregistrate anterior momentului pentru care se va elabora prognoza și apoi, constantele determinate prin

optimizare vor fi folosite la elaborarea prognozei. În etapa a doua, constantele determinate prin optimizare stocate în program și utilizate în cazul elaborării altor prognoze hidrologice.

Parametrii modelului definiți mai sus, sunt stocați dar pot fi modificați temporar (în cursul rulării curente a programului) sau, pot fi înlocuiți în baza de date prin valori noi.

Modificarea constantelor ecuației de regresie se reflectă în modificarea amplitudinii hidrografului debitelor. Cu cât valorile acestor constante sunt mai mari, debitele medii zilnice calculate de model sunt mai mici decât debitele medii zilnice observate.

Eficiența modelelor este analizată cu ajutorul celor patru indici enunțați anterior și anume: eroarea medie pătratică (MSE), criteriul de eficiență Nash-Sutcliffe (R^2), indexul ajustării volumetrice (IVF) și eroarea relativă a debitului maxim anual (RE).

Pentru fiecare bazin hidrografic studiat, au fost alese acele stații hidrometrice care să permită elaborarea unei prognoze hidrologice de mare acuratețe și cu un timp de anticipare cât mai mare.

Stațiile hidrometrice alese au cea mai mare influență asupra regimului de curgere al apei la stațiile hidrometrice pentru care s-a dorit elaborarea prognozei hidrologice. Este dificilă obținerea datelor de la toate stațiile hidrometrice situate în amonte de secțiunea considerată și, pe de altă parte, stabilitatea numerică a modelor poate fi afectată în mod negativ prin creșterea numărului de variabile.

Descrierea bazinelor hidrografice considerate sunt prezentate în tabelul 5.1. Perioada de calibrare și verificare a modelelor este prezentată în tabelul 5.2 iar, valorile optimizate ale parametrilor modelelor DLCM, LINREG și ARMA sunt redată în tabelele 5.3 - 5.5.

Tabelul 5.1.

Datele morfometrice ale bazinelor hidrografice selectate

Bazinul hidrografic	Stația hidrometrică	H_{med} (m)	F (km ²)
Timiș	Sadova	936	560
Timiș	Lugoj	666	2706
Bega	Balinț	335	1064
Caraș	Vărădia	347	877
Nera	Naidăș	590	1319

Tabelul 5.2

Perioada aleasă pentru calibrare și verificare

Bazinul hidrografic	Perioada de testare		Perioada de calibrare		Perioada de verificare	
	Nr. de ani	Intervalul de timp	Nr. de ani	Intervalul de timp	Nr. de ani	Intervalul de timp
Timiș	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997
Bega	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997
Caraș	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997
Nera	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997

Valorile optimizate ale parametrilor modelului ARMA

Bazinul hidrografic	Stația hidrometrică	Sectorul de calcul	Autoregresive	Regresii multiple	Parametru de eroare
Timiș	Sadova	Teregova - Sadova	2	1	1
Timiș	Lugoj	Sadova - Lugoj	2	1	1
Bega	Balinț	Făget-Balinț	2	1	1
Caraș	Vărădia	Izvoare - Vărădia	2	1	1
Nera	Naidăș	Dalboșeț-Naidăș	2	1	1

Tabelul 5.4.

Valorile optimizate ale parametrilor modelului DLGM

Bazinul hidrografic	Stația hidrometrică	Sectorul de calcul	K	N
Timiș	Sadova	Izvoare - Sadova	1	0,10
Timiș	Lugoj	Sadova - Lugoj	1	0,10
Bega	Balinț	Făget-Balinț	1	0,10
Caraș	Vărădia	Izvoare - Vărădia	1	0,05
Nera	Naidăș	Dalboșeț-Naidăș	2	0,25

Tabelul 5.5.

Valorile optimizate ale parametrilor modelului LINREG

Bazinul hidrografic	Stația hidrometrică	Sectorul de calcul	a	b	c	d
Timiș	Sadova	Izvoare - Sadova	1,20	1,20	1,20	-
Timiș	Lugoj	Sadova - Lugoj	0,98	0,98	-	-
Bega	Balinț	Făget-Balinț	1,40	1,40	-	-
Caraș	Vărădia	Izvoare - Vărădia	1,30	1,30	1,30	1,30
Nera	Dalboșeț	Izvoare - Dalboșeț	1,30	1,50	1,50	-
Nera	Naidăș	Dalboșeț-Naidăș	1,20	0,45	-	-

Bazinul hidrografic Timiș.

În bazinul hidrografic Timiș, simularea debitelor zilnice s-a realizat pentru stația hidrometrică Sadova, ca funcție de debitele zilnice înregistrate la stațiile hidrometrice Teregova, Rusca și Feneș, cât și pentru stația hidrometrică Lugoj, ca funcție de debitele zilnice înregistrate la stațiile hidrometrice Sadova și Obreja.

Modelul de tip ARMA. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 89,1% la Sadova și de 66,6% la Lugoj și, pentru perioada de verificare este de 60,8% la Sadova și de 61,9% la Lugoj. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare este de 2,51 m³/s la Sadova și de 18,1 m³/s la Lugoj și, pentru perioada de verificare este de 5,20 m³/s la Sadova și de 28,0 m³/s la Lugoj.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 50,4% și 96,2% la Sadova și, între 43,3% și 78,8% la Lugoj. Valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 0,930 și 5,92 m³/s la Sadova și, între 6,81 și 20,3 m³/s la Lugoj.

Modelul DLCM. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 85,7% la Sadova și de 93,3% la Lugoj și, pentru perioada de verificare este de 78,3% la Sadova și de 91,2% la Lugoj. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare este de 2,88 m³/s la Sadova și de 8,10 m³/s la Lugoj și, pentru perioada de verificare este de 3,87 m³/s la Sadova și de 13,9 m³/s la Lugoj.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 71,2% și 91,5% la Sadova și, între 60,8% și 97,8% la Lugoj. Valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,97 și 4,62 m³/s la Sadova și, între 8,98 și 19,2 m³/s la Lugoj.

Modelul LINREG. Indicele de eficiență (R^2) din perioada de calibrare este de 92,4% la Sadova și de 83,1% la Lugoj iar, în perioada de verificare este de 84,4% la Sadova și de 82,3% la Lugoj. Pentru perioada de calibrare, eroarea medie pătratică (MSE) este de 3,63 m³/s la Sadova și de 12,9 m³/s la Lugoj și, pentru perioada de verificare este de 3,29 m³/s la Sadova și de 19,8 m³/s la Lugoj.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 77,4% și 94,0% la Sadova și, între 90,3% și 99,3% la Lugoj. Valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,59 și 4,06 m³/s la Sadova și, între 4,82 și 15,4 m³/s la Lugoj.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3 tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Timiș sunt redați în anexa 3 tabelul 2 pentru stația hidrometrică Sadova și, în anexa 3 tabelul 3 pentru stația hidrometrică Lugoj.

Bazinul hidrografic Bega

Testarea modelelor s-a făcut până la stația hidrometrică Balinț, care este ultima secțiune în care regimul de curgere nu este influențat de lucrările hidrotehnice. Modelele ARMA, DLCM și LINREG necesită ca date de intrare numai debitele zilnice.

Simularea debitelor zilnice se poate realiza atât pentru stația hidrometrică Făget, în funcție de debitele zilnice înregistrate la stațiile hidrometrice Luncani și Poieni, cât și pentru stația hidrometrică Balinț, în funcție de debitele zilnice înregistrate la stația hidrometrică Făget. În teză se prezintă numai rezultatele obținute în simularea debitelor medii zilnice la stația hidrometrică Balinț.

Modelul de tip ARMA. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 10,9% și, pentru perioada de verificare este de 9,66%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare este de 6,13 m³/s și, pentru perioada de verificare este de 11,4 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 6,60% și 89,6% fiind zero în 1991 și 1996. Valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,17 și 12,7 m³/s.

Modelul DLCM Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 72,4% și, pentru perioada de verificare este de 54,6%. Eroarea medie pătratică (MSE) pentru perioada de calibrare este de 3,70 m³/s și pentru perioada de verificare valoarea sa este de 8,60 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 39,2% și 70,8% fiind zero în 1990 iar, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 2,12 și 8,75 m³/s.

Modelul LINREG. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 79,0% iar în perioada de verificare este de 70,6%. Pentru perioada de calibrare, eroarea medie pătratică (MSE) este de 6,37 m³/s în timp ce, pentru perioada de verificare valoarea sa este de 12,2 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 51,1% și 91,8% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 2,17 și 7,95 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3 tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Bega la stația hidrometrică Balinț sunt redați în anexa 3 tabelul 4.

Bazinul hidrografic Caraș

Testarea modelelor s-a făcut pentru simularea debitelor zilnice la stația hidrometrică Vărădia, care este ultima secțiune de control din bazin. Stațiile din amonte, care au influență asupra regimului de curgere sunt Carașova, Gîrliște și Jitin.

Modelul de tip ARMA. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 73,6% și, pentru perioada de verificare este de 20,6%. Eroarea medie pătratică (MSE) pentru perioada de calibrare este de 2,88 m³/s și pentru perioada de verificare valoarea sa este de 12,9 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 6,38% și 86,2% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,33 și 17,0 m³/s.

Modelul DLCM. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 68,9% și, pentru perioada de verificare este de 67,7%. Eroarea medie pătratică (MSE) pentru perioada de calibrare este de 3,13 m³/s și pentru perioada de verificare valoarea sa este de 7,65 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 60,5% și 83,0% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,01 și 8,49 m³/s.

Modelul LINREG. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 85,5% iar, în perioada de verificare valoarea sa este de 80,8%. Pentru perioada de calibrare, eroarea medie pătratică (MSE) este de 2,13 m³/s și, pentru perioada de verificare valoarea sa este de 5,90 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 71,5% și 88,8% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 0,905 și 6,33 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3 tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Caraș la stația hidrometrică Vărădia sunt redați în anexa 3 tabelul 5.

Bazinul hidrografic Nera

Simularea debitelor zilnice se poate realiza pentru stația hidrometrică Dalboșeț, ca funcție de debitele zilnice înregistrate la stațiile hidrometrice Pătaș, Prigor și Bozovici; pentru stația hidrometrică Sasca, ca funcție de debitele zilnice înregistrate la stația hidrometrică Dalboșeț și, pentru stația hidrometrică Naidăș ca funcție de debitele zilnice înregistrate la stațiile hidrometrice Dalboșeț și Sasca.

Modelele au fost utilizate pentru simularea debitelor medii zilnice de la stația hidrometrică Naidăș, care este ultima secțiune de control din bazin.

Modelul de tip ARMA. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 83,2% și pentru perioada de verificare este de 64,6%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare este de 4,44 m³/s și, pentru perioada de verificare valoarea sa este de 11,3 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 44,5% și 92,5% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 3,69 și 13,0 m³/s.

Modelul DLCM. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 91,6% și pentru perioada de verificare este de 93,5%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare este de 3,14 m³/s și, pentru perioada de verificare valoarea sa este de 4,85 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 80,9% și 97,1% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,73 și 6,19 m³/s.

Modelul LINREG. Criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare este de 96,2% iar, pentru perioada de verificare este de 97,4%. Pentru perioada de calibrare, eroarea medie pătratică (MSE) este de 2,10 m³/s în timp ce, pentru perioada de verificare valoarea sa este de 3,09 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 93,9% și 98,9% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,33 și 3,97 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3 tabelul 7 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Nera la stația hidrometrică Naidăș sunt redați în anexa 3 tabelul 6 .

5.2 Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de perturbare liniară LPM (Linear Perturbation Model)

Modelul LPM a fost testat în bazinele hidrografice ale râurilor Caraș, Nera și Bega superioară, bazine în care influența activității umane asupra scurgerii apei este minimă.

Modelul LPM a fost calibrat în bazinele hidrografice Bega superioară - în secțiunea stației hidrometrice Balinț ($F = 1064 \text{ km}^2$), Caraș - în secțiunea stației hidrometrice Vărădia ($F = 877 \text{ km}^2$) și Nera - în secțiunea stației hidrometrice Naidăș ($F = 1319 \text{ km}^2$).

Modelul este creat pentru a lucra cu date zilnice și acestea sunt:

- **Debitele** Datele referitoare la debite iau în considerare valorile medii zilnice ale debitelor. Debitele înregistrate (observate) sunt folosite de către fiecare model pentru comparația cu debitele zilnice simulate (calculate de model).
- **Precipitațiile** Datele referitoare la precipitații iau în considerare numai zilele în care s-au înregistrat precipitații. Celelalte valori, din zilele fără precipitații, sunt zero.

Caracteristicile bazinelor hidrografice considerate sunt prezentate în tabelul 5.1. de la paragraful 5.1.

Optimizarea parametrilor modelul LPM

În cazul în care nu există componentă sezonieră, *modelul de perturbare liniară* (LPM) este simplificat la *modelul simplu liniar* (SLM). În toate bazinele hidrografice studiate variațiile sezoniere sunt foarte mici și din această cauză, modelul de perturbare liniară LPM se transformă în modelul simplu liniar SLM.

Fiecare prognoză este subiectul erorilor și, în acest program, modelul autoregresiv AR este folosit ca o procedură pentru reactualizarea variabilelor de ieșire din model. Este necesară precizarea că, cu cât este mai mică valoarea parametrului w , cu atât este mai mare ponderea celor mai recente date. Se sugerează ca, în practică, valorile lui w să fie cuprinse în intervalul $0,85 - 1,0$. Când $w = 1,0$ algoritmul este redus la algoritmul de ponderi egale ale celor mai mici pătrate.

Prin aplicarea modelului autoregresiv AR, eficiența inițială a modelului LPM a fost mult îmbunătățită, pentru toate bazinele hidrografice selectate, atât pentru perioada de calibrare cât și pentru perioada de verificare.

Parametrii modelului ploaie-scurgere, care este inclus pentru determinarea hidrografului unitar (HU) al bazinului și pentru transformarea ploii nete în scurgere de suprafață, sunt numărul de armonici și lungimea memoriei. Încă de la definirea intrărilor în model, valorile acestor parametri sunt stabilite implicit astfel, numărul de armonici este de 4 pentru debitele de intrare și precipitație iar, lungimea memoriei sistemului este de 15 zile pentru debitele de intrare și ieșire și de 25 de zile pentru precipitație. În timpul operației de calibrare a modelului aceste valori pot fi modificate

La listarea rezultatelor simulării pentru modelul LPM, primele două linii conțin numele bazinului hidrografic și modelul care a fost folosit pentru obținerea acestor rezultate. Urmează unele informații referitoare la coeficienții seriei Fourier și sunt listate valorile corectate ale mediilor sezoniere ale intrărilor și ale debitului de ieșire. După aceea, sunt listate: hidrograful unitar calibrat și factorul de amplificare pentru fiecare intrare; valorile statistice atât pentru perioada de calibrare cât și pentru perioada de verificare.

Analiza sumară a datelor preliminare pentru bazinele hidrografice selectate și perioada aleasă pentru calibrare și verificare sunt redată în tabelele 5.6 - 5.7.

Analiza sumară a datelor preliminare pentru bazinele hidrografice selectate

Bazinul hidrografic	Perioada de testare	Nr. total de zile	Nr. de zile cu ploaie	Ploaie medie (mm/zi)	Evap. medie (mm/zi)	Debit mediu (mm/zi)
Bega	Calibrare	2191	1001	1,08	1,54	0,400
	Verificare	731	332	1,54	1,67	0,800
Caraș	Calibrare	2191	1084	1,59	1,67	0,421
	Verificare	731	353	1,95	2,29	0,950
Nera	Calibrare	2191	903	1,79	1,99	0,633
	Verificare	731	306	2,24	2,69	1,28

Tabelul 5.7.

Perioada aleasă pentru calibrare și verificare

Bazinul hidrografic	Perioada de testare		Perioada de calibrare		Perioada de verificare	
	Nr. de ani	Data de începere	Nr. de ani	Data de începere	Nr. de ani	Data de începere
Bega	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997
Caraș	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997
Nera	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997

Bazinul hidrografic Bega

Testarea modelului LPM în bazinul hidrografic Bega s-a făcut pentru stația hidrometrică Balinț, care este ultima secțiune în care regimul de curgere nu este influențat de lucrările hidrotehnice. În cazul modelului LPM, datele de intrare sunt: debitele medii zilnice de la stațiile hidrometrice Luncani, Poieni și precipitația medie zilnică pe bazin. Datele de ieșire din model sunt debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Balinț. Suprafața bazinului hidrografic la stația hidrometrică Balinț este de 1064 km². Harta bazinului hidrografic Bega până la stația hidrometrică Balinț este redată în anexa 3, figura 1.

Pentru a crește performanța inițială a modelului LPM, corectarea simulării debitelor medii zilnice s-a făcut prin modelul autoregresiv AR de ordinul (p) 2 și pondere (w) 1. Astfel, criteriul de eficiență R^2 a modelului LPM din perioada de calibrare a crescut de la 57,3% la 83,9% și, pentru perioada de verificare, a crescut de la 45,1% la 81,7%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare, a fost redusă de la 4,12 m³/s la 2,68 m³/s și, pentru perioada de verificare a fost redusă de la 9,74 m³/s la 5,62 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 88,2% și 94,7% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 0,81 și 3,75 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelului, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Bega la stația hidrometrică Balinț sunt redați în anexa 3, tabelul 4.

Bazinul hidrografic Caraș

Testarea modelului LPM în bazinul hidrografic Caraș s-a făcut pentru stația hidrometrică Vărădia, care este ultima secțiune de control din bazin. Datele de intrare în model sunt: debitele medii zilnice de la stațiile hidrometrice Carașova, Gîrliște și Jitin și, precipitația medie zilnică pe bazin. Datele de ieșire din model sunt debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Vărădia. Suprafața bazinului hidrografic la stația hidrometrică Vărădia este de 877 km². Harta bazinului hidrografic este redată în anexa 3, figura 2.

Pentru a crește eficiența inițială a modelului LPM, corectarea simulării debitelor medii zilnice s-a făcut prin modelul autoregresiv AR de ordinul (p) 2 și pondere (w) 1. Astfel, criteriul de eficiență R^2 a modelului LPM din perioada de calibrare a crescut de la 80,4% la 89,0% și, pentru perioada de verificare a crescut de la 64,2% la 86,6%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare, a fost redusă de la 2,45 m³/s la 1,87 m³/s și, pentru perioada de verificare, a fost redusă de la 8,60 m³/s la 5,27 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 69,1% și 97,1% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 0,71 și 3,13 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Caraș la stația hidrometrică Vărădia sunt redați în anexa 3, tabelul 5.

Bazinul hidrografic Nera

Testarea modelului LPM în bazinul hidrografic Nera s-a făcut pentru stația hidrometrică Naidăș, care este ultima secțiune de control din bazin. Datele de intrare în model sunt: debitele medii zilnice de la stațiile hidrometrice Pătaș, Prigor, Bozovici și precipitația medie zilnică pe bazin. Datele de ieșire model sunt debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Naidăș. Suprafața bazinului hidrografic la stația hidrometrică Naidăș este de 1319 km². Harta bazinului hidrografic este redată în anexa 3, figura 3 .

Pentru a crește eficiența inițială a modelului LPM, corectarea simulării debitelor medii zilnice s-a făcut prin modelul autoregresiv AR de ordinul (p) 2 și pondere (w) 1. Astfel, criteriul de eficiență R^2 a modelului LPM din perioada de calibrare a crescut de la 88,9% la 93,2% și pentru perioada de verificare a crescut de la 83,6% la 92,9%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare, a fost redusă de la 3,60 m³/s la 2,79 m³/s și, pentru perioada de verificare, a fost redusă de la 8,66 m³/s la 5,68 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 93,5% și 98,2% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,15 și 4,76 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Nera la stația hidrometrică Naidăș sunt redați în anexa 3, tabelul 6.

În general, abaterile valorilor debitelor medii zilnice simulate de către modele față de debitele măsurate sunt o consecință a erorilor care se fac la determinarea ploii medii pe bazin datorită densității reduse a rețelei pluviometrice existente.

Rezultatele simulării debitelor medii zilnice în cele trei bazine hidrografice cu modelul LPM, așa cum sunt ele afișate de către program, sunt redată în anexa 3, tabelele 7 -9. Primele două linii conțin numele bazinului hidrografic și modelul care a fost folosit pentru obținerea acestor rezultate. Urmează unele informații referitoare la coeficienții seriei Fourier și sunt listate valorile corectate ale mediilor sezoniere ale intrărilor și ale debitului de ieșire. După aceea, sunt listate: hidrograful unitar calibrat și factorul de amplificare pentru fiecare intrare; valorile statistice atât pentru perioada de calibrare cât și pentru perioada de verificare.

5.3. Prognoza debitelor medii zilnice pe baza modelului de bilanț al umidității solului și integrarea scurgerii pe versanți SMAR (Soil Moisture Accounting and Routing)

Modelul SMAR a fost testat în bazinele hidrografice Bega superioară - în secțiunea stației hidrometrice Balinț ($F = 1064 \text{ km}^2$), Caraș - în secțiunea stației hidrometrice Vărădia ($F = 877 \text{ km}^2$) și Nera - în secțiunea stației hidrometrice Naidăș ($F = 1319 \text{ km}^2$).

Modelul este creat pentru a lucra cu date zilnice, și anume:

- **Debitele** Datele referitoare la debite iau în considerare valorile medii zilnice ale debitelor. Debitele înregistrate (observate) sunt folosite de către fiecare model pentru comparația cu debitele zilnice simulate (calculate de model).
- **Precipitațiile** Datele referitoare la precipitații iau în considerare numai zilele în care s-au înregistrat precipitații. Celelalte valori, din zilele fără precipitații, sunt zero.
- **Evaporația** Datele de evaporație se bazează pe observațiile zilnice. În perioada de iarnă aceste date lipsesc din măsurători.

Caracteristicile bazinelor hidrografice considerate sunt prezentate în tabelul 5.1 de la paragraful 5.1 iar, hărțile bazinelor hidrografice sunt redată în anexa 3, figurile 1-3.

Optimizarea parametrilor modelului SMAR

În modelul SMAR componenta bilanțului apei conține cinci parametri (C, H, Z, T, Y) iar componenta de integrare a scurgerii pe versanți conține trei parametri (N și K) pentru scurgerea de suprafață și K_g pentru propagarea scurgerii subterane, unde:

- C – coeficientul de diminuare al evaporației.
- H – scurgerea directă;
- Z – capacitatea de umezire a solului (mm);
- T – factorul de conversie al evaporației măsurate în evaporație potențială;
- Y – rata de infiltrație (mm/zi);
- N - numărul de rezervoare;
- K - coeficientul de stocare al fiecărui rezervor;
- K_g - capacitatea rezervorului subteran.

Valoarea parametrului Z este fixată la 400 mm pentru a reduce numărul parametrilor care trebuie determinați. Parametrii componente de bilanț al apei și parametrii componente de integrare a scurgerii pe versant sunt optimizați prin metodele simplex și Rosenbrock,

urmărindu-se simularea corectă a volumelor anuale și creșterea eficienței inițiale a modelului. Valorile optimizate ale acestor parametri sunt redată în Tabelul 5.10.

Parametrii N și K sunt parametri de formă și, combinarea lor NK determină forma hidrografului debitelor. Parametrul Z -capacitatea de umezire a solului (mm)- determină amplitudinea hidrografului debitelor și, implicit volumele scurse.

Modelul autoregresiv AR este folosit ca o procedură pentru reactualizarea variabilelor de ieșire din model. Prin optimizarea parametrilor modelului și aplicarea modelului autoregresiv AR, eficiența inițială a modelului SMAR a fost mult îmbunătățită, pentru toate bazinele hidrografice selectate, atât pentru perioada de calibrare cât și pentru perioada de verificare.

Analiza sumară a datelor preliminare pentru bazinele hidrografice selectate, perioada aleasă pentru calibrare și verificare sunt redată în tabelele 5.8 - 5.9.

Tabelul 5.8.

Analiza sumară a datelor preliminare pentru bazinele hidrografice selectate

Bazinul hidrografic	Perioada de testare	Nr. total de zile	Nr. de zile cu ploaie	Ploaie medie (mm/zi)	Evap. medie (mm/zi)	Debit mediu (mm/zi)
Bega	Calibrare	2191	1001	1,08	1,54	0,400
	Verificare	731	332	1,54	1,67	0,800
Caraș	Calibrare	2191	1084	1,59	1,67	0,421
	Verificare	731	353	1,95	2,29	0,950
Nera	Calibrare	2191	903	1,79	1,99	0,633
	Verificare	731	306	2,24	2,69	1,28

Tabelul 5.9.

Perioada aleasă pentru calibrare și verificare

Bazinul hidrografic	Perioada de testare		Perioada de calibrare		Perioada de verificare	
	Nr. de ani	Data de începere	Nr. de ani	Data de începere	Nr. de ani	Data de începere
Bega	8	1 ian 1990	6	1 ian 1990	2	1 ian 1996
Caraș	8	1 ian 1990	6	1 ian 1990	2	1 ian 1996
Nera	8	1 ian 1990	6	1 ian 1990	2	1 ian 1996

Valorile optime ale parametrilor modelului SMAR

Bazinul hidrografic	C	Z (mm)	Y (mm/zi)	H	T	G	N	NK (zi)	K_G (zi)
Bega	0,52	400	200	0,26	0,52	0,83	1,92	2,34	36,50
Caraș	0,75	400	200	0,24	0,94	0,77	1,00	4,71	599,9
Nera	0,33	368	171,2	0,26	0,68	1,00	1,10	4,30	37,04

Bazinul hidrografic Bega

Testarea modelului SMAR în bazinul hidrografic Bega s-a făcut pentru stația hidrometrică Balinț. În cazul modelului SMAR, datele de intrare sunt precipitația medie pe bazin și evaporația. Datele de ieșire din model sunt debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Balinț. Suprafața bazinului hidrografic la stația hidrometrică Balinț este de 1064 km².

Pentru a crește performanța inițială a modelului SMAR, corectarea simulării debitelor medii zilnice s-a făcut cu modelul autoregresiv AR de ordinul (p) 2 și pondere (w) 1. Astfel, eficiența (R^2) modelului SMAR a crescut, în perioada de calibrare, de la 60,5% la 83,5% iar în perioada de verificare, creșterea a fost de la 67,0% la 84,9%. Pentru perioada de calibrare, eroarea medie pătratică (MSE) a scăzut de la 4,10 m³/s la 2,70 m³/s în timp ce, pentru perioada de verificare, scăderea a fost de la 7,56 m³/s la 5,13 m³/s.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 93,0% și 97,3% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 0,57 și 2,49 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Bega la stația hidrometrică Balinț sunt redați în anexa 3, tabelul 4 .

Bazinul hidrografic Caraș

Testarea modelului SMAR în bazinul hidrografic Caraș s-a făcut pentru stația hidrometrică Vărădia. Datele de intrare în model sunt precipitația medie pe bazin și evaporația. Datele de ieșire din model sunt debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Vărădia. Suprafața bazinului hidrografic la stația hidrometrică Vărădia este de 877 km²

Eficiența R^2 modelului SMAR a crescut, în perioada de calibrare, de la 38,0% la 84,5% iar în perioada de verificare, creșterea a fost de la 12,3% la 78,6%. Pentru perioada de calibrare, eroarea medie pătratică (MSE) a scăzut de la 4,46 m³/s la 2,24 m³/s în timp ce, pentru perioada de verificare, scăderea a fost de la 13,5 m³/s la 6,67 m³/s.

Pentru a crește eficiența modelului SMAR, corectarea simulării debitelor medii zilnice s-a făcut prin modelul autoregresiv AR de ordinul (p) 2 și pondere (w) 1.

Valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt cuprinse între 90,8% și 98,1% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 0,47 și 2,71 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Caraș la stația hidrometrică Vărădia sunt redați în anexa 3, tabelul 5.

Bazinul hidrografic Nera

Testarea modelului SMAR în bazinul hidrografic Nera s-a făcut pentru stația hidrometrică Naidăș, care este ultima secțiune de control din bazin. Datele de intrare în model sunt precipitația medie pe bazin și evaporația. Datele de ieșire din model sunt debitele medii zilnice de la stația hidrometrică Naidăș. Suprafața bazinului hidrografic la stația hidrometrică Naidăș este de 1319 km².

Performanța inițială a modelului SMAR a fost îmbunătățită prin corectarea simulării debitelor medii zilnice cu modelul autoregresiv AR de ordinul (p) 2 și pondere (w) 1.

Eficiența R^2 modelului SMAR a crescut, în perioada de calibrare, de la 43,6% la 88,6% iar în perioada de verificare, creșterea a fost de la 27,4% la 82,2%. Pentru perioada de calibrare, Eroarea medie pătratică MSE a scăzut de la 8,07 m³/s la 3,63 m³/s în timp ce, pentru perioada de verificare, scăderea a fost de la 24,2 m³/s la 9,04 m³/s.

Valorile anuale ale indicelui de eficiență R^2 sunt cuprinse între 92,0% și 98,8% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,48 și 4,06 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anualii pentru râul Caraș la stația hidrometrică Vărădia sunt redați în anexa 3, tabelul 6.

Rezultatele calculelor efectuate de către model sunt prezentate în formă tabelară.

Tabelul conține trei secțiuni distincte:

1. Informații generale, cum ar fi: numele bazinului; metoda utilizată pentru simularea debitelor; seriile de date; etc.; câți ani au fost luați în considerare; perioadele de calibrare și verificare; valorile inițiale ale parametrilor modelului; valorile optimizate ale modelului, dacă s-a ales opțiunea de optimizare; *lungimea memoriei (Memory length)*, care reprezintă lungimea hidrografului unitar și, ordonatele hidrografului unitar.
2. Lista statistică conține valori pentru perioadele de calibrare și verificare cât și pentru întregul interval de testare.
3. Rezultatele calculelor. Valorile debitelor măsurate și simulate.

Rezultatele calculelor efectuate de către modelul SMAR, așa cum sunt ele prezentate de către program (primele două secțiuni), pentru cele trei bazine hidrografice se regăsesc în anexa 3, tabelele 10 -12.

5.4. Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS

Valorile parametrilor modelelor incluse în sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS, trebuie specificate de către utilizator pentru a fi folosite de către program pentru calcularea scurgerii sau propagarea hidrografelor. Parametrii sunt stabiliți pe baza observațiilor, măsurărilor și caracteristicilor bazinelor hidrografice. Cu toate acestea, în HEC-HMS sunt incluse și unele modele ai căror parametrii nu pot fi estimați prin observații și măsurători sau din caracteristicile bazinelor hidrografice. Parametrul C_p al hidrografului unitar Snyder reprezintă un astfel de exemplu deoarece nu are semnificație fizică directă.

Cum pot fi selectate cele mai potrivite valori ale parametrilor ? Dacă observațiile asupra precipitațiilor și debitelor sunt disponibile, *calibrarea* este răspunsul. Calibrarea folosește observațiile hidrometeorologice pentru o căutare sistematică a parametrilor, care să conducă la cea mai bună concordanță între debitele simulate și debitele observate.

Procedura de căutare a valorilor optime ale parametrilor începe cu datele inițiale. Pentru modele ploaie-scurgere datele necesare sunt seriile de precipitații și debite. Pentru modelele de propagare prin albie datele necesare sunt debitele de intrare și debitele de ieșire din sectorul de râu considerat.

Pasul următor constă în selectarea valorilor inițiale ale parametrilor. Cu cât este mai bună valoarea inițială a parametrilor cu atât mai repede metodele de optimizare vor găsi soluția optimă.

Având valorile inițiale ale parametrilor, modelele incluse în HEC-HMS pot fi folosite, împreună cu condițiile de margine (precipitațiile sau debitele din amonte) pentru calcularea scurgerii directe sau a hidrografului de debite rezultat ca urmare a propagării scurgerii prin albie.

Din acest moment, HEC-HMS compară hidrograful calculat cu hidrograful observat, pentru a determina cât de bine se potrivesc debitele calculate cu sistemul hidrologic real. Dacă diferențele dintre debitele calculate și debitele observate sunt prea mari, HEC-HMS ajustează sistematic parametrii și reiterează. În cazul în care diferențele dintre debitele calculate și debitele observate sunt mici, HEC-HMS va raporta valorile parametrilor optimi. Parametrii astfel optimizați vor fi folosiți pentru calculele viitoare.

Programul HEC-HMS a fost testat în bazinele hidrografice Bega, Caraș și Nera.

În prima etapă au fost stabilite modelele bazinelor hidrografice, s-a ales modelul meteorologic și intervalele de timp pentru care să fie calibrate modelele.

Prin încercări succesive, s-a determinat că metodele care dau rezultate în cazul bazinelor hidrografice considerate sunt: *inițial și constant* - pentru definirea pierderii apei în subbazin; *hidrograful unitar Snyder* - pentru transformarea precipitației nete în scurgere de suprafață; *constanta lunară* - pentru luarea în calcul a aportului subteran la alimentarea cursului de apă și, *Lag* (propagare fără atenuare) - pentru propagarea scurgerii prin albie. În modelul meteorologic, analiza precipitațiilor s-a făcut cu *metoda ponderii stațiilor pluviometrice*. Nu a fost luată în considerare evaporația.

❖ Modelul "Inițial-Constant"

Conceptul modelului *inițial-constant* pentru determinarea pierderii de apă în subbazine este că, capacitatea de infiltrație, f_c , este constantă pe durata evenimentului. De aceea, dacă p_t este precipitația căzută în intervalul de timp t la momentul $t + \Delta t$, ploaia netă este definită prin:

$$pe_t = \begin{cases} p_t - f_c & \text{dacă } p_t > f_c \\ 0 & \text{dacă } p_t < f_c \end{cases} \quad (5.6)$$

Modelelui îi este adăugată valoarea pierderilor inițiale, I_a , pentru a reprezenta cantitatea de ploaie interceptată de învelișul vegetal și reținută în depresiunile terenului. Această pierdere din precipitația brută apare înainte de generarea scurgerii directe.

Scurgerea directă nu se produce până când cantitatea de apă acumulată în suprafețele permeabile nu depășește capacitatea maximă a rezervorului zonei nesaturate.

Modelul *inițial-constant* include un parametru (capacitatea maximă de infiltrație) și o condiție inițială (pierderile inițiale).

Capacitatea de infiltrație reprezintă proprietățile fizice ale solurilor, modul de utilizare a terenurilor și, este în funcție de umiditatea inițială a solului. Dacă terenul este saturat cu apă, valoarea parametrului I_a va fi aproape nulă. Dacă terenul este uscat atunci, valoarea parametrului I_a va crește pentru a descrie stratul maxim de precipitație care poate cădea în bazin fără a genera scurgere.

În 1986 Serviciul de Conservare a Solurilor din SUA a clasificat solurile pe baza capacității de infiltrație și, în anul 1982 Skaggs și Khaleel au publicat valorile capacității maxime de infiltrație pentru aceste soluri (tabelul 5.11.). În lipsa altor informații, pot fi utilizate aceste valori.

Deoarece capacitatea maximă de infiltrație nu este un parametru măsurabil, acesta, împreună cu condiția inițială vor fi determinați în cadrul procedurii de calibrare.

Tabelul 5.11.

Grupele de soluri și capacitatea maximă de infiltrație
(după SCS, 1986 și Skaggs și Khaleel, 1982)

Grupa de soluri	Descriere	Capacitatea maximă de infiltrație
A	Nisip, loess și conglomerate	0,30 - 0,45
B	Loess, argilă nisipoasă	0,15 - 0,30
C	Argile cleioase, argile nisipoase, soluri cu conținut organic slab și, soluri argiloase	0,05 - 0,15
D	Soluri care se gonflează când sunt ude, argilă plastică și soluri saline	0,00 - 0,05

❖ Modelul hidrografului unitar Snyder

În 1938, Snyder a publicat o descriere a hidrografului unitar parametric pe care l-a creat pentru analiza bazinelor hidrografice care nu dispuneau de observații și, a determinat o relație pentru estimarea parametrilor HU pe baza caracteristicilor bazinului hidrografic. Pentru acesta, Snyder a selectat pasul de timp, debitul maxim și timpul total al hidrografului viiturii ca și caracteristici critice ale hidrografului unitar. Snyder a definit hidrograful unitar sintetic ca fiind hidrograful pentru care durata ploii t_r este raportată la timpul de răspuns, t_p , pe baza relației:

$$t_p = 5,5 t_r \quad (5.7)$$

Timpul de răspuns reprezintă diferența dintre timpul de producere a debitului maxim al hidrografului unitar și timpul de producere a nucleului ploii nete, după cum este ilustrat în figura 5.5. Astfel, dacă este specificată durata, poate fi determinat timpul de răspuns al hidrografului unitar sintetic al lui Snyder (care reprezintă timpul de producere a debitului maxim al hidrografului unitar).

Dacă, durata hidrografului unitar care va fi determinat pentru bazinul hidrografic considerat este semnificativ diferită față de durata specificată în ecuația (5.8), pentru definirea timpului de producere a debitului maxim al hidrografului unitar ce va fi determinat va fi folosită relația:

$$t_{pR} = t_p - \frac{t_r - t_R}{4} \quad (5.8)$$

unde: t_R - durata hidrografului unitar care va fi determinat;
 t_{pR} - timpul de răspuns al hidrografului unitar care va fi determinat.

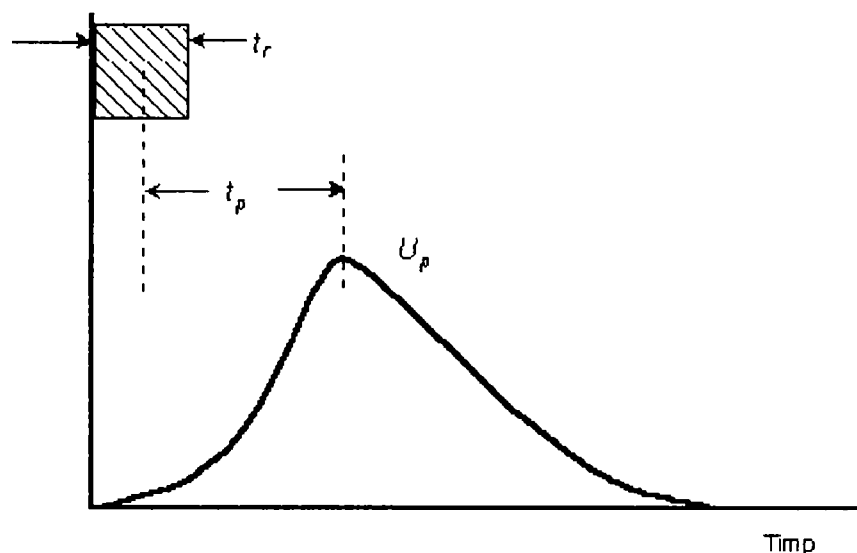


Figura 5.5. Hidrograful unitar Snyder.

Pentru cazul *standard*, Snyder a determinat că timpul de răspuns al hidrografului unitar și debitul maxim pe unitatea de ploaie netă și pe unitatea de arie a bazinului hidrografic este descris de relația:

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{t_p} \quad (5.9)$$

unde: U_p - debitul maxim al hidrografului unitar sintetic;
 A - aria bazinului de recepție;
 C_p - coeficientul debitului maxim al hidrografului unitar;
 C - coeficient de corecție (2,75).
 t_p - timpul de răspuns.

Pentru alte intervale de timp, debitul maxim al hidrografului unitar, Q_{pR} , este definit prin relația:

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{t_{pR}} \quad (5.10)$$

Modelul Snyder necesită specificarea valoarea timpului de răspund *standard*, t_p , precum și valoarea coeficientului debitului maxim al hidrografului unitar, C_p . Programul HEC-HMS determină din ecuația (5.8) valoarea lui t_{pR} egală cu valoarea intervalului de timp specificat și, rezolvă ecuația (5.8) pentru a determina timpul de răspuns al hidrografului unitar ce va fi determinat. În final, HEC-HMS rezolvă ecuația (5.10) pentru a determina debitul maxim al hidrografului unitar.

Snyder a propus o relație cu ajutorul căreia poate fi definit timpul total al hidrografului unitar. În locul acestei relații, programul HEC-HMS folosește debitul maxim și timpul de creștere pentru a determina un hidrograf unitar echivalent prin modelul Clark.

Estimarea parametrilor hidrografului unitar a lui Snyder a fost făcută pe baza șirurilor de date de precipitații și debite, din care a derivat hidrograful unitar sintetic descris anterior. Snyder a făcut parametrizarea acestor hidrografe unitare și, a raportat parametrii respectivi la caracteristicile măsurabile ale bazinului hidrografic. Pentru pasul hidrografului unitar, Snyder a propus relația:

$$t_p = CC_t(LL_c)^{0.3} \quad (5.11)$$

- unde: C_t - coeficientul bazinului;
 L - lungimea cursului de apă de la profilul de control până la cumpăna apelor;
 L_c - lungimea de-a lungul cursului de apă de la profilul de închidere până la proiecția centrului de greutate al bazinului pe firul albiei principale;
 C - coeficientul de corecție (0,75).

Parametrii C_t din ecuația (5.11) și C_p din ecuația (5.10) nu au semnificație fizică și, vor fi determinați prin procedura de calibrare.

Bedient și Huber au stabilit în 1992 (Manualul de utilizare al HEC-HMS, 2000) că valorile parametrului C_t variază în intervalul 1,8 – 2,2. În unele cazuri, valorile acestui parametru variază de la 0,4, în zonele montane, până la 8,0, în zonele de câmpie. Valorile parametrului C_p variază în intervalul 0,4 – 0,8 și, cele mai mari valori ale lui C_p sunt asociate cu cele mai mici valori ale lui C_t .

❖ Modelul Lag

Este cel mai simplu model de propagare a scurgerii prin albie care este inclus în sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS. Prin propagarea scurgerii prin albie utilizând acest model, hidrograful din secțiunea de ieșire este similar cu hidrograful din secțiunea de intrare dar, toate ordonatele sale sunt translatate cu o durată specificată. Debitele nu sunt atenuate astfel încât, forma hidrografului rămâne aceeași.

Matematic, ordonatele hidrografului debitelor din secțiunea aval sunt calculate cu relația:

$$Q_t = \begin{cases} I_t & t < lag \\ I_t lag & t \geq lag \end{cases} \quad (5.12)$$

- unde: Q_t - ordonatele hidrografului debitelor de ieșire la timpul t ,
 I_t - ordonatele hidrografului debitelor de intrare la timpul t ,
 lag - pasul de timp cu care sunt decalate ordonatele hidrografului.

Figura 5.6 prezintă rezultatele aplicării modelului Lag. În figură, hidrograful din amonte reprezintă "condiția de margine". Hidrograful din aval reprezintă curgerea calculată având ordonatele egale cu cele din amonte dar decalate în timp.

Dacă hidrografele debitelor observate sunt disponibile, poate fi estimat pasul de timp (decalarea) dintre timpii de creștere a debitelor maxime.

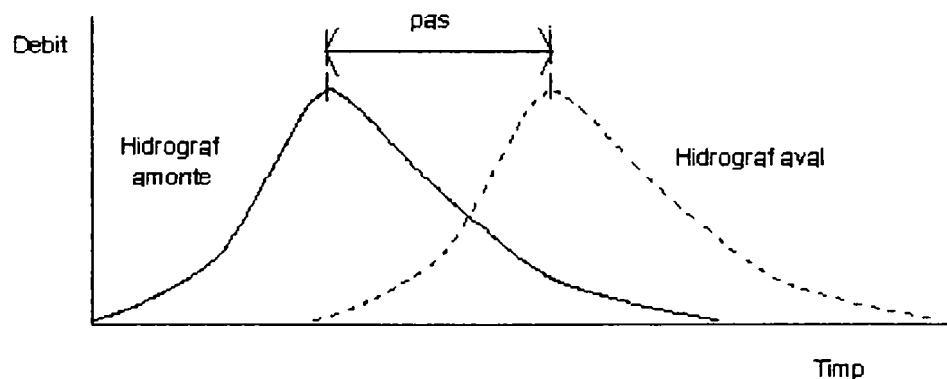


Figura 5.6. Exemplu de timp de decalare (lag) între două hidrografe.

Pentru a putea utiliza modelele incluse și facilitățile de care dispune sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS a fost necesară parcurgerea următoarelor etape:

- ◆ Crearea unui nou proiect și definirea acestuia. Definirea proiectului conține trei liste, și anume:
 - Modelul bazinului, care este format din elemente hidrologice. Un element reprezintă un proces fizic cum ar fi bazinul, albia râului sau confluența. Fiecare element reprezintă o parte din răspunsul total al bazinului hidrografic la precipitație.
 - Modelul meteorologic în care specifică stațiile pluviometrice și metoda de calcul a precipitației medii pe bazin.
 - Specificația de control - specificarea intervalului de timp pentru care se vor introduce datele (precipitații și debite) și se va realiza simularea debitelor
- ◆ Introducerea datelor istorice de debite și precipitații pe baza cărora vor fi calibrați parametrii modelelor alese.
- ◆ Rularea programului.
- ◆ Optimizarea parametrilor modelelor alese.

A fost creat câte un model al bazinului pentru bazinele hidrografice Bega, Caraș și Nera, model care folosește metodele pierderilor *inițial-constant*, *hidrografului unitar Snyder* - pentru transformarea precipitației în exces în scurgere de suprafață; *constanta lunară* - pentru modelarea cedării precipitație infiltrate cursului de apă și, *Lag* (propagare fără atenuare) - pentru propagarea curgerii prin albie.

Perioada de calibrare și verificare a modelelor este prezentată în tabelul 5.12 iar valorile valorile optimizate ale parametrilor modelelor sunt redate în tabelul 5.13.

Tabelul 5.12.

Perioada aleasă pentru calibrare și verificare

Bazinul hidrografic	Perioada de testare		Perioada de calibrare		Perioada de verificare	
	Nr. de ani	Data de începere	Nr. de ani	Data de începere	Nr. de ani	Data de începere
Bega	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997
Caraș	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997
Nera	8	1990-1997	6	1990-1995	2	1996-1997

Tabelul 5.13.

Valorile optimizate ale parametrilor modelelor alese pentru simularea debitelor medii zilnice, modele incluse în sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS

Bazinul hidrografic	Pierderile de apă în subbazin		Transformarea Snyder		Propagarea prin albie
	pierdere inițială (mm)	pierdere constantă (mm)	t_p (ore)	C_p	Lag (min.)
Bega	0,5	0,02	40,3	0,900	150
Caraș	1,0	0,001	26,99	0,503	150
Nera	2,0	1,0	26,7	0,500	200

Bazinul hidrografic Bega,

Parametrii modelelor incluse în HEC-HMS au fost optimizați în bazinul hidrografic Bega pentru simularea debitelor medii zilnice la stația hidrometrică Balinț. Ca intrări au fost considerate debitele observate la toate stațiile hidrometrice situate în amonte de Balinț și, restul de bazin controlat la stația hidrometrică Balinț a fost adăugat ca Subbazin 1 (figura 5.7). Modelul meteorologic pentru bazinul hidrografic Bega include ploaia medie zilnică pe bazin.

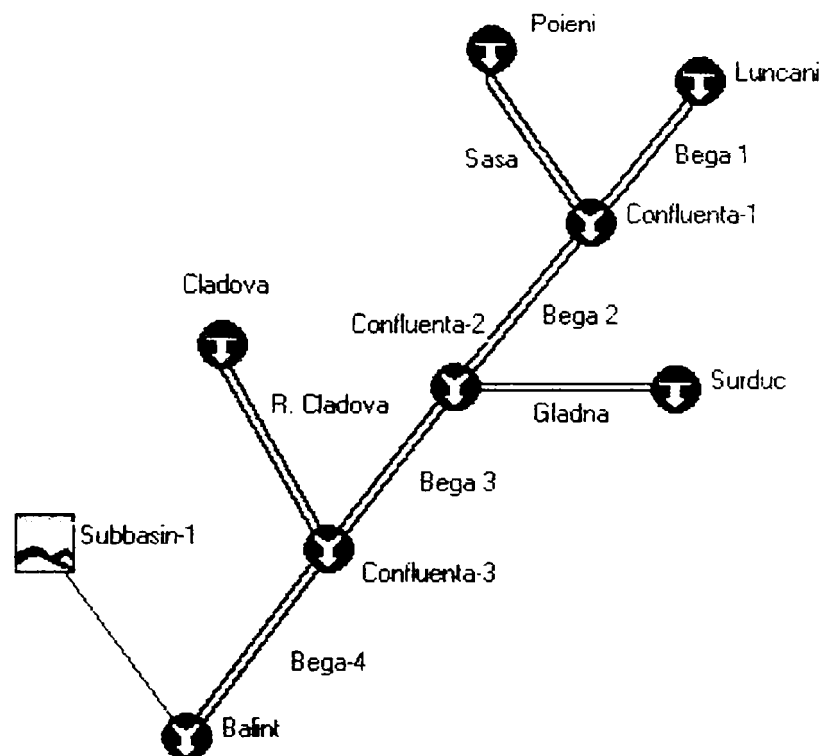


Figura 5.7. Schema de calcul a sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS pentru bazinul hidrografic Bega.

Prin optimizarea parametrilor modelelor din HEC-HMS, criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare a crescut de la 32,5% la 79,5% și, pentru perioada de verificare, a crescut de la 57,0% la 96,8%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare, a fost redusă de la 7,53 m³/s la 5,90 m³/s și, pentru perioada de verificare a fost redusă de la 8,48 m³/s la 2,52 m³/s.

Valorile anuale ale indicelui de eficiență R^2 sunt cuprinse între 86,2% și 93,0% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,39 și 4,05 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anualii pentru râul Bega la stația hidrometrică Balinț sunt redați în anexa 3, tabelul 4.

Bazinul hidrografic Caraș

Modelele incluse în HEC-HMS au fost testate în bazinul hidrografic Caraș pentru simularea debitelor medii zilnice la stația hidrometrică Vărădia.

Ca intrări au fost considerate debitele observate la toate stațiile hidrometrice situate în amonte de Vărădia și, restul de bazin controlat de stația hidrometrică Vărădia a fost adăugat ca Subbazin 1 (figura 5.8). Modelul meteorologic aferent include ploaia medie zilnică pe bazin.

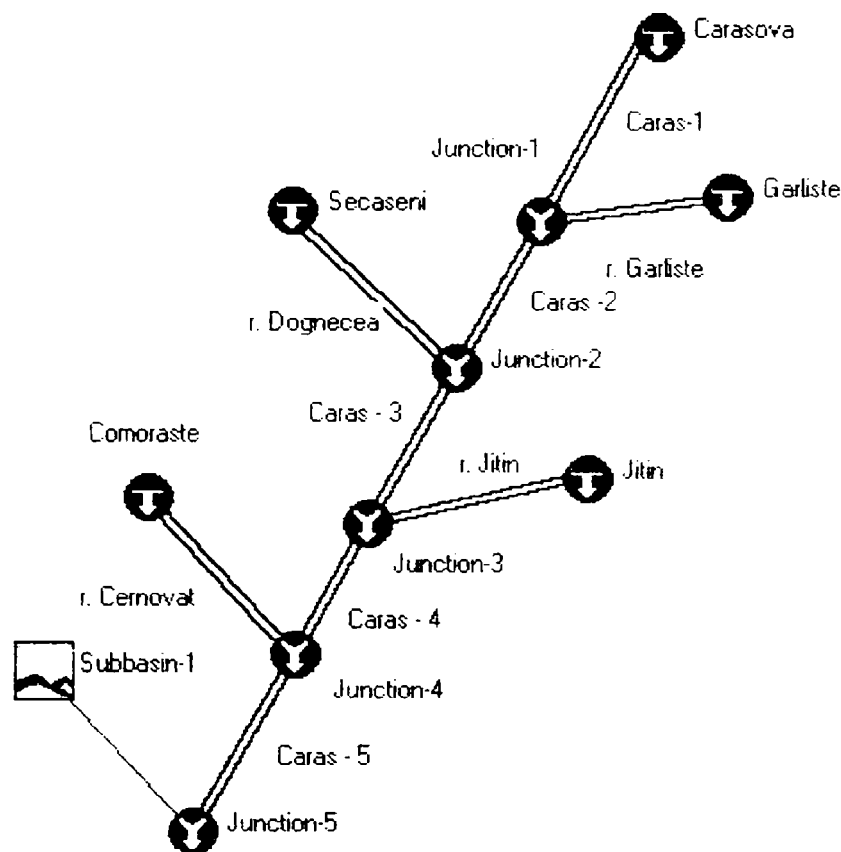


Figura 5.8. Schema de calcul a sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS pentru bazinul hidrografic Caraș.

Prin optimizarea parametrilor modelelor din HEC-HMS, criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare a crescut de la 48,0% la 84,5% și, pentru perioada de verificare a crescut de la 15,3% la 78,8%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare, a fost redusă de la 5,47 m³/s la 3,46 m³/s și, pentru perioada de verificare, a fost redusă de la 9,64 m³/s la 5,87 m³/s.

Valorile anuale ale indicelui de eficiență R^2 sunt cuprinse între 66,1% și 96,1% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,23 și 3,36 m³/s.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anuali pentru râul Caraș la stația hidrometrică Vărădia sunt redați în anexa 3, tabelul 5.

Bazinul hidrografic Nera

Modelele incluse în HEC-HMS au fost testate în bazinul hidrografic Nera pentru simularea debitelor medii zilnice la stația hidrometrică Naidăș. Ca intrări au fost considerate debitele observate la toate stațiile hidrometrice situate în amonte de Naidăș și, restul de bazin controlat de stația hidrometrică Naidăș a fost adăugat ca Subbazin 1 (figura 5.9). Modelul meteorologic aferent include ploaia medie zilnică pe bazin.

Prin optimizarea parametrilor modelelor din HEC-HMS, criteriul de eficiență R^2 din perioada de calibrare a crescut de la 53,6% la 87,6% și pentru perioada de verificare a crescut de la 77,4% la 94,2%. Eroarea medie pătratică (MSE), pentru perioada de calibrare, a fost redusă de la 7,42 m³/s la 3,77 m³/s și, pentru perioada de verificare, a fost redusă de la 5,67 mm²/zi la 2,41 m³/s.

Valorile anuale ale indicelui de eficiență R^2 sunt cuprinse între 93,4% și 98,4% și, valorile anuale ale erorii medii pătratice (MSE) sunt cuprinse între 1,15 și 5,07 m³/s.

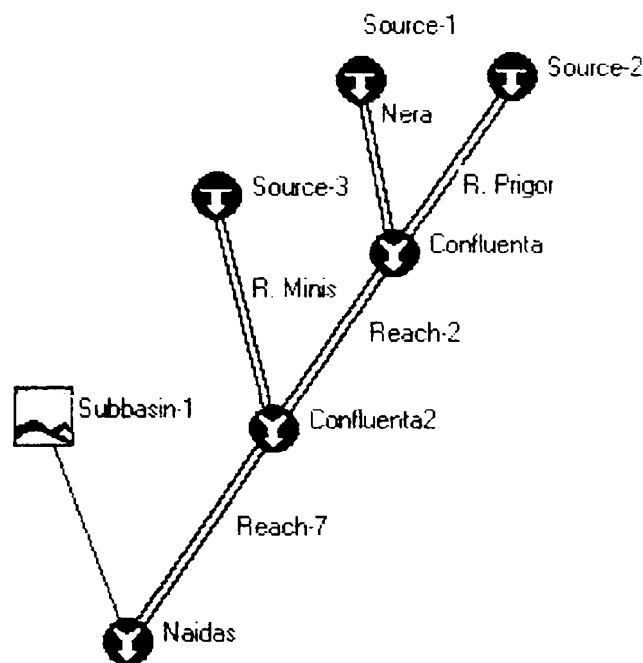


Figura 5.9. Schema de calcul a sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS pentru bazinul hidrografic Nera.

Indicii de eficiență ai modelelor, pentru perioadele de calibrare și verificare, sunt redați în anexa 3, tabelul 1 iar, indicii de eficiență anualii pentru râul Nera la stația hidrometrică Naidăș sunt redați în anexa 3, tabelul 6.

5.5. Analiza comparativă a rezultatelor obținute prin aplicarea modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice

5.5.1. Erorile relative

Pentru secțiunile considerate din cele patru bazine hidrografice în care s-au aplicat modelele pentru simularea debitelor medii zilnice, au fost făcute comparațiile dintre erorile relative (RE) ale debitelor maxime anuale simulate cu ajutorul modelelor ARMA, DLCM, LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS.

Din analiza referitoare la erorile relative pentru fiecare bazin hidrografic în parte, rezultă:

Bazinul hidrografic Timiș

Modelul de tip ARMA. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 41,9% la Sadova și de 50,4% la Lugoj iar, pentru perioada de verificare este de 46,2% la Sadova și de 25,5% la Lugoj. Erorile relative sunt mai mici decât 20% un an din cei 8 ani considerați la Sadova și în nici un an din cei 8 ani considerați la Lugoj.

Modelul DLCM. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 27,5% la Sadova și 15,0% la Lugoj iar, pentru perioada de verificare este de 16,2% la Sadova și 35,4% la Lugoj. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 5 ani din cei 8 ani considerați, atât la Sadova cât și la Lugoj.

Modelul LINREG. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 12,5% la Sadova și 10,8% la Lugoj iar, pentru perioada de verificare este de 17,2% la Sadova și 11,5% la Lugoj. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 6 ani din cei 8 ani considerați la Sadova și în 7 ani din cei 8 ani considerați la Lugoj.

Valorile erorilor relative sunt redate în anexa 3, tabelul 13 pentru stația hidrometrică Sadova și anexa 3, tabelul 14 pentru stația hidrometrică Lugoj.

Bazinul hidrografic Bega.

Modelul de tip ARMA. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 42,5% și, pentru perioada de verificare este de 32,5%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% într-un singur an din cei 8 ani considerați

Modelul DLCM. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 30,0% și, pentru perioada de verificare este de 33,4%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 3 ani din cei 8 ani considerați.

Modelul LINREG. Eroarea relativă medie (ARE) din perioada de calibrare este de 19,7% și, eroarea relativă medie din perioada de verificare este de 8,48%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 7 ani din cei 8 ani considerați

Modelul LPM. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 17,7% și, pentru perioada de verificare este de 10,3%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 6 din cei 8 ani considerați.

Modelul SMAR. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 17,9% și, pentru perioada de verificare este de 9,44%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 5 ani din cei 8 ani considerați.

Modelul HEC-HMS. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 14,0% și, pentru perioada de verificare este de 11,9%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 7 ani din cei 8 ani considerați.

Valorile erorilor relative pentru stația hidrometrică Balinț sunt redate în anexa 3, tabelul 15.

Bazinul hidrografic Caraș.

Modelul de tip ARMA. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 45,0% și, pentru perioada de verificare este de 68,8%. Erorile relative nu sunt mai mici decât 20% în nici un an din cei 8 ani considerați.

Modelul DLCM. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 40,2% și, pentru perioada de verificare este de 28,4%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% într-un singur an din cei 8 ani considerați.

Modelul LINREG. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 13,8% și, pentru perioada de verificare este de 20,1%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 6 ani din cei 8 ani considerați.

Modelul LPM. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 10,4% și, pentru perioada de verificare este de 2,05%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 7 ani din cei 8 ani considerați.

Modelul SMAR. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 11,8% și, pentru perioada de verificare este de 8,90%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în toți cei 8 ani considerați.

Modelul HEC-HMS. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 16,6% și, pentru perioada de verificare este de 12,9%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 6 ani din cei 8 ani considerați.

Valorile erorilor relative pentru stația hidrometrică Vărădia sunt redată în anexa 3, tabelul 16.

Bazinul hidrografic Nera

Modelul de tip ARMA. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 47,5% și, pentru perioada de verificare este de 34,7%. Erorile relative nu sunt mai mici decât 20% în nici un an din cei 8 considerați.

Modelul DLCM. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 10,3% și, pentru perioada de verificare este de 6,20%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 7 ani din cei 8 considerați.

Modelul LINREG. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 9,13% și, pentru perioada de verificare este de 2,30%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în toți cei 8 ani considerați.

Modelul LPM. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 10,2% și, pentru perioada de verificare este de 15,6%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în 7 ani din cei 8 considerați.

Modelul SMAR. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 7,54% și, pentru perioada de verificare este de 5,84%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în toți cei 8 ani considerați.

Modelul HEC-HMS. Eroarea medie relativă (ARE) pentru perioada de calibrare este de 12,0% și, pentru perioada de verificare este de 16,0%. Erorile relative sunt mai mici decât 20% în toți cei 8 ani considerați.

Valorile erorilor relative (RE) pentru stația hidrometrică Naidăș sunt redată în anexa 3, tabelul 17.

Hidrografele debitelor zilnice măsurate și simulate și corelațiile dintre debitele zilnice măsurate și simulate se regăsesc în anexa 3. Astfel, pentru râul Timiș, hidrografele debitelor măsurate și simulate prin aplicarea modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice și, corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 4 - 10 pentru stația hidrometrică Sadova și, în anexa 3, figurile 11 - 17 pentru stația hidrometrică Lugoj.

Pentru râul Bega la stația hidrometrică Balinț, hidrografele debitelor măsurate și simulate și, corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 18 - 28.

Pentru râul Caraș la stația hidrometrică Vărădia, hidrografele debitelor măsurate și simulate și, corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 29 - 41.

Pentru râul Nera, hidrografele debitelor măsurate și simulate și, corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 42 - 54.

Au fost calculate valorile debitelor medii anuale măsurate și simulate pentru fiecare model utilizat și pentru fiecare dintre stațiile hidrometrice din bazinele hidrografice considerate. Acestea se regăsesc în anexa 3, tabelele 2 - 6.

5.5.2. Analiza valorilor indicilor de eficiență

A fost făcută analiza valorilor indicilor de eficiență (R^2 , IVF , MSE) din perioadele de calibrare și verificare, a valorilor anuale ale indicilor de eficiență a modelelor și s-a ținut cont de condițiile că, un model este considerat acceptabil dacă criteriul de eficiență $R^2 \geq 0,36$; este bun dacă $R^2 > 0,5$ și, foarte bun dacă $R^2 > 0,7$ (Iritz, 1992; O'Connor, 1995).

Indexul volumetric (IVF) este o măsură pentru exprimarea gradului de acuratețe a volumelor scurgerii simulate față de scurgerea observată în perioada pentru care se face calibrarea. Când volumul scurgerii anuale simulate este egal cu volumul anual al scurgerii înregistrate valoarea sa este 1. Valori mai mici decât 1 indică că volumul scurgerii anuale simulate este mai mic decât volumul anual al scurgerii înregistrate iar, valori mai mari decât 1 indică că volumul anual al scurgerii simulate este mai mare decât volumul anual al scurgerii înregistrate.

Eroarea medie mătratică (MSE) este o măsură a abaterii debitelor simulate față de debitele observate. Dacă $MSE = 0$ înseamnă că debitele medii zilnice simulate sunt egale cu debitele medii zilnice măsurate.

Eroarea relativă (ER) este o măsură a erorilor de amplitudine dintre debitele simulate și cele observate și, pentru ca rezultatele obținute să fie bune, erorile relative trebuie să fie mai mici de 20%.

Ca urmare a analizei valorilor indicilor de eficiență s-au observat următoarele:

Bazinul hidrografic Timiș. La stația hidrometrică Sadova, în simularea debitelor medii zilnice din tot timpul anului, toate modelele utilizate au o eficiență R^2 bună și foarte bună. Volumele anuale scurse simulate sunt, în cazul modelelor DLDM și LINREG, mai mici decât volumele anuale scurse observate, iar în cazul modelului ARMA, volumele simulate au valori egale sau nesemnificativ mai mari decât volumele anuale observate. Eroarea medie pătratică (MSE) are valori acceptabile pentru toate modelele.

Acuratețe în simularea fazelor regimului de curgere din timpul anului se observă, în special, la modelele ARMA și LINREG (anexa 3, figurile 6 - 9). Modelul DLDM subestimează debitele din perioadele de viitură (eroare de amplitudine) iar, modelul ARMA decalează cu o zi debitele maxime, care sunt supraestimate (eroare de amplitudine și de fază).

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu cele modelele ARMA, DLDM și LINREG în perioada 1990-1997 sunt mai mici de 20% în perioadele de ape medii și mici dar depășesc 20% în lunile în care s-au înregistrat viituri.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt strâns grupate până la debitul de 40 m³/s (anexa 3, figura 10). Peste această valoare, punctele sunt dispersate. Cea mai strânsă corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă la modelul LINREG.

La stația hidrometrică Lugoj, în simularea debitelor medii zilnice din tot timpul anului, cele mai bune rezultate au fost obținute cu ajutorul modelului LINREG iar, modelele ARMA și DLDM simulează cu mare acuratețe numai debitele din perioadele de ape mici (anexa 3, figurile 11 - 16). Cu toate că indicii de eficiență anuală sunt buni și foarte buni, indexul volumetric anual (IVF) arată că volumele anuale scurse simulate sunt fie mult mai mici decât volumele anuale scurse reale (modelul DLDM), fie sunt semnificativ mai mari (modelul

ARMA) (anexa 3, tabelul 3). Eroarea medie pătratică (MSE) are valori foarte mari în cazul modelelor ARMA și DLCM și, semnificativ mai mici în cazul modelului LINREG. Acest fapt poate fi o consecință a calibrării parametrilor modelelor pentru perioadele de ape mici.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul ARMA în perioada 1990-1997 sunt mai mici de 10% în perioadele de ape medii și mici dar, depășesc 20% în lunile în care s-au înregistrat viituri. În cazul modelului DLCM, erorile relative ale debitelor medii lunare simulate sunt mai mici de 5% în perioadele de ape medii și mici iar, în lunile în care s-au înregistrat viituri, sunt mai mici de 10%. Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul LINREG sunt, în general, mai mici de 5%.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt grupate până la debitul de 200 m³/s (anexa 3, figura 17). Peste această valoare, punctele sunt dispersate. Cea mai strânsă corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă la modelul LINREG.

Bazinul hidrografic Bega. La stația hidrometrică Balașuț toate modelele utilizate au avut o eficiență bună și foarte bună în simularea debitelor zilnice din timpul anului cu excepția modelului ARMA. Criteriul de eficiență R^2 a modelului ARMA are doar trei valori anuale bune și foarte bune, în anii 1990, 1994 și 1997, celelalte fiind sub limita acceptabilă. Valorile anuale ale indexului volumetric (IVF) arată că volumele scurse simulate sunt mai mici decât volumele scurse reale în majoritatea anilor considerați și pentru aproape toate modelele utilizate (anexa 3, tabelul 4). Eroarea medie pătratică anuală (MSE) are valori relativ mari în cazul modelelor ARMA și DLCM, pentru celelalte modele valorile fiind acceptabile.

Toate modelele simulează cu acuratețe fazele regimului de scurgere din timpul anului (anexa 3, figurile 18 - 27). Modelul DLCM subestimează valorile debitelor maxime în timp ce modelul ARMA suprastimează toate valorile debitelor medii zilnice (erori de amplitudine). Modelele LPM, SLM și HEC-HMS simulează cu acuratețe debitele medii zilnice din tot timpul anului în timp ce, modelele DLCM și LINREG simulează cu acuratețe numai debitele medii zilnice din perioadele de ape mici.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelele ARMA, DLCM, LINREG în perioada 1990 - 1997 sunt mai mici de 10% în perioadele de debite medii și minime iar, în lunile în care s-au produs viituri depășesc, în unele cazuri, 20%.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelele LPM și HEC-HMS sunt mai mici de 10% în perioadele de debite medii și minime și, mai mici de 20% în lunile în care s-au produs viituri.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul SMAR sunt mai mici de 5% în perioadele de debite medii și minime și, mai mici de 20% în lunile în care s-au produs viituri.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt strâns grupate pentru modelele LPM, SMAR și HEC-HMS iar, pentru modelele ARMA, DLCM și LINREG valorile sunt bine corelate până la debitul de 30 m³/s (anexa 3, figura 28). Peste această valoare, punctele sunt foarte dispersate.

Bazinul hidrografic Caraș. La stația hidrometrică Vărădia, în simularea debitelor medii zilnice din tot timpul anului, rezultate foarte bune au fost obținute cu ajutorul modelelor LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS iar, modelele ARMA și DLCM simulează cu mare acuratețe mai ales debitele din perioadele de ape mici (anexa 3, figurile 29 - 40). Toate modelele simulează cu acuratețe fazele regimului de scurgere din timpul anului însă, modelul ARMA supraestimează valorile debitelor maxime în timp ce modelul DLCM le subestimează (erori de amplitudine).

Cu toate că valorile anuale ale criteriului de eficiență R^2 sunt bune și foarte bune, cu excepția anului 1997, când valoarea criteriului de eficiență a modelului ARMA este sub limita acceptabilă, valorile ANUALE ALE indexului volumetric (IVF) arată că volumele scurse simulate sunt fie mult mai mici decât volumele scurse observate (modelul DLCM), fie sunt sensibil mai mari sau mai mici (anexa 3, tabelul 5). Eroarea medie pătratică (MSE) are valori acceptabile.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul ARMA în perioada 1990 - 1997 sunt mai mici de 10% în perioadele de debite medii și minime iar, în lunile în care s-au produs viituri depășesc, în unele cazuri, 20%. În cazul modelului DLCM, erorile relative ale debitelor medii lunare simulate sunt, în general, mai mici de 20%.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS sunt mai mici de 10% în perioadele de debite medii și minime și, mai mici de 20% în lunile în care s-au produs viituri.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt foarte strâns grupate pentru modelele LPM, SMAR și HEC-HMS; strâns grupate pentru modelele DLCM și LINREG și dispersate pentru modelul ARMA (anexa 3, figura 41).

Bazinul hidrografic Nera. La stația hidrometrică Naidăș toate modelele utilizate au avut o eficiență R^2 bună și foarte bună în simularea debitelor zilnice.

Toate modelele simulează cu acuratețe fazele regimului de scurgere din timpul anului însă, modelul ARMA supraestimează valorile debitelor medii zilnice. Modelele LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS simulează cu acuratețe debitele medii zilnice din tot timpul anului (anexa 3, figurile 42 -53.).

Valorile anuale ale indexului volumetric (IVF) arată că volumele scurse simulate oscilează nesemnificativ, valori mai mici decât volumele anuale scurse observate fiind obținute în cazul modelului DLCM. Pentru toate modelele, eroarea medie pătratică (MSE) are valori mici, care sunt acceptabile.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul ARMA în perioada 1990-1997 sunt mai mari de 20%. În cazul modelului DLCM, erorile relative ale debitelor medii lunare simulate sunt, în general, mai mici de 20% dar, erori relative mai mari de 20% s-au înregistrat și în perioade de debite medii și minime.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS sunt mai mici de 5% în perioadele de debite medii și minime și, mai mici de 10% în lunile în care s-au produs viituri.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt strâns grupate pentru modelele DLCM, LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS și mai dispersate pentru modelul ARMA (anexa 3, figura 54).

Pentru perioade lungi de timp, de exemplu un an (cum este cazul modelelor folosite pentru simularea debitelor medii zilnice), scurgerea zilnică a apei este simulată corect numai dacă volumele scurse sunt calculate corect. Modelele LPM, SMAR și HEC-HMS calculează automat debitele medii lunare și volumul scurgerii anuale. În cazul modelelor ARMA, DLCM și LINREG a fost necesară efectuarea separată a calculelor pentru determinarea scurgerii lunare și anuale. În cazul valorilor lunare, oscilația diurnă a debitelor este eliminată și, este evidențiată mult mai bine acuratețea cu care scurgerea lunară calculată cu ajutorul modelelor conceptuale simulează scurgerea lunară observată.

Comparația dintre debitele medii lunare simulate și debitele medii lunare observate precum și variația indicelui volumetric lunar IVF, care este o măsură pentru exprimarea gradului de acuratețe a volumelor scurgerii lunare simulate față de scurgerea lunară

observată, sunt redată în anexa 3, figurile 55 - 56 pentru bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Sadova; anexa 3, figurile 57 - 58 pentru bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Lugoj; anexa 3, figurile 59 - 60 pentru bazinul hidrografic Bega la stația hidrometrică Balinț; anexa 3, figurile 61 - 62 pentru bazinul hidrografic Caraș la stația hidrometrică Vărădia și anexa 3, figurile 63 - 64 pentru bazinul hidrografic Nera la stația hidrometrică Naidăș.

Pe baza rezultatelor obținute în simularea debitelor medii zilnice din perioada 1990-1997, pentru fiecare bazin hidrografic se poate face o clasificare a modelelor, în ordinea performanței în simularea valorilor debitelor zilnice. Astfel:

❖ Bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Sadova

Modelul	
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici

❖ Bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Lugoj

Modelul	
LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici

❖ Bazinul hidrografic Bega la stația hidrometrică Balinț

Modelul	
SMAR	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
LPM HEC-HMS	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Modelul nu este potrivit bazinului

❖ Bazinul hidrografic Caraș la stația hidrometrică Vărădia

Modelul	
SMAR LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
LPM HEC-HMS	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici. Tendință de supraestimare a debitelor.

Modelul	
LPM SMAR HEC-HMS LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici. Tendință de supraestimare a debitelor.

5.6. Validarea eficienței modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice cu date din afara intervalului de calibrare și verificare

Validarea eficienței modelelor se face cu date care nu au fost utilizate pentru calibrare sau verificare și, în acest sens, au fost alese datele înregistrate în anul 2000.

Modelele au fost utilizate pentru simulare debitelor medii zilnice în aceleași secțiuni pentru care s-a realizat și calibrarea lor și nu au fost modificați parametrii. Pentru analiza eficienței modelelor au fost utilizați aceiași patru indici de eficiență și anume, eroarea medie pătratică (MSE), criteriul de eficiență Nash-Sutcliffe (R^2), indexul ajustării volumetrice (IVF) și eroarea relativă a debitului maxim anual (RE). Valorile indicilor de eficiență ai modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice care au fost aplicate în bazinele hidrografice Bega, Timiș, Caraș și Nera sunt redată în anexa 3, tabelul 18 iar, erorile relative ale debitelor maxime anuale simulate cu aceste modele sunt redată în anexa 3, tabelul 19.

Hydrografele debitelor măsurate și simulate în anul 2000 precum și corelațiile dintre debitele zilnice măsurate și simulate sunt redată în anexa 3. Astfel, pentru bazinul hidrografic Timiș, hidrografele debitelor măsurate și simulate în perioada 1 ianuarie - 31 decembrie 2000 și corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 65 - 68 pentru stația hidrometrică Sadova și, în anexa 3, figurile 69 - 72 pentru stația hidrometrică Lugoj

Pentru bazinul hidrografic Bega la stația hidrometrică Balinț, hidrografele debitelor măsurate și simulate în perioada 1 ianuarie - 31 decembrie 2000 și corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 73 - 78.

Pentru bazinul hidrografic Caraș la stația hidrometrică Vărădia, hidrografele debitelor măsurate și simulate în perioada 1 ianuarie - 31 decembrie 2000 și corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 79 - 85

Pentru bazinul hidrografic Nera la stația hidrometrică Naidăș, hidrografele debitelor măsurate și simulate în perioada 1 ianuarie - 31 decembrie 2000 și corelațiile dintre debitele simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figurile 86 - 92.

Din analiza indicilor de eficiență ai modelelor calculați pentru anul 2000 și a comparării hidrografelor debitelor medii zilnice simulate cu hidrografele debitelor medii zilnice înregistrate în cursul anului 2000, rezultă următoarele:

Bazinul hidrografic Timiș. La stația hidrometrică Sadova, în simularea debitelor medii zilnice din cursul anului 2000, toate modelele utilizate au simulat cu acuratețe fazele regimului de curgere. Performanța modelelor în simularea debitelor medii zilnice a fost bună. Volumul anual scurs simulat este, în cazul modelelor DLCM și LINREG, mai mic decât volumul anual scurs observat iar, în cazul modelului ARMA, volumul anual scurs

simulat are valoare mai mare decât volumul anual scurs observat (anexa 3, tabelul 18). Eroarea medie pătratică anuală (MSE) are valori mari.

Erorile relative ale debitului maxim anual simulat cu cele trei modele sunt mai mari de 20% (anexa 3, tabelul 19).

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate în cursul anului 2000 cu modelul ARMA sunt mai mici de 20% în 9 cazuri din 12 dar, depășesc 20% în lunile august și noiembrie, luni în care s-a produs curgerea minimă.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul DLCM sunt mai mici de 20% în 9 cazuri din 12 dar, depășesc 20% în lunile iulie și septembrie, luni în care s-a produs curgerea minimă.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul LINREG depășesc 20% și în perioada de ape mici.

Debitele medii lunare măsurate, debitele medii lunare simulate cu cele trei modele și, erorile relative se regăsesc în anexa 3, tabelul 20.

Cea mai strânsă corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă la modelul ARMA (anexa 3, figura 68).

În cursul anului 2000 cele mai bune rezultate în simularea debitelor medii zilnice din cursul anului au fost obținute cu modelul ARMA. Modelul DLCM a simulat cu acuratețe debitele medii zilnice din perioada de ape mici iar, modelul LINREG a simulat debite medii zilnice mai mari decât cele reale și în perioada de ape mici (anexa 3, figurile 65 - 67).

La stația hidrometrică Lugoj, în simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici, cele mai bune rezultate au fost obținute cu ajutorul modelului DLCM. Modelul ARMA simulează debite mai mari decât debitele înregistrate în perioada de ape mici iar, modelul DLCM simulează cu mare acuratețe numai debitele din ultimele trei luni ale anului 2000 (anexa 3, figurile 69 - 71). Valorile criteriului de eficiență R^2 indică că performanța modelelor este acceptabilă spre bună iar, valoarea indexul volumetric (IVF) arată că volumul anual scurs simulat este fie mai mic decât volumul anual scurs real (modelele DLCM și LINREG), fie semnificativ mai mare (modelul ARMA) (anexa 3, tabelul 18). Eroarea medie pătratică (MSE) are valori mari. Acest fapt poate fi o consecință a calibrării parametrilor modelelor pentru perioadele de ape mici.

La stația hidrometrică Lugoj, numai modelul ARMA a supraestimat debitul maxim anual eroarea relativă fiind de 73,1%. În cazul modelelor DLCM și LINREG erorile relative ale debitului maxim anual simulat sunt sub 5% (anexa 3, tabelul 19).

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul DLCM, în perioada de ape mici sunt mai mici de 5% cu o singură excepție și anume luna august când este mai mare de 5%.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelele ARMA și LINREG au, în general, valori ce depășesc 20%.

Debitele medii lunare măsurate, debitele medii lunare simulate cu cele trei modele și, erorile relative se regăsesc în anexa 3, tabelul 21.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că cea mai strânsă corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se regăsește în cazul modelului LINREG (anexa 3, figura 72).

În cursul anului 2000 cele mai bune rezultate în simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici au fost obținute de modelul DLCM. Modelele ARMA și LINREG au simulat debite medii zilnice mai mari decât cele reale (anexa 3, figurile 69 - 71).

Bazinul hidrografic Bega. Toate modelele simulează cu acuratețe fazele scurgerii din timpul anului 2000 (anexa 3, figurile 73 - 77). Diferențe între debitele medii zilnice simulate și debitele medii zilnice înregistrate în timpul anului apar în cazul modelului

ARMA iar, în cazul modelului DLCM mai ales în perioada de ape mari când debitele medii zilnice sunt mai mici decât cele reale. Cu excepția modelelor ARMA și DLCM, criteriul de eficiență R^2 al celorlalte modele are valori mai mari de 99%. Valorile indicelui volumetric anual (IVF) arată că volumele scurse simulate sunt egale cu volumele scurse reale, excepție făcând modelele ARMA în cazul cărui, volumul scurgerii simulate depășește volumul scurgerii reale și, DLCM care subestimează volumul scurgerii anuale (anexa 3, tabelul 18). Eroarea medie pătratică anuală (MSE) are valori mici.

Erorile relative ale debitului maxim anual simulat sunt mai mici de 10% cu excepția debitului maxim simulat de modelul DLCM a cărui eroare este mai mare de 20% (anexa 3, tabelul 19).

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul LPM sunt mai mici de 5% pentru tot anul 2000.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelele LINREG, SMAR, HEC-HMS sunt mai mici de 5% cu câteva excepții în care sunt mai mari de 5% dar mai mici de 10%.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul DLCM în perioada de ape mici sunt mai mici de 20% cu câteva excepții luna septembrie când, eroarea relativă depășește 20%.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul ARMA în perioada de ape mici sunt, în general, mai mari de 20%.

Debitele medii lunare măsurate, debitele medii lunare simulate, erorile relative se regăsesc în anexa 3, tabelul 22.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt strâns grupate pentru toate modelele (anexa 3, figura 78).

Se poate spune că, în simularea debitelor medii zilnice din cursul anului 2000, cele mai bune rezultate au fost obținute cu modelele LPM, SMAR, HEC-HMS și LINREG. Modelul DLCM a simulat cu o acuratețe relativ bună numai debitele medii zilnice din perioada de ape mici iar, modelul ARMA nu este potrivit bazinului.

Bazinul hidrografic Caraș. La stația hidrometrică Vărădia, în simularea debitelor medii zilnice din tot timpul anului, rezultate foarte bune au fost obținute cu ajutorul modelelor DLCM, LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS iar, modelul ARMA nu simulează cu acuratețe nici debitele din perioada de ape mici (anexa 3, figurile 79 - 83). Valorile criteriului de eficiență R^2 sunt peste 97% pentru toate modelele cu excepția modelului ARMA a cărui eficiență este de 54,6%. Valorile indexului volumetric (IVF) arată că volumul scurs simulat este egal cu volumul scurs observat în anul 2000 în cazul modelelor LINREG, DLCM, SMAR și HEC-HMS; este nesemnificativ mai mic în cazul modelului LPM și mult mai mare decât volumul scurs real în cazul modelului ARMA (anexa 3, tabelul 18). Eroarea medie pătratică (MSE) are valori mici.

Erorile relative ale debitului maxim anual simulat sunt mai mici de 10% la cu excepția debitului maxim simulat de modelul ARMA a cărui eroare este mai mare de 20% (anexa 3, tabelul 19).

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelele DLCM, LINREG, LPM, SMAR și HEC-HMS sunt mai mici de 5% pentru tot anul 2000.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul ARMA sunt foarte mari.

Debitele medii lunare măsurate, debitele medii lunare simulate cu cele trei modele și, erorile relative se regăsesc în anexa 3, tabelul 23.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt foarte strâns grupate pentru toate modelele (anexa 3, figura 85).

În simularea debitelor medii zilnice din cursul anului 2000, cele mai bune rezultate au fost obținute cu modelele SMAR, LPM,HEC-HMS, DLCM și LINREG. În perioada de ape mici, modelul ARMA a simulat debite medii zilnice foarte mari față de debitele înregistrate.

Bazinul hidrografic Nera. La stația hidrometrică Naidăș în simularea debitelor medii zilnice din cursul anului 2000, cele mai bune rezultate s-au obținut cu modelele LPM, și SMAR și HEC-HMS. Celelalte modele simulează cu acuratețe numai debitele medii zilnice din perioada de ape mici (anexa 3, figurile 86 - 90).

Valorile indexului volumetric IVF arată că volumul anual simulat este egal cu volumul anual observat în cazul modelelor LPM, SMAR și HEC-HMS; este mai mic decât volumul anual observat în cazul modelelor DLCM și LINREG și, nesemnificativ mai mare în cazul modelului ARMA (anexa 3, tabelul 18). Eroarea medie pătratică (MSE) are valori mici.

Erorile relative ale debitului maxim anual simulat sunt mai mici de 10% la cu excepția debitului maxim simulat de modelul LINREG a cărui eroare depășește 10% (anexa 3, tabelul 19).

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul SMAR sunt mai mici de 5% pentru tot anul 2000.

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul SMAR sunt mai mici de 5% pentru tot anul 2000. Exceptând, luna ianuarie, când eroarea relativă este mai mare de 5%, erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul LPM sunt mai mici de 5% iar, erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul HEC-HMS sunt, în general, mai mici de 10% dar nu depășesc 20%.

În primele cinci luni ale anului 2000, caracterizate printr-o scurgere mai bogată, erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul LINREG sunt, în general, mai mici de 20% iar, pentru restul anului, sunt mai mici de 10%. În cazul modelului DLCM, erorile relative ale debitelor medii lunare simulate sunt, cu câteva excepții, mai mici de 20%

Erorile relative ale debitelor medii lunare simulate cu modelul ARMA sunt, cu două excepții, mai mici de 10% în primele cinci luni ale anului 2000 ajungând la valori foarte mari în perioada de ape mici.

Debitele medii lunare măsurate, debitele medii lunare simulate cu cele trei modele și, erorile relative se regăsesc în anexa 3, tabelul 24.

Din graficele de corelație dintre debitele medii zilnice măsurate și debitele medii zilnice simulate se observă că valorile celor două șiruri sunt strâns grupate pentru toate modelele (anexa 3, figura 92).

În simularea debitelor medii zilnice din cursul anului 2000, cele mai bune rezultate au fost obținute cu modelele SMAR, LPM,HEC-HMS, LINREG și DLCM. În perioada de ape mici, modelul ARMA a simulat debite medii zilnice foarte mari față de debitele înregistrate.

Hidrografele debitelor medii lunare simulate și măsurate sunt redată în anexa 3, figura 93 pentru bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Sadova; anexa 3, figura 94 pentru bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Lugoj; anexa 3, figura 95 pentru bazinul hidrografic Bega la stația hidrometrică Balint; anexa 3, figura 96 pentru bazinul hidrografic Caraș la stația hidrometrică Vărădia și, anexa 3, figura 97 pentru bazinul hidrografic Nera la stația hidrometrică Naidăș.

Validarea performanței modelelor făcută pe baza datelor înregistrate în anul 2000 a confirmat faptul că, în general, modelele la care rezultatele obținute în perioadele de calibrare(1990 - 1995) și verificare (1996 - 1997) au fost bune, și-au menținut o eficiență foarte bună și în afara intervalului pentru care au fost testate.

Toate verificările care au fost făcute confirmă ipotezele, calculele și rezultatele obținute. Aceste verificări nu pot pune la îndoială baza teoretică acceptată și valorile optimizate ale parametrilor modelelor. Rezultatele sunt confirmate pe deplin.

Din aceste considerente, pentru simularea debitelor medii zilnice necesare în prognoza operativă de scurtă și medie durată, se recomandă următoarele modele:

- În *bazinul hidrografic Timiș*, la stația hidrometrică *Sadova*, modelele ARMA, DLCM și LINREG vor fi utilizate numai pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici.
La stația hidrometrică *Lugoș*, pentru simularea debitelor medii zilnice poate fi utilizat modelul LINREG. Modelele ARMA și DLCM vor fi utilizate numai pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici. Deoarece, regimul scurgerii este influențat permanent de uzinările de la Turnu Ruieni, în simularea debitelor medii zilnice necesare prognozei operative va fi luat în considerare și acest fapt.
- În *bazinul hidrografic Bega*, la stația hidrometrică *Balinț*, simularea debitelor medii zilnice poate fi făcută utilizând modelele LPM, SMAR și HEC-HMS. Modelele DLCM și LINREG vor fi folosite pentru simularea debitelor zilnice din perioadele de ape mici, pentru care, de altfel, au fost calibrate.
Modelul ARMA nu va fi folosit pentru simularea debitelor medii zilnice.
- În *bazinul hidrografic Caraș*, la stația hidrometrică *Vărădia*, pentru simularea debitelor medii zilnice necesare prognozei operative pot fi utilizate modelele LPM, SMAR, HEC-HMS și LINREG. Cu toate că rezultatele obținute în simularea debitelor medii zilnice din cursul anului 2000 sunt foarte bune comparativ cu cele din perioada de calibrare și verificare, modelul DLCM va fi folosit cu reținere în cazul simulării debitelor zilnice din perioadele de ape mari, dar, poate fi folosit pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici.
Modelul ARMA va fi utilizat cu reținere. Este posibil ca parametrii modelului să necesite recalibrare sau, ca modelul să nu fie potrivit bazinului.
- În *bazinul hidrografic Nera*, la stația hidrometrică *Naidăș*, simularea debitelor medii zilnice pentru prognoza operativă se poate face utilizând modelele LPM, SMAR, HEC-HMS și LINREG. Modelul DLCM poate fi utilizat numai pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici pentru care, de altfel, au fost calibrat. Modelul ARMA nu va fi folosit pentru simularea debitelor medii zilnice.

Relația hidrologică "intrare-ieșire" este, prin natura sa, de o mare neliniaritate. De aceea, nu este nevoie de un model complex pentru a obține o prognoză hidrologică exactă. În hidrologia practică, rezultate bune se pot obține utilizând modele mult mai simple.

Până în momentul de față, modelele LMP și SMAR au fost aplicate în 12 bazine hidrografice din 7 țări, cu suprafețe cuprinse între 1000 - 150.000 km².

Cu toate că autorii modelelor consideră că modelul SMAR este prea "primitiv" pentru modelarea procesului ploaie-scurgere și că, modelul LPM este performant în bazine hidrografice mari și cu umiditate ridicată, aplicarea lor în cazul bazinelor hidrografice Bega, Caraș și Nera a condus la rezultate bune.

Debitele medii zilnice simulate pentru stațiile hidrometrice alese prezintă o bună concordanță cu debitele înregistrate în aceleași secțiuni.

Eficiența modelelor a fost stabilită atât pentru întreaga perioadă de calibrare și de verificare cât și, pentru fiecare an în parte.

Prognoza în timp real se face pe baza datelor zilnice utilizând parametrii stocați.

Pe viitor, aceste modele vor fi utilizate pentru simularea debitelor medii zilnice și, atunci când va fi necesar, parametrii modelelor vor fi recalibrați.

5.7. Probleme care rămân deschise pentru continuarea cercetării

În momentul de față se recunoaște că scurgerea este rezultatul unui mecanism complex și că, în unele bazine hidrografice, o parte însemnată din hidrograful scurgerii este determinat din răspunsul întârziat al scurgerii hipodermice.

Parametrii modelelor conceptuale LPM și SMAR pot fi determinați din analiza hidrografelor înregistrate dar, nu pot fi determinați cu ușurință din caracteristicile fizice ale bazinului. Chiar dacă s-ar dispune de datele referitoare la proprietățile solului, acestea ar fi folosite ca informații calitative. Din această cauză, aplicarea acestor modele este semnificativ restricționată pentru bazinele nestudiate.

Parametrii modelelor au fost calibrați pe baza datelor istorice de ploaie-scurgere și au fost determinați pe baza analizei hidrografului observat la ieșirea din bazin.

Modelele de ploaie -scurgere pentru prognoza debitelor medii zilnice pe bazin sunt aplicate ca ploaie medie pe bazin pentru fiecare cap de bazin. Intervalul de calcul este de 24 ore. Rezoluția spațială și temporală a relației ploaie-scurgere este controlată prin caracteristicile datelor din rețea.

Atunci când se elaborează prognoza hidrologică, timpul de propagare a scurgerii și volumele corespunzătoare sunt investigate la scări de spațiu și de timp diferite față de cele pentru care au fost calibrați parametrii modelelor. Parametrii modelelor conceptuale sunt inerent legați de scările de spațiu și de timp pentru care au fost calibrați.

Parametrii modelelor LPM, SMAR și HEC-HMS se bazează pe precipitația medie pe întregul bazin hidrografic. Erorile de simulare în calcularea scurgerii zilnice pot fi semnificative dacă precipitațiile variază spațial și temporal pe cuprinsul bazinului.

Împărțirea unui bazin hidrografic în subbazine este uzual folosită pentru a putea lua în considerare variațiile datelor de intrare și caracteristicile bazinului. Dintre toate modelele de simulare a debitelor medii zilnice prezentate, numai în cazul sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS poate fi realizată împărțirea în subbazine. Astfel, calibrarea parametrilor modelelor incluse în HEC-HMS poate fi făcută pentru fiecare dintre subbazine folosind un număr limitat de ieșiri cu debite observate.

Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS dispune de facilități de calcul care permit luarea în considerare a modului de exploatare a lucrărilor hidrotehnice: debite derivate dintr-un bazin hidrografic în altul, exploatarea lacurilor de acumulare, etc.

Pe viitor, va fi extinsă aplicarea sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS. Datele de intrare în modelele incluse în HEC-HMS pot fi la intervale de câteva minute până la 24 de ore, din acest motiv modelul fiind mult mai potrivit diferitelor regimuri de scurgere.

Sistemul de prognoză PROGSYS, prin baza de date pe care o poate stoca, permite analiza scurgerii pe cazuri produse în trecut și care, probabil se pot produce în viitor.

Amenajările hidrotehnice din bazinele hidrografice Timiș și Bega modifică regimul scurgerii și, din această cauză, aplicarea modelelor incluse în sistemul de prognoză PROGSYS se va face pe sectoare de calcul separate, deoarece nu este posibilă scăderea debitelor zilnice care sunt derivate în alte bazine hidrografice.

CAPITOLUL 6

CONCLUZII. PROBLEME PENTRU CERCETAREA VIITOARE. CONTRIBUȚII

6.1. Concluzii

În conformitate cu problemele actuale și viitoare ale controlului cantității și calității apei, pentru dezvoltarea serviciilor de prognoză este necesară găsirea unor metode și modele optime pentru elaborarea de prognoze hidrologice sigure a debitelor minime pe râuri.

Această lucrare este rezultatul aplicării:

- metodelor stocastice care pot fi utilizate în prognoza hidrologică de scurtă, medie și lungă durată a debitelor medii minime;
- modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice în sisteme hidrologice.

Plecând de la titlul temei, ținând cont de scopul propus și anume prognoza în timp real precum și de metodele și modelele alese pentru realizarea scopului propus, utilizarea metodelor stocastice și a modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice, a fost efectuat studiul și analiza unei bibliografii actuale, acceptând anumite concepte considerate ca cele mai potrivite cu obiectivele tezei. În acest sens, s-a considerat ca necesară:

- definirea sistemului hidrologic;
- prezentarea clasificărilor modelelor hidrologice, a tipurilor de modele care pot fi folosite pentru simularea proceselor hidrologice care se produc într-un bazin hidrografic, modelare care se realizează pentru fiecare componentă în parte;
- prezentarea clasificării modelelor de prognoză, care nu este identică cu clasificarea modelelor hidrologice.

Prognoza hidrologică nu trebuie confundată cu calculele hidrologice (de prevedere) utilizate în scopuri de planificare și proiectare. Ambele activități necesită date istorice și pot folosi aceleași metode de analiză hidrologică și modelare. Cu toate acestea, prognoza hidrologică cuprinde activități tehnice suplimentare aflate în conexiune cu altele, cum ar fi observațiile meteorologice, rețeaua hidrometrică, prelucrarea datelor, telecomunicațiile, etc.

Prognoza hidrologică nu trebuie privită ca o tehnică specifică hidrologiei deoarece ea este o activitate economică care folosește câteva tehnologii dezvoltate, atât hidrologice cât și din afara hidrologiei.

Procesele hidrologice sunt influențate de către factorii meteorologici. Efectul acestora asupra regimului apei nu apare instantaneu sau imediat și, tocmai datorită acestui fapt, este posibilă prognoza componentelor ciclului hidrologic.

Pentru producerea și evoluția fenomenelor hidrologice în cadrul unui bazin hidrografic o mare importanță o au caracteristicile fizico-geografice. Acestea sunt utilizate în practică pentru determinarea metodelor de calcul a diferitelor elemente hidrografice.

Relieful, clima, condițiile de sol, de acoperire cu un tip sau altul de vegetație sunt factorii care generează și influențează scurgerea apei. Cunoașterea regimului de precipitații și temperatură este necesară pentru realizarea bilanțului apei. Precipitațiile reprezintă cantitatea de apă intrată în bazin iar temperatura influențează evapotranspirația.

Masele de aer maritim-arctic, maritim-polar și maritim-tropical afectează versanții masivelor Țarcu, Godeanu și Poiana Ruscăi, pe care lasă precipitații bogate, cu influențe pozitive asupra formării și alimentării rețelei hidrografice.

Raportul temperatură - precipitații determină variații în ceea ce privește scurgerea apei pe râuri, atât în funcție de altitudine cât și de anotimp. De-a lungul unui an temperatura aerului variază, apar influențe locale care schimbă regimul mediu înregistrat, acest lucru influențând perioadele de creștere și de scădere a debitelor pe râuri.

Evapotranspirația este un element major care influențează scurgerea râurilor. Valoarea evapotranspirației variază în funcție de formele de relief, altitudine, structură geologică, gradul de acoperire cu vegetație, tipul vegetației, circulația generală a atmosferei și cantitățile de precipitații căzute.

Scurgerea pe versanți, infiltrația și alimentarea subterană a râurilor variază în funcție de structura geologică și litologia reliefului, de înclinarea pantelor, de gradul de acoperire cu vegetație și cantitățile de precipitații căzute la diferite trepte de altitudine.

Valorile regimului mediu anual de precipitații și, a regimului mediu anual al temperaturilor din spațiul Banat au fost actualizate la nivelul anului 2000.

Câteva aspecte ale scurgerii minime determină convergența acestora pentru analiza statistică (Kovács în Starosolszki, 1987):

- scurgerea minimă este, de cele mai multe ori, limitată la sezonul de ape mici, care este bine evidențiat;
- cerințele de siguranță sunt mult mai puțin severe decât cele referitoare la protecția împotriva viiturilor de aceea, cele mai frecvente studii necesită valorile scurgerii minime cu frecvența de producere de 5 - 20 de ani;
- efectele activității umane (utilizarea terenului, exploatarea freaticului, etc.) sunt mult mai mari în cazul scurgerii minime decât în cazul scurgerii medii și maxime;
- din primele două aspecte, rezultă că frecvența de producere, care are relevanță practică, este aproape egală cu lungimea șirului de date;
- datorită puternicului impact al activității umane, în prevederea condițiilor viitoare de producere a scurgerii minime pe baza analizei statistice a datelor istorice, există un mare grad de incertitudine.

Analiza statistică necesită interpretarea fizică a oricărei neomogenități în seria de date. Cele mai mari neomogenități rezultă din variatele modificări ale regimului hidrologic în cadrul unui bazin.

În cursul analizei statistice a seriilor de debite medii minime s-a urmărit: omogenitatea și independența observațiilor; determinarea funcțiilor de distribuție și, ajustarea funcției de distribuție.

Independența seriilor de date a fost determinată cu metoda WALD-WOLFOWITZ și, cu testul KOLMOGOROV-SMIRNOV a fost analizată omogenitatea seriei de date. Din această analiză a rezultat că seriile de debite medii minime sunt omogene și independente atât la stațiile hidrometrice la care regimul de curgere nu este modificat, cât și la stațiile hidrometrice al căror regim de scurgere este modificat de amenajările hidrotehnice existente.

Șirurile debitelor medii minime reprezintă serii temporale, iar o serie temporală are trei componente de bază: tendința, componenta periodică și componenta stocastică.

Resursele de apă sunt influențate puternic de variațiile climatice și din această cauză anumite variabile hidrologice, cum ar fi scurgerea de suprafață, pot fi considerate ca variabile climatice.

Analiza datelor și informațiilor istorice hidrologice și meteorologice, în special a seriilor temporale lungi, dar mai mici de 100 de ani, este utilă în înțelegerea variabilităților climatice și, are ca scop, cunoașterea variabilității hidrologice în contextul variabilității climatice.

Analizele respective pot furniza informații privind efectele variabilității climatice asupra sistemelor hidrologice punând în evidență tendințele posibile. Aceste informații sunt necesare atât în domeniul hidrologiei cât și al gospodăririi apelor (Stănescu, Corbuș, Simota, 1999).

- ❖ Pentru determinarea tendinței de lungă durată, au fost trasate graficele de variație de la an la an a debitelor medii lunare minime anuale și a debitelor medii zilnice minime anuale în regim natural. S-a observat că variațiile de la an la an ale debitelor medii minime sunt dependente de cantitățile de precipitații anuale, având creșteri și scăderi uniforme iar, dependența scurgerii față de factorii meteorologici se reflectă în tendințele generale de creștere sau de scădere. De asemenea, s-a observat că pe ansamblul fiecărui bazin hidrografic, variația de la an la an a debitelor medii minime este bine corelată pe cursurile principale și pe afluenți. Diferențele care apar se datorează distribuției areale a precipitațiilor, răspunsului bazinului hidrografic, epuizării stocului de apă din bazin sau caracterului azonal al scurgerii în unele subbazine.

Analiza variației de la an la an a curgerii minime a stat la baza alegerii intervalului de timp pentru care modelele de simulare a debitelor medii zilnice prezentate în Capitolul 4 au fost calibrate. Deoarece numărul de ani pentru care se face testarea acestor modele este limitat la opt, este importantă stabilirea intervalului de timp, care să includă ani ploioși și ani secetoși.

- ❖ Determinarea componentei periodice a seriilor temporale a fost realizată prin analiza de autocorelație. Metoda autocorelației a fost aplicată pentru debitele medii lunare minime anuale.

Autocorelația reflectă structura internă a seriei temporale, depinzând de raportul dintre componenta periodică și componenta stocastică. Coeficienții de autocorelație scot în evidență caracterul aleator al valorilor, condiție cerută în aplicarea riguroasă a calculelor de probabilitate. Intervalul de încredere a fost stabilit pe baza testului Andersen.

În urma calculelor, a rezultat că debitele medii lunare minime anuale din spațiul Banat sunt aleatoare.

- ❖ Din punct de vedere stocastic debitele medii lunare minime anuale pot fi independente sau dependente. Acest lucru este legat de schimbările anuale pe care le suferă stocul total de apă din bazin. Dependența în timp a seriei de debite medii lunare minime anuale este în mare măsură o funcție de caracteristicile geologice ale bazinului hidrografic.

Ca urmare a calculelor statistice efectuate asupra șirurilor de debite medii minime înregistrate în spațiul Banat, se poate afirma că, debitele medii minime sunt dependente sau independente și aleatoare.

Deoarece generarea de șiruri de debite medii minime nu face obiectul studiului, nu a fost determinată componenta stocastică a seriilor temporale.

Pentru prognoza de scurtă durată a debitelor medii minime au fost utilizate relațiile dintre stațiile hidrometrice (metoda debitelor corespondente). Pentru aplicarea acestei metode, au fost stabilite relațiile dintre debitele medii zilnice minime care se produc simultan (cu o întârziere datorată timpului de propagare) la două stații hidrometrice situate pe același curs de apă, în amonte și aval. În cazul în care relația de corespondență este stabilită pe baza debitelor medii zilnice minime, metoda debitelor corespondente poate fi folosită în prognoza hidrologică de scurtă durată din perioada de ape mici. Pe râurile din Banat, metoda debitelor corespondente este utilizată frecvent pentru elaborarea prognozei hidrologice de scurtă durată.

Prognoza de lungă durată a debitelor medii minime se exprimă în termeni de probabilitate. În prognoza de scurtă durată valoarea prognozei este unică, în timp ce, în prognoza de lungă durată, incertitudinile sunt atât de mari, încât prognozarea unei singure valori trebuie să reflecte probabilitatea de distribuție condiționată a debitelor viitoare.

Pentru a determina probabilitatea de apariție a valorilor debitelor medii minime, au fost făcute prelucrările statistice aferente. Curba de distribuție empirică a fost trasată pe baza formulei lui Cebâșev, iar curba teoretică care se potrivește cel mai bine este distribuția binomială exponențială Kritki-Menkel.

Dacă este acceptat conceptul de prognoză ca și probabilitate condiționată, poate fi normală considerarea alternativelor aproximării "cauză-efect" în tehnicile de prognoză.

Una dintre metodele de prognoză de lungă durată a debitelor medii minime, care este prezentată în lucrare, este metoda debitelor condiționate. Prin aplicarea acestei metode, au fost determinate legăturile condiționale care există între debitele medii lunare înregistrate în luni consecutive în perioada debitelor minime de vară (IV-IX). În cazul în care se dispune de prognoza meteorologică de lungă durată, pe baza legăturilor care au fost stabilite și, în funcție de debitul mediu din luna $i-1$ poate fi estimat, pentru luna i , debitul mediu lunar cu o anumită probabilitate.

Pentru prognoza de lungă durată a debitelor medii minime, o altă metodă care a dat rezultate foarte bune pe râurile din spațiul Banat, este metoda bazată pe curbele de secare. Astfel, au fost determinate relațiile de tipul $\alpha = f(Q_0, t)$ pe baza cărora, cunoscând, la momentul i debitul inițial Q_0 , poate fi estimat debitul care se va produce la momentul $i+k$ ($k = 3, 5, \dots, n$).

O metodă ce poate fi utilizată pentru cunoașterea probabilității de producere a debitelor medii zilnice, se bazează pe debitele medii zilnice multianuale. Șirurile de debitele medii zilnice multianuale au fost ordonate și valorilor ordonate le-au fost atribuite probabilitățile de producere.

Variația debitelor pe durata întregului an este descrisă prin liniile care unesc punctele valorilor zilnice de aceeași probabilitate.

Probabilitatea de 1% reprezintă cele mai mari debite medii zilnice și, probabilitatea de 100% reprezintă cele mai mici debite care s-au înregistrat la stația hidrometrică Dalboșeț în perioada 1950 - 1999

Prin determinarea hidrografelor zilnice de anumite asigurări se confirmă, încă o dată că, variația debitelor minime este legată de schimbările pe care le suferă stocul total de apă din bazinul hidrografic și, acest lucru este legat de caracteristicile geologice ale bazinului hidrografic.

Cu această metodă sunt puse în evidență perioadele și debitele critice în ceea ce privește asigurarea necesarului de apă pentru consumatori.

Pentru elaborarea prognozei hidrologice a debitelor medii minime în bazinele hidrografice nestudiate, s-a realizat analiza pe teritoriu a debitelor medii minime specifice în funcție de altitudinea medie. Pentru realizarea acestei analize, pe serii de debite medii minime în regim natural, au fost parcurse următoarele etape:

1. *Folosirea fondului de date existent.* În acest scop, s-au extras valorile debitelor medii lunare minime anuale și ale debitelor medii zilnice minime anuale din perioadele cu observații directe de la stațiile hidrometrice situate în bazinele hidrografice din spațiul Banat. Deoarece perioadele de observații directe au fost diferite, a fost necesară extinderea șirurilor de debite pe o perioadă unitară (1950 – 1999 pentru debitele medii lunare minime anuale și 1952 – 1999 pentru debitele medii zilnice minime anuale).

Extinderea șirurilor de debite s-a făcut prin două metode:

- Metoda corelației dintre stațiile hidrometrice care dispuneau de șiruri de debite complete și stațiile hidrometrice cu șiruri reduse de debite, stabilind ecuațiile de regresie.

Au fost trasate relațiile dintre stațiile hidrometrice situate pe principalele cursuri de apă și pe afluenții importanți ai acestora.

Au fost determinați:

- coeficienții de corelație (r);
- ecuațiile de regresie;
- erorile (E) pentru fiecare relație.

În situațiile în care valorile coeficienților de corelație dintre cele două șiruri de debite medii minime sunt mai mici decât 0,8, metoda nu este funcțională datorită erorilor care apar. Când valorile coeficienților de corelație dintre cele două șiruri sunt mai mari de 0,8, metoda este funcțională și, prin utilizarea sa, erorile obținute în determinarea valorilor debitelor medii lunare minime anuale și din perioada VI-VIII s-au situat sub 8%.

Verificarea validității relațiilor determinate a fost făcută luând în considerare anul 2000.

Aceiași metodă a fost folosită și pentru extinderea seriilor de debite medii zilnice minime anuale și din perioada VI-VIII pentru acele stații hidrometrice care dispuneau de serii reduse de date.

Pe baza relațiilor de legătură au fost extinse, în regim natural, șirurile de debite medii lunare minime anuale (1950-1999) și, șirurile de debite medii zilnice minime anuale (1953 - 1999);

- Aplicarea coeficienților de corecție la debitele de diverse asigurări care au fost determinate din șirurile scurte. Coeficienți au fost determinați prin prelucrarea statistică la stațiile hidrometrice cu șir lung de date, pe diverse perioade, în funcție de șirul de debite de la stațiile hidrometrice cu șir scurt de date.

Determinarea valorilor debitelor medii lunare minime anuale și medii zilnice minime anuale la stațiile hidrometrice de pe râul Bârzava, al cărui regim hidrologic natural este modificat de aportul de apă provenit din bazinele hidrografice Timiș și Nera s-a făcut fără a ține seama de acest aport precum și de acumulările și folosințele existente.

Analiza statistică a seriilor de debite medii lunare minime anuale și din perioada VI-VIII s-a realizat cu ajutorul opțiunii "Data Analysis" din Excel.

Deoarece asigurările pentru care sunt necesare debitele minime sunt în mod curent cele de 80 - 97%; , curbele empirice au fost utilizate în mod direct.

2. Cu ajutorul debitelor specifice determinate la stațiile hidrometrice, au fost întocmite relațiile de sinteză bazinale de tipul $q_{\min(p\%)} = f(H_{\text{med}})$ pentru:

- debitele specifice medii lunare minime anuale de asigurare 80% și 95%;
- debitele specifice medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII de asigurare 80% și 95%;
- debitele specifice medii zilnice minime anuale de asigurare 80% și 95%;
- debitele specifice medii zilnice minime anuale din perioada VI-VIII de asigurare 80% și 95%.

Se observă că, valorile debitelor specifice medii minime se grupează în jurul a trei relații de generalizare, și anume:

- relația I-a, care cuprinde râul Nera și afluenții Dunării;
- relația a II-a, care cuprinde râurile Timiș, Bistra, Pogăniș, Bârzava - cursul superior și Caraș;
- relația a III-a, care cuprinde râurile Bega și Bârzava - cursul mijlociu și inferior.

Variația teritorială a scurgerii minime este determinată de altitudinea medie a bazinelor hidrografice și exprimă variația teritorială a cantităților de precipitații care determină existența rezervelor de apă subterană ce asigură alimentarea râurilor în perioadele de ape mici.

Relațiile $q_{\text{med.lunar min.}} = f(H_{\text{med}})$ și $q_{\text{med.zilnic min.}} = f(H_{\text{med}})$, vor fi utilizate în practică ținând cont de limitele pentru care sunt valabile cum ar fi posibilitatea existenței fenomenului de secare, existența condițiilor fizico-geografice locale, etc.

Analiza repartiției teritoriale realizată în 1964 ("Monografia hidrologică a râurilor din Banat") a condus la delimitarea unităților teritoriale caracterizate printr-o anumită individualitate a regimului hidrologic.

Analiza comparativă efectuată pe baza datelor actuale confirmă faptul că debitele minime specifice zilnice de asigurarea 97% își păstrează distribuția teritorială în spațiul hidrografic Banat.

Modelarea și simularea în sisteme hidrologice a fost realizată și prin aplicarea unor modele pentru simularea debitelor medii zilnice. Acestea sunt: sistemul de prognoză pe râuri "PROGSYS", care include modelul conceptual DLCM -cascada liniară discretă și modelele stocastice ARMA - și LINREG (regresie liniară); modelul LPM - bazat pe modelul de perturbare liniară; modelul SMAR - bazat pe modelul de bilanț al umidității solului și, sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS.

Simularea regimului de curgere (debite medii zilnice) din secțiunile de închidere ale bazinelor hidrografice considerate se face în funcție de:

- debitele medii zilnice din secțiunile amplasate în amonte (modelele incluse în sistemul de prognoză PROGSYS);
- precipitațiile căzute și debitele medii zilnice din secțiunile din amonte (modelul LPM -model de perturbație liniară);
- precipitațiile căzute, evaporație potențială, infiltrație și debitele medii zilnice din secțiunile din amonte (modelul SMAR).

Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS este sigurul care ia în considerare toate procesele hidrologice care se produc la scara unui bazin

Modelele pentru simularea debitelor medii zilnice nu au putut fi aplicate în bazinele hidrografice al căror regim de scurgere este modificat de amenajările hidrotehnice existente. Acesta este cazul bazinelor hidrografice Bârzava și Cerna.

În bazinul hidrografic Timiș, regimul de curgere este influențat de acumularea Trei Ape, care transferă apă în bazinul hidrografic Bârzava și a cărei influență se resimte, în principal la stația hidrometrică Teregova și, acumulările Poiana Mărului și Zervești, care prin programul propriu de uzinări modifică, cu începere din 1994, regimul curgerii zilnice cu debite ce pot ajunge la 50 m³/s. Aceste debite se resimt puternic la stația hidrometrică Caransebeș și influențează și curgerea de la stația hidrometrică Lugoj. În bazinul Timiș au fost testate numai modelele incluse în sistemul de prognoză PROGSYS scopul fiind simularea debitelor medii zilnice de la stațiile hidrometrice Sadova (la care regimul de scurgere este slab modificat) și Lugoj. Rezultatele obținute în simularea debitelor medii zilnice au relevat, în cazul stației hidrometrice Lugoj, influențele induse asupra regimului de scurgere a apei de către debitele uzinate la centrala hidroelectrică Turnu Ruieni. Valorile erorilor medii pătratice (MSE) a debitelor medii zilnice simulate față de debitele medii zilnice măsurate fiind mult mai mari comparativ cu erorile medii pătratice (MSE) calculate pentru secțiunea Sadova.

Datorită dublei conexiuni Timiș-Bega, în bazinul hidrografic Bega, aval de stația hidrometrică Balint, regimul de scurgere al apei este modificat. Modelele pentru simularea debitelor medii zilnice au fost testate în bazinul Bega considerând ca secțiune de închidere a bazinului stația hidrometrică Balint, stație la care s-a ținut cont și de influența acumulării Surduc (râul Gladna) asupra regimului de scurgere al apei.

În bazinele hidrografice Caraș și Nera, modelele au fost utilizate pentru simularea debitelor medii zilnice în ultimele secțiuni de control și anume Vărădia respectiv Naidăș.

Parametrii modelelor variază în funcție de scopul urmărit - simularea debitelor maxime sau simularea debitelor minime.

Indiferent de regimul hidrologic considerat, pentru perioade lungi de timp, scurgerea zilnică a apei poate fi simulată corect numai dacă volumele scurse sunt calculate corect.

Calibrarea parametrilor modelelor de simulare a debitelor medii zilnice, care au fost aplicate în bazinele hidrografice din Banat, s-a făcut pentru perioadele de ape mici, urmărind, în același timp, calcularea corectă a volumelor scurse.

Toate verificările care au fost făcute folosind date din afara intervalului de testare a modelelor de simulare a debitelor zilnice confirmă ipotezele, calculele și rezultatele obținute. Aceste verificări nu pot pune la îndoială baza teoretică acceptată și valorile optimizate ale parametrilor modelelor.

Din aceste considerente, pentru simularea debitelor medii zilnice necesare în prognoza operativă de scurtă și medie durată, se recomandă următoarele modele:

- În *bazinul hidrografic Timiș*, la stația hidrometrică *Sadova*, modelele ARMA, DLCM și LINREG vor fi utilizate numai pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici.
La stația hidrometrică *Lugoj*, pentru simularea debitelor medii zilnice poate fi utilizat modelul LINREG. Modelele ARMA și DLCM vor fi utilizate numai pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici. Deoarece, regimul scurgerii este influențat permanent de uzinările de la Turnu Ruieni, în simularea debitelor medii zilnice necesare prognozei operative va fi luat în considerare și acest fapt.
- În *bazinul hidrografic Bega*, la stația hidrometrică Balint, simularea debitelor medii zilnice poate fi făcută utilizând modelele LPM, SMAR și HEC-HMS. Modelele DLCM și LINREG vor fi folosite pentru simularea debitelor zilnice din perioadele de ape mici, pentru care, de altfel, au fost calibrate.
Modelul ARMA nu va fi folosit pentru simularea debitelor medii zilnice.

- În *bazinul hidrografic Caraș*, la stația hidrometrică Vărădia, pentru simularea debitelor medii zilnice necesare prognozei operative pot fi utilizate modelele LPM, SMAR, HEC-HMS și LINREG. Cu toate că rezultatele obținute în simularea debitelor medii zilnice din cursul anului 2000 sunt foarte bune comparativ cu cele din perioada de calibrare și verificare, modelul DLCM va fi folosit cu reținere în cazul simulării debitelor zilnice din perioadele de ape mari, dar, poate fi folosit pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici. Modelul ARMA va fi utilizat cu reținere. Este posibil ca parametrii modelului să necesite recalibrare sau, ca modelul să nu fie potrivit bazinului.
- În *bazinul hidrografic Nera*, la stația hidrometrică Naidăș, simularea debitelor medii zilnice pentru prognoza operativă se poate face utilizând modelele LPM, SMAR, HEC-HMS și LINREG. Modelul DLCM poate fi utilizat numai pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici pentru care, de altfel, au fost calibrat. Modelul ARMA nu va fi folosit pentru simularea debitelor medii zilnice.

Pentru prognoza operativă de scurtă și medie durată a debitelor medii zilnice din bazinele hidrografice Timiș, Bega, Caraș și Nera, se recomandă, în ordinea performanței în simularea valorilor debitelor zilnice, utilizarea următoarelor modele:

❖ Bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Sadova

Modelul	
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici

❖ Bazinul hidrografic Timiș la stația hidrometrică Lugoj

Modelul	
LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici

❖ Bazinul hidrografic Bega la stația hidrometrică Balinț

Modelul	
SMAR	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
LPM HEC-HMS	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Modelul nu este potrivit bazinului

❖ Bazinul hidrografic Caraș la stația hidrometrică Vărădia

Modelul	
SMAR LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
LPM HEC-HMS	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici. Tendință de supraestimare a debitelor medii zilnice. Posibil ca modelul să nu fie potrivit bazinului.

❖ Bazinul hidrografic Nera la stația hidrometrică Naidăș

Modelul	
LPM SMAR HEC-HMS LINREG	Simularea debitelor medii zilnice din timpul anului
DLCM	Simularea debitelor medii zilnice din perioada de ape mici
ARMA	Modelul nu este potrivit bazinului

În cadrul procedurilor de calibrare și verificare a modelelor pentru simularea debitelor medii zilnice s-au observat următoarele:

- Modelele incluse în sistemul de prognoză PROGSYS au caracter operațional. Parametrii lor, estimați fie intern (ARMA, LINREG și NONLIN) fie indirect (DLCM), prezintă o convergență rapidă. Parametrii estimați indirect sunt stabili și nu este necesară înlocuirea lor frecventă.

Din aplicațiile efectuate s-a observat că modelele ARMA și LINREG necesită date înregistrate într-o perioadă de timp cu lungime definită pentru estimarea și/sau înlocuirea parametrilor. Aceste modele pot rula fără observațiile de la stațiile hidrometrice situate în aval (secțiunea de închidere a bazinului considerat).

Pentru modelul DLCM, observațiile din perioadele anterioare și înregistrările de la stațiile hidrometrice din aval realizează optimizarea pentru estimarea exactității prognozei.

Testarea modelelor de prognoză a demonstrat că modelul ARMA are tendință de supraestimare a debitelor, performanța modelului în simularea debitelor medii zilnice fiind sub limita acceptabilă în cazul bazinelor hidrografice Bega și Caraș.

- Modelele incluse în sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS, care au fost aplicate în bazinele hidrografice din Banat, au fost: *inițial și constant* - pentru definirea pierderii apei în subbazin; *hidrograful unitar Snyder* - pentru transformarea precipitației în exces în scurgere de suprafață; *constanta lunară* - pentru modelarea cedării precipitației infiltrate cursului de apă și, *Lag* (rulare fără atenuare) - pentru rularea curgerii prin albie.

Alegerea combinației dintre aceste modele depinde de sugestiile făcute în manualul de utilizare, de cunoștințe suplimentare și, de experiența în hidrologie și în aplicarea modelelor. Nu toate modelele pierderilor pot fi utilizate cu oricare dintre modelele de transformare a excesului de precipitație în scurgere directă.

Alegerea unui model pentru calcularea scurgerii directe, depinde de:

- *Informațiile disponibile pentru calibrarea sau estimarea parametrilor* (cum ar fi timpul de concentrare al bazinului t_p). Cu toate acestea, cea mai bună metodă de determinare a parametrilor este calibrarea.
- *Condițiile inițiale ale modelului*. Fiecare model se bazează pe una sau mai multe condiții. Dacă una dintre aceste condiții nu este respectată, modelul nu va putea fi utilizat.
- *Preferințele și experiența utilizatorului*. Alegerea modelului se face pe baza preferinței și experienței utilizatorului. Experiența este un factor critic în asigurarea succesului în efortul de modelare.

Pentru selectarea unui model de propagare a scurgerii prin albie, în primul rând trebuie luate în considerare ipotezele de calcul ale modelelor și trebuie respinse acele modele care nu dau rezultate bune în calcularea caracteristicilor hidrografului scurgerii în albiile sau canalele prin care acesta este propagat.

- Parametrii modelelor conceptuale LPM și SMAR pot fi determinați din analiza hidrografelor înregistrate dar, nu pot fi determinați cu ușurință din caracteristicile fizice ale bazinului. Chiar dacă s-ar dispune de datele referitoare la proprietățile solului, acestea ar fi folosite doar ca și informații calitative. Din această cauză, aplicarea acestor modele este semnificativ restricționată pentru bazinele nestudiate.

Parametrii modelelor au fost calibrați pe baza datelor istorice de ploaie-scurgere și au fost determinați pe baza analizei hidrografului observat la ieșirea din bazin.

- Modelele ploaie-scurgere pentru prognoza debitelor medii zilnice pe bazin sunt aplicate ca ploaie medie pe bazin pentru fiecare secțiune de închidere a bazinului hidrografic considerat. Intervalul de calcul este de 24 ore. Rezoluția spațială și temporală a relației ploaie-scurgere este controlată prin caracteristicile datelor colectate din rețea.

Atunci când se elaborează prognoza hidrologică, timpul de propagare a scurgerii și volumele corespunzătoare sunt investigate la scări de spațiu și de timp diferite față de cele pentru care au fost calibrați parametrii modelelor. Parametrii modelelor conceptuale sunt inerent legați de scările de spațiu și de timp pentru care au fost calibrați.

Parametrii modelelor LPM, SMAR și HEC-HMS se bazează pe precipitația medie pe întregul bazin hidrografic. Erorile de simulare în calcularea scurgerii zilnice pot fi semnificative dacă precipitațiile variază spațial și temporal pe cuprinsul bazinului.

Împărțirea unui bazin hidrografic în subbazine este uzual folosită pentru a putea lua în considerare variațiile datelor de intrare și caracteristicile bazinului. Dintre toate modelele de simulare a debitelor medii zilnice prezentate, numai în cazul sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS poate fi realizată împărțirea în subbazine. Astfel, calibrarea parametrilor modelelor incluse în HEC-HMS poate fi făcută pentru fiecare dintre subbazine folosind un număr limitat de ieșiri cu debite observate.

Pentru prognoza de scurtă și medie durată a debitelor medii minime se pot utiliza următoarele metode:

- regresii liniare;
- relațiile dintre stațiile hidrometrice (debite corespondente);
- modelele de intrare-ieșire, cum ar fi LPM;
- modelele care iau în considerare bilanțul umidității solului, cum ar fi modelul SMAR;
- modelele care iau în considerare toate procesele hidrologice care au loc într-un bazin hidrografic, cum ar fi HEC-HMS.

Atunci când sunt disponibile datele referitoare la debitele zilnice, în locul regresiei liniare pot fi utilizate modelele hidrologice de rulare prin albie cum ar fi cele incluse în sistemul de prognoză PROGSYS.

Pentru prognoza de medie și lungă durată se pot utiliza:

- metoda debitelor condiționate;
- metoda curbei de secare.

Cunoașterea probabilității de apariție a debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici se poate realiza, pentru fiecare stație hidrometrică, prin calcularea debitelor medii zilnice multianuale. Cu această metodă sunt puse în evidență perioadele și debitele critice în ceea ce privește asigurarea necesarului de apă pentru consumatori.

Atât metodele stocastice cât și modelele de simulare a debitelor medii zilnice prezentate în teză, se bazează pe datele provenite din observațiile standard efectuate la stațiile hidrometrice din teritoriu.

Modelele pentru simularea debitelor medii zilnice sunt ușor de utilizat și aplicat în practica hidrologică curentă și, nu necesită specializarea suplimentară a hidrologilor în tehnica de calcul.

6.2. Probleme pentru cercetarea viitoare

Gospodărirea apelor este interesată de mărimea debitelor minime scurse la o anumită probabilitate pe rețeaua hidrografică.

Datorită amenajărilor hidrotehnice din bazinele hidrografice din spațiul Banat, regimul natural al scurgerii este modificat.

Analiza statistică a debitelor minime realizată în Capitolul 3 a fost făcută pe baza debitelor naturale. Caracteristicile fizico-geografice, influențează regimul natural de scurgere al apei în cadrul unui bazin hidrografic. Legăturile dintre altitudinea medie și debitele minime specifice pot fi utilizate la determinarea debitelor minime din bazine nestudiate.

Periodicitatea naturală a proceselor hidrologice se reflectă în variațiile scurgerii naturale, iar dependența scurgerii față de factorii meteorologici se reflectă în tendințele generale de creștere sau de scădere.

Metodele stocastice care pot fi utilizate pentru prognoza de lungă durată, cum ar fi metoda debitelor condiționate și curba de secare, nu ar fi funcționale dacă seriile temporale nu ar fi omogene.

Pe de altă parte, metoda debitelor corespondente se bazează pe debitele măsurate, fie că acestea sunt în regim natural sau în regim modificat.

Aplicarea unora dintre metodele prezentate, cum ar fi *debitele condiționate*, *debitele medii zilnice multianuale de diverse asigurări*, trebuie extinsă pentru tot spațiul hidrografic Banat. Prima metodă ar servi la elaborarea de prognoze hidrologice în timp real iar, a doua metodă ar ajuta la cunoașterea regimului scurgerii anuale de la fiecare stație hidrometrică conducând, implicit, la evidențierea celor mai defavorabile situații în ceea ce privește asigurarea necesarului de apă pentru folosințe. În același timp, se va ține seama de necesitatea actualizării bazelor de date care stau la baza metodelor statistice.

Sistemul de prognoză pe râuri PROGSYS, prin baza de date pe care o poate stoca, permite analiza scurgerii pe cazuri produse în trecut și care, probabil se pot produce în viitor.

Amenajările hidrotehnice din bazinele hidrografice Timiș și Bega modifică regimul scurgerii și, din această cauză, aplicarea modelelor incluse în sistemul de prognoză PROGSYS se va face pe sectoare de calcul separate, nefiind posibilă scăderea debitelor zilnice care sunt derivate în alte bazine hidrografice.

Parametrii modelelor LPM și SMAR sunt inerent legați de scările de spațiu și de timp pentru care au fost calibrați. Este posibil ca în viitor, pentru aplicarea acestor modele să fie necesară recalibrarea parametrilor.

Sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS dispune de facilități de calcul care permit luarea în considerare a modului de exploatare a lucrărilor hidrotehnice: debite derivate dintr-un bazin hidrografic în altul, exploatarea lacurilor de acumulare, etc.

Pe viitor, va fi extinsă aplicarea sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS. Datele de intrare în modelele incluse în HEC-HMS pot fi la intervale de câteva minute până la 24 de ore, din acest motiv modelul fiind mult mai potrivit diferitelor regimuri de scurgere.

În viitorul apropiat, pentru urmărirea cât mai exactă a factorilor hidro-meteorologici dintr-un bazin hidrografic și pentru stabilirea stării curente a apei în termeni cantitativi și calitativi, se va realiza, prin proiectul LIFE-MOSYM, dotarea stațiilor hidrometrice cu senzori de nivel al apei, temperatură a apei și precipitație și, transmiterea automată a datelor înregistrate din teren către dispeceratul bazinal.

Conceptul actual de monitorizare individuală separă bazele de date hidrologice de procedura de colectare a acestora. Pe viitor este necesară reconsiderarea conceptului de monitorizare prin realizarea monitorizării integrate și baze de date. Modelarea și bazele de date sunt dependente unele de altele. Cele mai performante modele necesită date complexe și de calitate. Existența datelor conduce la dezvoltarea unor modele și mai performante.

Rezultatul implementării proiectului LIFE-MOSYM în spațiul Banat va fi, în prima fază, elaborarea planului de gospodărire a apei în bazinul hidrografic Timiș-Bega.

Obiectivele de bază ale proiectului, care trebuie finalizat până în 2004, sunt:

- ◆ Dezvoltarea unui sistem integrat pentru monitorizarea condițiilor de mediu ale bazinului Timiș-Bega și, pentru asigurarea redistribuirii scurgerii în intervalele de timp dintre perioadele de ape mari și perioadele secetoase.
- ◆ Implementarea stațiilor automate HYDRAROM la stațiile hidrometrice selectate, pentru monitorizarea nivelurilor, precipitațiilor, temperaturii și calității apei.
- ◆ Adaptarea și implementarea soft-ului pentru transmiterea și colectarea datelor de la stațiile automate.
- ◆ Pregătirea programelor internaționale de monitorizare a apelor de suprafață din țările Dunărene.
- ◆ Coordonarea activității cu măsurători de referință din teren.
- ◆ Implementarea soft-ului pentru prelucrarea automată a datelor (MOSYM).
- ◆ Implementarea bazelor de date pentru identificarea impactului ecologic al modificării regimului de scurgere al apei.
- ◆ Pe baza hărților, a informațiilor și măsurătorilor din teren, a datelor de la satelit, va fi creată o bază de date GIS pentru pregătirea sistemului complex de monitorizare.
- ◆ Diseminarea datelor pentru:
 - modele pentru diagnoză, prognoză hidrologică și planificarea gospodăririi apei;
 - informarea autorităților locale și a managerilor din domeniul apei.
- ◆ Elaborarea planului de gospodărire a apei în bazin.

Prin realizarea acestui proiect, se va dispune în orice moment de informațiile din teren și, elaborarea prognozelor hidrologice cu ajutorul modelelor pentru simularea debitelor zilnice, modele care sunt prezentate în teză, va fi foarte mult ușurată.

Modelele conceptuale au potențial pentru dezvoltarea structurilor viitoare cu atât mai mult cu cât datele telemetrice devin accesibile hidrologilor datorită sofisticatului Sistem Informatic Geografic (GIS). Sistemul Informatic Geografic (GIS) joacă un rol important în

orice evaluare detaliată a aspectelor hidrologice și geologice ale bazinului hidrografic studiat.

Unul dintre domeniile de tradiție a tehnologiei GIS este managementul și exploatarea resurselor naturale. Acest vast domeniu include studii asupra modului de folosire a terenurilor, studii asupra geologiei, hidrografiei și vegetației pentru analize de mediu (Săvulescu și al., 2000).

Noua versiune ArcView conține și funcții hidrologice, care pot calcula rețeaua hidrologică într-un punct.

Au fost create modele hidrologice spațializate pentru simularea scurgerii și/sau a eroziunii. Astfel, modelul ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation) este un model conceptual spațializat realizat pentru simularea comportamentului bazinului hidrografic la scara unui eveniment.

Modelul TOPOG este un model fizic spațializat realizat de cercetătorii de la CSIRO - Australia. Modelul încearcă să simuleze cât mai multe aspecte ale mișcării apei într-un bazin hidrografic, și anume: scurgerea superficială, mișcarea apei în sol, scurgerea pe versanți, transportul de sedimente, etc.

Se poate spune că încă nu a fost creat modelul "perfect" pentru prognoza scurgerii apei. Nu există nici un model care să dea rezultate bune în toate bazinele hidrografice, în orice moment și în orice circumstanțe. Nu toți cei care lucrează în prognoză hidrologică pot sau trebuie să fie creatorii unui model hidrologic dar, ei trebuie să știe să adapteze și să folosească modelele hidrologice existente astfel încât să obțină cele mai bune rezultate.

De aceea, trebuie să fim flexibili, cu mintea deschisă și pragmatici în drumul pentru dezvoltarea modelelor de prognoză a scurgerii râurilor și trebuie să ne familiarizăm cu modelele reprezentative începând cu modelele black-box, incluzând formele simple ale modelelor conceptuale cvasi-fizice. De asemenea, trebuie să învățăm să nu credem cu adevărat numai într-un anumit model și să nu permitem ca un anumit model sau set de proceduri de modelare să devină inflexibil instituționalizate.

În spatele experienței acumulate în realizarea și aplicarea unui model particular într-o anumită zonă geografică apare "inerția" și din această cauză este dificil pentru cel care utilizează modelul să ia în considerare alte modele alternative, posibil mult mai utile. Aceasta este, în mod special, cazul când modelele care se folosesc au fost create "în casă" cu aportul multor specialiști și cu un efort financiar substanțial (O'Connor, 1995).

Creșterea utilizării calculatoarelor va permite specialiștilor o înțelegere mai profundă a proceselor fizice implicate. Nu este un comentariu nedrept dacă se afirmă că, dintr-o multitudine de motive, potențialul modelelor conceptuale nu a fost descoperit în totalitate.

6.3. Contribuții

Contribuții generale:

- O analiză a bibliografiei actuale, acceptând anumite concepte considerate ca cele mai potrivite cu obiectivele tezei.
- Reactualizarea bazelor de date: debite medii lunare minime anuale și debite medii zilnice minime anuale pentru stațiile hidrometrice și meteorologice din spațiul hidrografic Banat.
- Reactualizarea datelor referitoare la regimul termic și la regimul de precipitații pentru spațiul Banat.

- Efectuarea testelor de omogenitate și independență a seriilor de debite medii lunare minime anuale.
- Determinarea a două dintre cele trei componente de bază ale șirurilor de debite medii minime - serii temporale și anume: tendința și componenta periodică.
- Determinarea relațiilor dintre stațiile hidrometrice situate pe principalele cursuri de apă și pe afluenții importanți ai acestora, relații ce au condus la stabilirea:
 - coeficienților de corelație (r);
 - ecuațiilor de regresie;
 - erorilor (E) pentru fiecare relație.
- Pe baza relațiilor de legătură au fost extinse, în regim natural, șirurile de debite medii lunare minime anuale (1950-1999) și, șirurile de debite medii zilnice minime anuale (1953 - 1999).
- Efectuarea calculelor statistice pentru determinarea probabilităților de producere a debitelor medii lunare minime anuale și medii zilnice minime anuale.
- Trasarea relațiilor de legătură dintre:
 - altitudinea medie și debitele medii lunare minime anuale cu asigurările de 80 și 95%;
 - altitudinea medie și debitele medii lunare minime anuale din perioada VI-VIII cu asigurările de 80 și 95%;
 - altitudinea medie și debitele medii zilnice minime anuale cu asigurările de 80 și 95%;
 - altitudinea medie și debitele medii zilnice minime anuale din perioada VI-VIII cu asigurările de 80 și 95%.
- Determinarea relațiilor valabile pentru stabilirea debitelor minime din bazinele hidrografice nestudiate hidrologic.
- Reactualizarea raionării debitelor minime zilnice specifice de asigurarea de 97% pentru spațiul hidrografic Banat.
- Realizarea analizei statistice a debitelor medii zilnice de diverse asigurări și trasarea hidrografelor debitelor zilnice de aceeași asigurare. În acest fel, se pot obține informații utile referitoare la regimul hidrologic.
- Generarea schemei de calcul și descrierea bazinelor hidrografice pentru fiecare dintre modelele de simulare a debitelor medii zilnice.
- Crearea bazei de date pentru fiecare dintre modelele de simulare a debitelor medii zilnice.
- Calibrarea fiecărui model pentru simularea debitelor medii zilnice în bazinele hidrografice Timiș, Bega, Caraș și Nera. Valorile parametrilor optimizați prin procedura de calibrare reprezintă valori ce pot fi utilizate în prognoza operativă. Orice modificare viitoare va pleca de la valorile actuale ale acestor parametri. Parametrii modelelor au fost optimizați pentru simularea debitelor medii zilnice din perioadele de ape mici.

Contribuții punctuale:

- Aplicarea în bazinele hidrografice din spațiul Banat a metodei debitelor corespondente pentru prognoza de scurtă durată a debitelor zilnice din perioadele de ape mici.
- Aplicarea în bazinele hidrografice din spațiul Banat a metodei debitelor condiționate pentru prognoza de lungă durată a valorilor debitelor medii lunare din perioadele de ape mici
- Aplicarea metodei curbei de secare pentru prognoza de scurtă, medie și lungă durată a debitelor din perioadele de ape mici. Metoda este des utilizată și, a stat la baza deciziilor de gospodărire a apei din perioadele de ape mici înregistrate în ultimii ani.

Realizarea obiectivelor tezei a permis elaborarea de diagrame de frecvență și durată, curbe de asigurare, relații de legătură între stațiile hidrometrice, relații de generalizare a debitelor medii minime în funcție de altitudinea medie a bazinelor hidrografice. Toate acestea sunt implementate și folosite în practica hidrologică curentă.

Completarea și actualizarea bazei de date este utilă pentru cunoașterea evoluției debitelor medii minime.

Analiza scurgerii medii minime este importantă pentru planificarea, proiectarea și operarea sistemelor și structurilor de gospodărire a apei.

Toate verificările care au fost făcute referitor la modelele de simulare a debitelor medii zilnice confirmă ipotezele, calculele și rezultatele obținute. Aceste verificări nu pot pune la îndoială baza teoretică acceptată și valorile optimizate ale parametrilor modelelor. Rezultatele sunt confirmate pe deplin.

Teza oferă un instrument de lucru prin:

- ✓ elaborarea de grafice și relații de sinteză pentru prognoza de scurtă, medie și lungă durată a debitelor în perioadele de ape mici;
- ✓ recomandarea celui mai potrivit model de simulare a debitelor medii zilnice în bazinele hidrografice Timiș, Bega, Caraș și Nera.

Studiind metodele de prognoză existente și aplicate în diverse condiții și, făcând o comparație între cerințele operaționale și metodele de prognoză, devine foarte clar că nu există și nici în viitorul apropiat nu va exista o metodă de prognoză "universală", care să fie potrivită pentru toate condițiile posibile. Accentul trebuie pus pe termenul "prognoză operativă" până când bazele de date și teoriile curente nu vor permite ca toate procesele ciclului hidrologic să fie incluse într-o metodă generală de prognoză (Szöllösi-Nagy în Starosolszky, 1987).

BIBLIOGRAFIE

Adler, M. J., - 1994 – *Low flows-methodologies and characteristics in Romania*. Romanian Journal of Hydrology and Water Resources, vol. I, no. 2, I.N.M.H., București, pp. 57–64.

Ambroise, B., - 1998 – *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant*. Ed. H*G*A*, București. pp.109-197.

Becker, A., Șerban, P., -1990 - *Hydrological models for water resource system design and operation*. Operational Hydrology Report 34, WMO.-No. 740 pp.1-45.

Blackie, J.R. and Eales, W.O., - 1985 - *Lumped catchment models in Hydrological Forecasting* (edited by Anderson, M.G. and Burt, T.P.), John Wiley & Sons, Chichester, pp. 311 - 345.

Blidaru, S., Stanciu, P., Drăgoi, E., - 1976 - *Model matematic pentru simularea scurgerii în bazine mici*. Studii de hidrologie vol.XLV, I. M. H. Bucuresti, pp.173-190.

Blidaru, S. - 1973 - *Relațiile ploaie-infiltrație-scurgere determinate experimental pe suprafețe reduse și metodologia de utilizare a acestora în dimensionarea rețelelor de desecare*. Studii de hidrologie vol. XXXV, IMH Bucuresti, pp.41-76.

Bogdan, O., Niculescu, E., - 1999 - *Riscurile climatice din România*. Academia Română, Institutul de Geografie, București, pp. 115-163.

Ciucu, G., Craiu, V., - 1974 - *Interferență statistică*. E.D.P., București, 480 pp.

Crețu, Gh., - 1976 - *Economia apelor*. E.D.P., București.

Crețu, Gh., - 1980 – *Optimizarea sistemelor de gospodărire a apelor*, Ed.Facla, Timișoara.

Diaconu, C. – 1971 – *Probleme ale scurgerii de aluviuni a râurilor României*, Studii de hidrologie, vol. XXXI. I. M. H. București, pp. 86-120.

Diaconu, C, Șerban, P, Pașoi, I., - 1981 - *Indrumări metodologice și tehnice pentru reconstituirea scurgerii naturale a râurilor*. I. M. H. Bucuresti, 170 pp.

Diaconu, C., - 1988 – *Râurile de la inundație la secetă*. Ed. Tehnică, București, 127 pp.

Diaconu, C., - 1989 – *Metodă de determinare și analiză statistică a analogiilor pentru prognoze hidrologice de lungă durată*. Hidrotehnica, nr. 34, pp 373-377.

Diaconu, C, Șerban, P, - 1994 - *Sinteze și regionalizări hidrologice*. Ed. Tehnică, București, 388 pp.

Domokos, M., - 1996 - *Hydrology in water resource management*, Trainig Course on Hydrology, 1 February - 31 July, Vituki, Budapest, Hungary, Lecture Notes.

Dragotă, I., - 1998 – *Metode de calcul numeric*. Editura Didactică și Pedagogică R.A., București, 98 pp.

Drobot, R., Giurma, I., - 1990 - *Hidrologie*, Vol. II, Institutul Politehnic Iași.

Drobot, R., -1997 - *Bazele statistice ale hidrologiei*. Editura Didactică și Pedagogică R.A., București, 187 pp.

Drobot, R., Șerban, P., - 1999 - *Aplicații de hidrologie și gospodărirea apelor*, Ed. H*G*A*, București, pp. 93-173, 247-273.

Duckstein, L., Ambrus, S. and Davis, D. R., - 1985 - Management forecasting requirements in Hydrological Forecasting (edited by Anderson, M.G. and Burt, T.P.), John Wiley & Sons, Chichester, pp. 559 - 585.

Dumitrescu, V., Țuca, I., - 1974 - *Proгноza cu timp mare de anticipare a apelor mici de vară-toamnă pe Dunăre*, Studii de hidrologie, Vol. XLIII, I.M.H. București, pp. 51 - 66.

Dyhr-Nielsen, M., - 1982 - Long-range Water Supply Forecasting, WMO Operational Hydrology, Rept. No. 20, Geneva.

Florea, N., Munteanu, I., Rapaport C., Chițu, C., Opreș, M., - 1968 - *Geografia solurilor României*, Ed. Științifică, București, 510 pp.

Giurma, I., Drobot, R., - 1987 - *Hidrologie*, Vol. I, Institutul Politehnic Iași.

Giurma, I., - 2000 - *Sisteme de gospodărirea apelor*, Partea I-a, Ed. Cerni, Iași.

Haidu, I., - 1997 – *Analiza seriilor de timp - Aplicații in hidrologie*. Ed. *H*G*A* București, 157 pp.

Harabagiu, C., Teodorescu, N. I., - 1999 - *Evoluția legăturii dintre nivelurile apelor râului Bega și ale orizontului acvifer freatic. Studiu de caz*. Universitatea de Vest, Facultatea de Chimie-Biologie-Geografie, Timișoara, 12 - 14 mai, Geographica Timisiensis, Vol. 8-9, pp.111-121.

Harabagiu, C., Preluscek, R., Stanca, M., Macridin, Z., și alții - 1999 – *Viitura din 20 - 26 februarie 1999 în spațiul hidrografic Banat*, Cartea viiturii, documentație de uz intern, C. N. "Apele Române" Direcția Apelor Banat, Timișoara.

Macridin, Z., Harabagiu, C., Preluscek, R., Stanca, M., - 2000 – *Viitura 5 - 10 aprilie 2000 în bazinul hidrografic Timiș - Bega*, Cartea viiturii, documentație de uz intern, C. N. "Apele Române" Direcția Apelor Banat, Timișoara.

Harabagiu, C., Crețu, Gh., - 2001 - *The Hydrological model SMAR and its application into Banat Area*. Buletinul Științific al Universității "Politehnica" din Timișoara, Seria Hidrotehnica, Tom 46 (60) Fascicola 1, pp. 37-44.

Harabagiu, C., Crețu, Gh., - 2001 - *Hydrological Modelling and Simulation. Comparison between the models LPM and HEC-HMS*. International Conference on Water and Nature Conservation in the Danube-Tisa River Basin, 19-21 September, Ungaria, pp. 389-398.

Harabagiu, C., - 2002 - *Conceptual models for daily flow forecasting used into the Basin of Nera River*, The 5th edition of The Regional Conference of Geography "Geographic researches in the Carpathian-Danube space", "The Reconsideration of the Geographic approach in the context of Globalization", West University of Timișoara, Faculty of Chemistry, Biology and Geography, Department of Geography, 17-19 May, Timișoara.

Harabagiu, C., Crețu, Gh., - 2002 - *Comparison between some determinist and conceptual models applied in the hydrographic area Banat for the rivers daily flow simulation*, 21st Conference of the Danube Countries on hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 2-6 September, Bucharest, Romania.

Harabagiu, C., - 2002 - *The simulations of the daily discharge during flood events using a few hydrological models*, The International Conference "Preventing and Fighting Hydrological Disasters", 270 years from the First water works in Banat Region, Facultatea de Hidrotehnică, Timișoara, 21-22 Noiembrie.

Hâncu, S., Stănescu, P., Platagea, Gh., - 1971 - *Hidrologie agricolă*, Ed. Ceres, București, pp. 11-76.

Eykhoff, P., - 1977 - *Identificarea sistemelor*. Ed. Tehnică, București, 551 pp.

Lăzărescu, D., Popovici, V., - 1981 - *Calculul debitelor medii pe diverse intervale continue de timp în perioadele de ape mici*. Hidrotehnica, nr. 26, pp. 1-4.

Ilie, I., - 1978 - *Contribuții la simularea numerică a procesului ploaie-debit*. Hidrotehnica nr. 23, pp. 108-110.

Iritz, L., - 1990 - *River flow forecasting system with data management, graphical river network control and interactive operation*, Journal of Hydrological Sciences, 35, 6, No. 12, pp. 637-651.

Iritz, L., - 1992 - *Real-time river forecasting*, Report Series A, No. 50, Uppsala University, Sweden.

Iritz, L., - 1996 - *Hydrological observation and primary data procesing. Criteria for use the data for modelling. Presentation of the models FLAPS and PROGSYS*, Trainig Course on Hydrology, 1 February - 31 July, Vituki, Budapest, Hungary, Lecture Notes.

Klemes, V., - 1978 - *Physically Based Stochastic Hydrologic Analysis*, In *Advances in Hydrosiences*, Ed. V.T. Chow, Vol. II, Academic Press, New York.

Klemes, V., - 1982 - *Empirical and causal models in hydrology*, In *Scientific basis of water resource management*, Studies in Geophysics, edited by Fiering, B. M., National Academy Press, Washington D. C. , pp. 95-104.

Kontur, I., - 1996 - *Hydrological processes. The hydrological cycle*. Trainig Course on Hydrology, 1 February - 31 July, Vituki, Budapest, Hungary, Lecture Notes.

Liang, G. C., - 1991 - *Computational Methods in Hydrology*, International Postgraduate Hydrology Courses, Dept. of Engineering Hydrology, University College Galway, 280 pp.

Linsley, K. R., Kohler, M. A. and Paulhus, J. L. - 1964 - *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, 689 pp.

Macridin, Z., Harabagiu, C., - 2001 - *Fenomene hidro-meteorologice periculoase. Viitura din 5 -11 aprilie 2000 în bazinele hidrografice Timiș și Bega*. Sesiunea anuală de Comunicări, 5 - 7 iunie, INMH, București.

Meylan, P., Musy, A., - 1999 - *Hydrologie fréquentielle*, Ed. *H*G*A*, București, pp. 35-370.

Murariu, T., Pișotă, I., Buta, I., - 1970 - *Hidrologie generală*, E.D.P., București, pp. 13-78, 143-314.

Musy, A., - 1998 – *Hydrologie appliquée*. *H*G*A* București, 366 pp.

Nemeč, J., - 1983 - *Design and operation of Forecasting Operational Real-Time Hydrological System (FORTH)*, Lecture Notes.

O'Connor, K. M., - 1995 - *River flow forecasting - The Galway Experience*. Symposium on River Flow forecasting and Disaster Relief, Haikou, China, 20-25 Nov.

O'Connor, K. M., - 1995 - *The evaporation Process in the SMAR Model*, Advanced Course/Workshop on River Flow Forecasting, 24th April to 30th June, U.C.G., Galway, Ireland, Lecture Notes.

O'Connor, K., M., - 1996 - *Hydrological observation and primary data procesing. Criteria for use the data for modelling*, Trainig Course on Hydrology, 1 February - 31 July, Vituki, Budapest, Hungary, Lecture Notes.

Platagea, G., Platagea, M., - 1982 – *Variația caracteristicilor statistice și stohastice ale scurgerii apei pe râurile din R.S. România*. Hidrotehnica, nr. 27, pp. 225-228.

Rădulescu, M., - 1973 - *O metodă de prognoză a scurgerii de bază din perioadele de primăvară și vară cu aplicații în bazinul Crișului Negru*, Studii de hidrologie, Vol. XXXVIII, I.M.H. București, pp. 78 - 99.

Rogers, W. F., - 1980 - *A practical model for linear and nonlinear runoff*, Journal of Hydrology, Vol. 46, pp. 51-78.

Rogers, W. F., - 1982 - *Some characteristics and implication of drainage basin linearity and nonlinearity*, Journal of Hydrology, Vol. 55, pp 247-265.

Reinmann, J., - 1989 - *Mathematical Statistics with Application in Flood Hydrology*. Akademiai Kiado, Budapest, 330 pp.

Reinmann, J., - 1996 - *Advanced Statistical Methods with Application in Hydrology*. Trainig Course on Hydrology, 1 February - 31 July, Vituki, Budapest, Hungary, Lecture Notes.

Rétháti, L., - 1983 – *Groundwater in civil engineering*. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 206-244.

Roșu, C., - 1999 - *Gospodărirea apelor*, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, pp. 9-48.

Săvulescu, C., Bugnariu, T., Sârghiută, R., Turcu, L., Abdulamit, A., Barbu, C., - 2000 - *Fundamente GIS*, Ed. H*G*A*, București, pp.27-58.

Shaw, E.M., - 1983 - *Hydrology in practice*, Von Nostrand Reinhold (International), London, 539 pp.

Stadiu, F., Șerban, P., Jula, G., - 2001 - *Directiva cadru 2000/60/EC a Uniunii Europene în domeniul apei*. Hidrotehnica, Vol. 46, Nr. 6, pp. 209-216.

Stanciu, P., - 1997 – *Metodologia Box – Jenkins Aplicații în hidrologie*, *H*G*A*, București, 61pp.

Starosolszky, O., - 1987 - *Applied Surface Hydrology*. Water Resources Publication, Littleton, Colorado, SUA, 821 pp.

Starosolszky, O., - 1996 - *Hydrological observation and primary data procesing. Criteria for use the data for modelling*, Trainig Course on Hydrology, 1 February - 31 July, Vituki, Budapest, Hungary, Lecture Notes.

Stănescu, V. Al., Șerban, P., - 1974 - *Modele matematice in hidrologie și problema testării lor.*, Studii de hidrologie vol. XLII, I. M. H. București, pp. 7-82.

Stănescu, V. Al., Roman, P., Manoliu, M., - 1983 - *Modele matematice in hidrologie*. Institutul Politehnic Bucuresti.

Stănescu, V. Al., - 1985 - *Modele matematice in hidrologie - Probleme de concepție sistemică*. I.N.M.H. Bucuresti, 54 pp.

Stănescu, V.A., Adler, M.J., Cucursuz, B., Tuinea, P., - 1994 – *Study of droughts in Romania for the assessment of the aridization and desertification trends*, Romania Journal of Hydrology and Water Resources, Vol. 1, No. 2, București, pp.

Stănescu, Al. V, Corbuș, C., Simota, M., - 1999 - *Modelarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor de apă*. Ed. H*G*A*, București. pp.105-240.

Șerban, P., Simota, M., - 1983 - *Relația ploaie-debit utilizată în prognoza hidrologică*. Studii și cercetări hidrologice nr. 50, I. M. H. București, pp. 15-36.

Șerban, A. C., - 2001 - *Modelarea seriilor temporale. Noțiuni teoretice și aplicații de hidrologie*, Ed. *H*G*A*, București, 74 pp.

Șerban, P., - 1984 – *Selectarea modelelor conceptuale ale hidrografului unitar instantaneu*. Hidrotehnica, nr. 29, pp. 102-104.

Șerban, P., - 1984 – *Modelarea neliniară a procesului ploaie-scurgere*. Hidrotehnica, nr. 29, pp. 342-345.

Șerban, P., Teodorescu, I., - 1986 - *Intercompararea modelelor de calcul ale ploii nete*. Studii și cercetări hidrologice nr. 53, I. M. H. București, pp. 15-26.

Șerban, P., - 1986 - *Modele hidrologice operaționale*. Studii și cercetări hidrologice nr. 55, IMH București, 112 pp.

Șerban, P., Stănescu, V. Al., Roman, P., - 1989 - *Hidrologie dinamică*. Ed. Tehnică, București, pp. 3-387.

Șerban, P., Corbuș, C., - 1989 - *Modelul Danubius pentru prognoza hidrologică pe sectorul Românesc al Dunării*. Studii și cercetări hidrologice nr. 3, I. N. M. H. București, pp. 23-29.

Șerban, P., Simota, M., Corbuș, C., - 1991 - *Model de prognoză a debitelor medii zilnice*. Studii și cercetări hidrologice nr. 60, I. N. M. H. București, pp. 13-26.

Șerban, P., - 1995 - *Modele hidrologice deterministe*. Editura Didactică și Pedagogică R.A., București, 123 pp.

Teodorescu, I., Filotti, A., Chiriac, V., Ceaușescu, V., Florescu, A., - 1973 – *Gospodărirea apelor.*, Ed. Ceres, București, pp.175-209.

Teodorescu, N.I., Stanciu, E., Harabagiu, C., - 1998 – *Ciclicitate naturală sau modificare climatică? Reflectare în procesele hidrometeorologice în spațiul Banat*. Buletinul științific al Universității "Politehnica" din Timișoara, Ediție specială consacrată lucrărilor Sesiunii Științifice "50 de ani de învățământ hidrotehnic în Timișoara", 7-9 octombrie, Timișoara. Tomul 43 (57), Vol.II, pp. 629-640.

Teodorescu, N.I., Harabagiu, C., Stanciu, E., - 2000 - *Legătura între precipitații și scurgerea medie a râurilor din Banat*. A IV-a Conferință regională de Geografie "Cercetări geografice în spațiul carpato-danubian". Universitatea de Vest, Facultatea de Chimie-Biologie-Geografie, Timișoara, 12 - 14 mai, pp. 305-310.

Teodorescu, N. I., Harabagiu, C., Stanciu, E., - 2000 - *Hydro-meteorological Processes into the Banat Area*, IV.th International Hidrology Conference "Water and Protection of Aquatic Environment in the Central basin of Danube, 20-22 september, Subotica, Yugoslavia, Monography, pp. 77-84.

Todoran, I., - 1989 – *Răspunsuri posibile - Corelație și prognoză*, Ed. Dacia Cluj-Napoca, 222 pp.

Topor, N., - 1964 - *Ani ploioși și secetoși în R.P.R.*, Institutul meteorologic, București, pp. 9-55.

Vladimirescu, I., - 1978 - *Hidrologie*, E.D.P. București, 278 pp.

Vladimirescu, I., - 1984 - *Bazele hidrologiei tehnice*, Ed. Tehnică, București, 452 pp.

Vladimirescu, I., Drobot, R., Bichea, I., - 1984 - *Hidrologie. Aplicații Partea II -a*, I.C. București, pp. 2-117.

Zhang, J. Y., O'Connor, K. M. and Liang, G. C., - 1993 - *LPM a User-Friendly Software for River Flow Forecasting (Based on the Liniar Perturbation Model)*, User's Guide, Department of Engineering Hydrology University College Galway, Ireland, 39 pp.

Zhang, J. Y., O'Connor, K. M. and Liang, G. C., - 1995 - *SMAR a User Friendly Software for river flow forecasting Based on the Soil Moisture Accounting and Routing Model, Using Daily Data*, User's Guide, Version 1.1, Department of Engineering Hydrology University College Galway, Ireland, 29 pp.

Zhang, J. Y., O'Connor, K. M. and Liang, G. C., - 1995 - *SMAR a User Friendly Software for river flow forecasting Based on the Soil Moisture Accounting and Routing Model, Using User Specified Time-intervals Data*, User's Guide, Version 2.0, Department of Engineering Hydrology University College Galway, Ireland, 27 pp.

Zlate, I., - 1989 - *Estimații prognostice pe Dunăre de tip structural-stochastic*. Studii și cercetări hidrologice nr. 3, I. N. M. H. București, pp. 1-22.

Zsuffa, I., - 1972 - *Statistical Analysis of Low Water Discharges*. Hydrologiai Közlöny, no.4.

Zsuffa, I., - 1996 - *Hydrological observation and primary data procesing. Criteria for use the data for modelling*. Trainig Course on Hydrology, 1 February - 31 July, Vituki, Budapest, Hungary, Lecture Notes.

* * * - 1950 - 2000 - Arhiva de date hidrometrice D.A. Banat.

* * * - 1950 - 2000 - Arhiva de date meteorologice C.R. Banat-Crișana.

* * * - 1964 - *Monografia hidrologică a râurilor din Banat*, C.S.A., I.S.C.H., București, 190 pp.

* * * - 1966 - *Îndrumări metodologice pentru calcule hidrologice asupra râurilor*, I.D. 32-66 C.S.A., București, 66 pp.

* * * - 1967 - *Îndrumar metodologie privind elaborarea prognozei nivelurilor pe râurile interne ale R.S.R. cu anticipare de 8 - 12, 24 și 48 ore*. București, pp. 24-25.

* * * - 1971 - *Râurile României. Monografie hidrologică*. I. M. H. București. pp. 5 – 397.

* * * - 1992 - *Atlasul cadastrului apelor din România - Partea 1 - Date morfo-hidrografice asupra rețelei hidrografice de suprafață*, AQUAPROIECT București. pp. 193-232.

* * * - 2000 - *Hydrologic Modelling System HEC-HMS*, Technical Reference Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA, 176 pp.

* * * - 2000 - *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*, User's Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA, 187 pp.