

A BALATON-VÍZGYŰJTŐ HIPOTETIKUS TÁROZÓRENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA

DOMOKOS MIKLÓS* és GILYÉNNÉ HOFER ALICE*

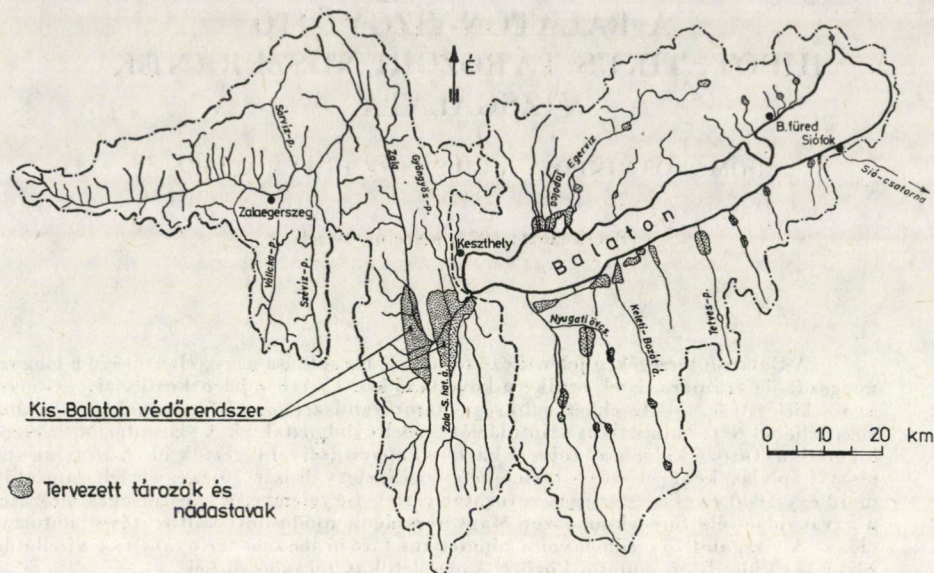
[Beérkezett: 1982. március 4-én]

A Balaton térségében jelentkező feladatok megoldása nagy jelentőségű a magyar népgazdaság számára. Ezek egyike a következő kb. 15 évben jelentkező vízigény-növekedés kielégítése. — Az ehhez szükséges tározórendszer összetérfogatának meghatározása céljából determinisztikus szimulációs modellt dolgoztak ki. A szimulációt az eredő hipotetikus tározó különböző felvett hasznos kapacitásaival végezték el. A tó természetes víztáplálásaként először a természetes vízkészletváltozás 50 éves észlelt sorozatát, majd egy 1000 éves mesterséges sorozatot vettek figyelembe. A mesterséges sorozatot a Szvanyidze-féle töredék-módszer Magyarországon módosított változatával állították elő. — A vizsgálat fő eredményei a hipotetikus tározó hasznos térfogata és a vízellátási biztonságot különböző mutatói közötti kapcsolatokat megadó görbék.

A síófoki zsilip szelvényéhez tartozó, 5774 km² területű Balaton-vízgyűjtő vízkészlet-gazdálkodásának mennyiségi és minőségi vonatkozásai az utóbbi évtizedekben nemcsak a vízgazdálkodás, hanem a legkülönbözőbb népgazdasági ágazatok érdeklődésének és tevékenységének is a homlokterében állnak (OVH, 1979). Ennek oka a tónak és közvetlen környezetének kiemelkedő üdülési jelentősége és részben az ebből fakadó, részben az általános fejlődéssel — főleg az egész vízgyűjtőn jelentkező vízigények növekedésével és a mezőgazdaság kemizálásával — együttjáró problémák sokasodása. Az utóbbiak leküzdésére irányuló koncepciókat, terveket, intézkedéseket a VITUKI 1980. évi kiadványa ismerteti összefoglalóan.

A Balaton-vízgyűjtő (1. ábra) felszíni vízkészlet-gazdálkodási rendszerének főbb mennyiségi elemei: a Balaton az öt tápláló vízfolyáshálózattal és a szabályozható leeresztő zsilippel, a vízgyűjtőn települt ivó-, ipari, öntözési és halgazdasági vízhasználók vízkivételei és vízbevezetései, a bányászat vízkészletet módosító hatásai, végül a vízhasznosítási, a vízminőségvédelmi és a vegyes célú tározók időbeli vízkészlet-átcsoportosításban és párolgási többletvesztésben jelentkező hatásai.

* Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóközpont (VITUKI) Vízrajzi Intézete, 1095 Budapest, Kvassay J. út 1.



I. ábra. A Balaton-vízgyűjtő

I. A vizsgálat célja és előzményei

Jelen tanulmányunk célja: annak felderítése, hogy a vízhasználók 1990-re előirányzott fejlesztési szintjén a fentiekben jellemzett vízkészlet-gazdálkodási rendszer eredményességét mennyiségi szempontból jellemző mutatók — megfelelő vízkormányzás esetében — hogyan függnek a Balaton-vízgyűjtőn létesíthető vízhasznosítási tározók rendszerét helyettesítő ún. hipotetikus (eredő) tározó hasznos térfogatától. A vizsgálatot — a hipotetikus tározótér fogat különböző feltételezett értékeivel — a rendszer működésének szimulációja útján végezzük, aminek során a tó természetes víztáplálását egyrészt az 1921—70. időszakban észlelt adatsorral, másrészt az utóbbiból mesterségesen előállított (generált) adatsorokkal vesszük figyelembe.

Hasonló célkitűzésű és módszerű korábbi tanulmányunktól (GILYÉNNÉ, DOMOKOS, 1981) a jelen vizsgálat főképpen abban tér el, hogy az amannak alapjául elfogadott munkahipotézisek számát, illetve egyszerűsítésük durvaságát csökkentve a vízkészletforgalom valóságos folyamatainak valamivel jobb közelítésére, a működési változatok számának generált víztáplálás-adatsorok felhasználásával történő növelésével viszont az eredmények statisztikai értékelhetőségére törekszik. Emellett a vízkészlet-gazdálkodási rendszer működésének eredményességét a korábbi vizsgálaténál árnyaltabb mutatórendszerrel jellemezzük. Korábbi vizsgálatunktól eltérően ugyanakkor most nem vizsgáljuk a bányászat aktív vízvédelme érdekében folyó vízemelés várható meg-

Térfogat jele		Megnevezés		Vízfelület jele
S	S_H	Hipotetikus tározó	Kizárólag vízhasznosítási célú tározók	A_H
	S_N		Nádastavak térfogatának vízkészletgazdálkodásra hasznosítható része	A_N
S_0		Nádastavak térfogatának kizárólag vízminőségvédelemre hasznosítható része	Nádastó	

3. ábra. A Balaton-vízgyűjtő hipotetikus vízkészlet-gazdálkodási és vízminőségi tározótereinek és -felületeinek figyelembevétele a szimulációs modellben

hasznosítható térfogatának összegével, vagyis a kizárólag vízkészlet-gazdálkodási célú tározókon kívül tartalmazza a Balaton eutrofizáció elleni védelmére előirányzott ún. nádastavak vízhasznosításra igénybe vehető térfogatrészét, de nem tartalmazza azok kizárólag vízminőségi célokra fenntartandó térfogatrészét (3. ábra). Feltesszük továbbá, hogy a hipotetikus tározó vízkészlet-gazdálkodási eredő hatás szempontjából is egyenértékűen helyettesíti a tényleges, illetve létesíthető tározókat.

— Nem vizsgáljuk az összetevő (tényleges, illetve létesíthető) tározók létesítésének és működésének topográfiai, hidrológiai, területhasználati és gazdasági feltételeit.

— A szimulációs vizsgálatot havi vízmennyiségekkel (1 hónapos lépésekben) végezzük, vagyis nem törődünk a vízforgalom hónapon belüli alakulásával.

3. A vizsgálatban alkalmazott jelölések és mértékegységek

3.1 Futó indexek:

- i — az évet azonosító index
 j — a hónapot azonosító index ($j = 1, 2, \dots, 12$)
 k — a szimulációs vizsgálat sorszáma ($k = 1, 2, \dots, 16$)
 n_k — az egy-egy szimulációs vizsgálatban figyelembe vett évek száma ($n_1, n_2, \dots, n_6 = 50; n_7, n_8, \dots, n_{16} = 100$).

3.2 Időtartam [s]

- Δt — 1 átlagos hónap, a szimulációs vizsgálat időegysége, amelyet állandó hosszúságúnak veszünk ($\Delta t = 2,63 \cdot 10^6$ s)

3.3 Vízállások [cm]

- H_{ij} — a Balaton vízállása az i -edik év j -edik hónapjának végén, a síófoki vízmércé „0” szintje felett („0” = 103,42 m B. f.)
 H_{aj}, H_{fj} — a Balaton 1977. január 1. óta érvényes szabályozási vízszinttartományának alsó, illetve felső határa a j -edik hónapban
 $\Delta H_{ij} = \max(0, H_{aj} - H_{fj})$ — az alsó szabályozási vízszint megsértésének mértéke

3.4 Víztömegek, térfogatok [10^6 m^3]

- V_{ij} — a Balaton medrében levő víztömeg az i -edik év j -edik hónapjának végén
 V_{aj}, V_{jj} — a j -edik havi H_{aj} , illetve H_{jj} szabályozási vízszintekhez tartozó víztömeg a tómederben
 $V_0 = V_{-1,12}$ — a szimulációs vizsgálat kezdetén a Balaton medrében levő, feltételezett vízmennyiség (kezdeti teltség)
 S — a hipotetikus (eredő) tározó vízkészlet-gazdálkodási célra hasznosítható tározótérel, amelynek összetevői a 3. ábra szerint:

$$S = S_H + S_N \quad (1)$$

- S_H — a hipotetikus tározó hasznosítható térfogatának kizárólag vízhasznosítási célú tározókban biztosított része
 S_N — a hipotetikus tározó hasznosítható térfogatának a vízminőség-védelmi célú nádistavakban (járulékosan) biztosított része
 S_k — a hipotetikus tározó hasznos térfogatainak sorozatában a k -edik elem (önkéntesen felvett, de egy-egy 50, illetve 100 éves szimulációs vizsgálat folyamán állandóként kezelt érték)
 S_0 — a nádistavak csak vízminőség-védelmi célt szolgáló, vízkészlet-gazdálkodásra nem hasznosítható térfogata
 $W_{ij} \leq S$ — a hipotetikus tározó medrében levő víztömeg az i -edik év j -edik hónapjának a végén
 $W_0 = W_{-1,12}$ — a szimuláció kezdetén a hipotetikus tározóban levő, feltételezett vízmennyiség (kezdeti teltség)

3.5 Vízfelületek [$\text{km}^2 = 10^6 \text{ m}^2$]

- A_B — a Balaton vízfelülete
 A_H — az S_H térfogatú, kizárólag vízhasznosítási célú tározó vízfelülete
 A_N — a Balaton eutrofizáció elleni védelmét szolgáló $S_0 + S_N$ térfogatú tavak vízfelülete (3. ábra)

3.6 A vízforgalom tételei (mértékegységük általában: [$10^6 \text{ m}^3/\text{hónap}$], az ettől eltérő mértékegységeket külön feltüntetjük)

- X_{ij} — a Balaton ún. havi természetes vízkészletváltozása, vagyis a vízgyűjtőről természetes úton a tóba érkező havi vízmennyiség (amelynek pozitív összetevői: a vízfolyások vízzsárlítása, a felszín alatti víztáplálás és a tófelszínre hulló csapadék, negatív összetevője: a tófelszínről történő párolgás). Meghatározásából következően X_{ij} értéke pozitív vagy negatív is lehet. Szimulációs vizsgálatunk egy részében ($k = 1, 2, \dots, 6$) az $n = 50$ éves észlelt $\{X_{ij}\}_1 = \dots = \{X_{ij}\}_n$ adatsort alkalmazzuk. A többi vizsgálathoz ($k = 7, 8, \dots, 16$) az 5.2 szakaszban ismertetendő módszerrel 100–100 éves $\{X_{ij}\}_k$ adatsorokat állítunk elő;

$x_{ij} = 10^3 \cdot X_{ij}/A_B$ — a havi természetes vízkészletváltozás tó-mm-ben kifejezett értéke [tó-mm/hónap]

$X_{Ti} = \sum X_{ij}$ — az i -edik év tenyészidőszakában a vízkészletváltozások összege [10⁶ m³/6 hónap]

$x_{Ti} = 10^3 X_{Ti}/A_B$ — a tenyészidőszaki vízkészletváltozás tó-mm-ben kifejezett értéke [mm/6 hónap]

ΔX_{ij} — a vízhasznosítási célú tározók és a nádistavak vízfelszín-párolgásának X_{ij} értékét csökkentő hatása, amelynek számítási módját az 5.3 szakaszban részletezzük

X_0 — a vízkészletváltozás önkényesen felvett állandó értéke (az adatsor-generálás segédmennyisége)

$Z_{ij} = X_{ij} + X_0$ — a mesterséges vízkészletváltozás-adatsor előállításához használt segédváltozó

Z_i — a $\{Z_{ij}\}$ adatsor i -edik évi átlagértéke

\bar{Z} — a $\{Z_i\}$ adatsor sokévi átlagértéke

I_j — a Balaton-vízgyűjtő vízhasználói 1990. évi rögzített fejlesztési szinten várható összesített (eredő) j -edik havi vízigényeinek, vagyis a vízkivételek, valamint a

bányászati- és használtvíz-bevezetések algebrai összegének *sokévi átlagértéke* (I_j értéke negatív is lehet). I_j értéke a következő összetevők összegeként számítható:

$$I_j = I_j^{(k)} + I_j^{(ip)} + I_j^{(hf)} + I_j^{(hp)} + I_j^{(\text{önt})}, \quad (2a)$$

ahol a jobboldalon is a j -edik havi várható eredő (pozitív vagy negatív) vízigények sokévi átlagai állnak, éspedig:

- $I_j^{(k)}$ — a rendszer közüzemi víz- és csatornaművei által kivett és bevezetett vízmennyiségek algebrai összegének átlagos j -edik havi értéke
- $I_j^{(ip)}$ — a rendszer ipari és bányászati üzemei által kivett és bevezetett vízmennyiségek algebrai összegének átlagos j -edik havi értéke
- $I_j^{(hf)}$ — a rendszer halastavainak feltöltéséhez kivett, ill. leürítésükkor visszavezetett havi vízmennyiségek átlagos j -edik havi értéke
- $I_j^{(hp)}$ — a rendszer halastavai párolgási veszteségének pótlásához szükséges átlagos j -edik havi vízmennyiség
- $I_j^{(\text{önt})}$ — a rendszer öntözőtelepeinek átlagos j -edik havi vízigénye.
- I_{ij} — a Balaton-vízgyűjtő vízhasználói 1990. évi rögzített fejlesztési szinten várható összesített (eredő) *konkrét* havi vízigénye az i -edik év j -edik hónapjában. I_{ij} értékét vizsgálatunkban a következő összetevők összegeként számítjuk:

$$I_{ij} = I_{ij}^{(k)} + I_{ij}^{(ip)} + I_{ij}^{(hf)} + I_{ij}^{(hp)} + I_{ij}^{(\text{önt})}, \quad (2b)$$

amelyben a fentebb még nem definiált jelölések jelentése:

- $I_{ij}^{(hp)}$ — a rendszer halastavai párolgási veszteségének pótlásához szükséges konkrét havi vízmennyiség
- $I_{ij}^{(\text{önt})}$ — a rendszer öntözőtelepeinek konkrét havi vízigénye
- $I_i^{(hp)} = \sum_{j=4}^9 I_{ij}^{(hp)}$ — a halastavak párolgási veszteségének pótlásához szükséges vízmennyiség az i -edik évben [$10^6 \text{ m}^3/\text{év}$]. Számításának módját az 5.5 szakaszban ismertetjük.
- $I_i^{(\text{önt})} = \sum_{j=4}^9 I_{ij}^{(\text{önt})}$ — az öntözőtelepek vízigénye az i -edik évben [$10^6 \text{ m}^3/\text{év}$]. Számításának módját az 5.4 szakaszban ismertetjük.
- $I_i^{(hp)}$ — a halastavak párolgási veszteségének pótlásához 1990. évi fejlesztési szinten, átlagos évben szükséges vízmennyiség [$10^6 \text{ m}^3/\text{év}$]
- $I_{1990}^{(\text{önt})}$ — az öntözőtelepek vízigénye átlagos évben, 1990. évi fejlesztési szinten [$10^6 \text{ m}^3/\text{év}$]
- $I_{1975}^{(\text{önt})}$ — az öntözőtelepek vízigénye átlagos évben, az 1964–75. időszak fejlesztési szintjén [$10^6 \text{ m}^3/\text{év}$]
- Y_{ij} — a vízhasználók részére ténylegesen kiszolgáltattott (negatív előjellel: a vízhasználóktól a Balatonnak átadott) havi vízmennyiség: $Y_{ij} \leq I_{ij}$
- U_{ij} — a Balatonból a hipotetikus tározóba (negatív előjellel: a tározóból a Balatonba) átvezetett havi vízmennyiség
- T_{ij} — a rendszerből a Sión lebocsátott (fölös) havi vízmennyiség.

3.7 A vízforgalom tételeinek számításához felhasznált segédmenntiségek és állandók:

- c_{ij} — a Balaton-vízgyűjtőre hulló havi csapadékösszeg területi átlaga [mm/hónap]
- p_{ij} — a Balaton vízfelületének havi párolgása [mm/hónap]
- e_{ij} — a Balaton-vízgyűjtő havi evapotranspirációjának területi átlaga [mm/hónap]
- $q_j \geq 1$ — tapasztalati állandó: a nádastó és a szabad vízfelület párolgásának hányadosa a j -edik hónapban [—]

$\alpha_j^{(hp)}$ — az $I_{ij}^{(hp)}/I_i^{(hp)}$ viszonyszám sokévi átlaga [—].

$$\left(\sum_{j=1}^{12} \alpha_j^{(hp)} = 1 \right).$$

$\alpha_j^{(\text{önt})}$ — az $I_{ij}^{(\text{önt})}/I_i^{(\text{önt})}$ viszonyszám sokévi átlaga [—].

$$\left(\sum_{j=1}^{12} \alpha_j^{(\text{önt})} = 1 \right)$$

β_{ij} — az $I_{ij}^{(hp)}$ és $I_{ij}^{(önt)}$ mezőgazdasági vízigényeknek az 5.5 és az 5.4 szakaszban ismertető számításához felhasznált empirikus mutató, amely az i -edik év j -edik hónapja meteorológiai feltételeinek a j -edik hónapok sokévi átlagos feltételeihez való viszonyát fejezi ki [—]

$\gamma_{ij} = Z_{ij}/Z_i$ — a mesterséges $\{X_{ij}\}$ adatsor generálásánál alkalmazott viszonzszám [—]

$\lambda_i(j) = \sum_{j=1}^j (\gamma_{ij} - 1)$ — a γ_{ij} viszonzszámok i -edik évi maradék-tömeggörbéje [—]

λ_i — a $\lambda_i(j)$ maradék-tömeggörbe értékkészletének tágassága [—]

γ_{ij} — a γ_{ij} viszonzszám irányított véletlenszámmal módosított változata [—]

ζ_i — véletlenszám ($0 \leq \zeta_i \leq 1$) [—]

a, b — tapasztalati lineáris összefüggések állandói

σ — az előállított, illetve alkalmazott tapasztalati lineáris függvénykapcsolatok szorosságát jellemző relatív szórás:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{y_i - y_i^j}{y_i} \right)^2}, \quad (3a)$$

ahol y_i , illetve y_i^j az y függő változónak a független változók ugyanazon halmazához tartozó észlelt, illetve számított értéke [—]

r — korrelációs tényező [—]

$r_{95\%}$ — az r korrelációs tényező $r = 0$ körüli ingadozási tartományát 95%-os szignifikancia-szinten határoló érték, amelyet az 5.2 szakaszbeli adatsorgenerálásnál használunk fel [—]

r_1 — elsőrendű autokorrelációs tényező [—]

3.8 A rendszer működésének eredményességét jellemző mutatók

R — a vízigény-kielégítés biztonsága:

$$R = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} I_{ij}} [\%] \quad (4)$$

\vartheta — a Balaton szabályozási vízszinttartománya megsértésének relatív tartama:

$$\vartheta = \frac{100}{12 \cdot n} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{H_{ij} < H_{sd} \\ 1 \leq j \leq 12}} 1 [\%]. \quad (5)$$

\delta — a Balaton szabályozási vízszinttartománya megsértésének mértéke:

$$\delta = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} \Delta H_{ij}^2 \right]^{1/2}}{12 \cdot n} [\text{cm}] \quad (6)$$

T — a Sión évente lebocsátott vízmennyiségek (vagyis a rendszer évi túlfolyásainak) sokévi átlaga:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} T_{ij}}{n} [10^6 \text{m}^3/\text{év}] \quad (7)$$

$F_{\eta}(x) = \text{prob}(\eta < x)$ — az η valószínűségi változó tapasztalati vagy simuló eloszlásfüggvénye

4. A vizsgálat matematikai modellje

4.1 A modell leírása

A 2. ábra szerint a rendszer az i -edik év j -edik hónapjában X_{ij} mennyiségű (pozitív vagy negatív előjelű) víztáplálást kap. Ebből ΔX_{ij} mennyiség a hipotetikus tározó, illetve a nádastó többletpárolgása következtében elvész, úgyhogy a Balatonba $X_{ij} - \Delta X_{ij}$ víztáplálás jut és módosítja (növeli vagy csökkenti) a tónak a vizsgált hónap kezdetén meglévő V_{ij-1} vízkészletét. Ha a $V_{ij-1} + (X_{ij} - \Delta X_{ij}) \cdot \Delta t$ érték meghaladja az adott hónapra előírt V_{aj} alsó szabályozási határértéket és I_{ij} pozitív, akkor a tóból kielégítjük az I_{ij} vízigényt. Ha ennek megtörténte után a tó vízkészlete még mindig meghaladja a V_{aj} alsó határértéket, akkor az adott hónap vízforgalom-szimulációja véget ért. Ha viszont a vízigeny-kielégítés után a tó vízkészlete V_{aj} alá csökkenne, akkor ki kell egészíteni a hipotetikus tározóból V_{aj} -ig, hacsak a tározóban levő W_{ij-1} vízmennyiség erre elegendő. Ha nem elegendő, akkor a tározót ki kell üríteni ($-U_{ij} \cdot \Delta t = W_{ij-1}$), az öntözések és halgazdaságok vízszolgáltatását pedig csökkenteni kell ($I_j^{(k)} + I_j^{(ip)} \leq Y_{ij} < I_{ij}$), hogy a V_{aj} szint elérését vagy legalább megközelítését ezáltal biztosítsuk. Szélsőségesen kedvezőtlen helyzetben az is előfordulhat, hogy a V_{aj} szint tartása a mezőgazdasági vízhasználók teljes vízkorlátozása árán sem biztosítható ($Y_{ij} = I_j^{(k)} + I_j^{(ip)}$, $V_{ij} \leq V_{aj}$).

Másrészről előfordulhat, hogy a tó vízkészlete az $(X_{ij} - \Delta X_{ij}) \cdot \Delta t$ víztáplálás fogadása és az I_{ij} vízigeny teljes mértékű kiegyenlítése (illetve negatív I_{ij} érték esetén a vízhasználóktól származó vízkészlet fogadása) után meghaladná az adott hónapra előírt V_{fj} felső szabályozási határértéket. Ez esetben a tó V_{fj} fölötti vízmennyiségét a hipotetikus tározóba kell vezetni ($+U_{ij}$). Ha a tározó ennek következtében nem telik meg ($W_{i,j+1} \leq S$), akkor az adott hónap vízforgalmának szimulációja véget ért. Ellenkező esetben a tározó fölötti vízmennyiségét a Sióba kell továbbvezetni (T_{ij}). (A modell szerint tehát a Balaton H_{fj} felső szabályozási vízszintjének megsértése nem lehetséges.)

A szimulációt $n_k = 50$, illetve $n_k = 100$ évre elvégezve, kiszámíthatók a vízkészlet-gazdálkodási rendszer eredményességét adott $S = S_k$ tározótér-fogat esetén jellemző R , ϑ , δ és T mutatók.

4.2 A modellben foglalt módszertani feltevések

A vízforgalom szimulációjának fenti vázlatos leírásából is kitűnnek az alkalmazott modell szerkesztésének alapjául vett — a 2. szakaszban megfogalmazott kiindulási munkahipotéziseken túlmenő — modellezéstechnikai, módszertani feltevések, illetve absztrakciók:

(a) A teljes X_{ij} víztáplálás először a hipotetikus tározóba, illetve a nádastóba érkezik. (Ez az absztrakció különösen mesterkéltnek tűnhet, hiszen

X_{ij} a tápláló vízfolyások vízszállítása mellett a Balaton felszínére hulló csapadékot és a róla elpárolgó vízmennyiséget is tartalmazza. Megfontolásunk szerint azonban ez a mesterkélttség nem ronthatja érezhetően a modell működésével kapott eredmények megbízhatóságát.)

(b) A hipotetikus tározó és a nádistavak ΔX_{ij} párolgási többletvesztései után fennmaradó teljes $X_{ij} - \Delta X_{ij}$ vízmennyiség ezután a Balatonba jut, vagyis ebben a lépésben a hipotetikus tározónak még nincs döntésektől függő vízforgalom-szabályozó funkciója, hanem csupán „automatikusan” csökkenti — a nádistóval együtt — a Balaton természetes víztáplálásának mértékét.

(c) A hipotetikus tározó, mint vízforgalom-szabályozó létesítmény, csak a Balatonból tölthető fel ($+U_{ij}$), és vagy a Balatonnak ($-U_{ij}$), vagy a Siónak (T_{ij}) adhat át vizet.

(d) A vízhasználók és a rendszer egyéb elemei közötti minden — pozitív vagy negatív előjelű — vízmennyiség-csere a Balaton és a vízhasználók között valósul meg.

(e) A Balatonban tárolt vízmennyiség előírt (V_{aj} , V_{fj}) tartományban való tartásának követelménye elsőbbséget élvez a mezőgazdasági vízigények kielégítésével szemben (OVH, 1979), a lakossági és ipari vízigények kielégítése viszont megelőzi a vízszinttartás követelményét.

(f) A rendszer — V_{fj} és S együttes elérésekor jelentkező — fölös vízkészletét a hipotetikus tározó adja le a Siónak.

(g) A szimulációs vizsgálat az X_{ij} víztáplálás 1 hónapos időelőnyű, 100%-os biztonságú előrejelzését tételezi fel.

4.3 A modell algoritmus

A 4.2. szerinti feltevések alapján felépített determinisztikus szimulációs modell algoritmus a következő:

$$Y_{ij} = \begin{cases} I_j^{(k)} + I_j^{(p)}, & \text{ha } V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} + W_{ij-1} \leq V_{aj} \\ V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} + W_{ij-1} - V_{aj}, & \text{ha} \\ I_j^{(k)} + I_j^{(p)} < V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} + W_{ij-1} - V_{aj} < I_{ij} \\ I_{ij}, & \text{ha } V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} + W_{ij-1} - V_{aj} \geq I_{ij} \end{cases} \quad (8)$$

$$U_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{ha } V_{aj} \leq V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} \leq V_{fj} \\ V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} - V_{fj}, & \text{ha } V_{ij-1} + \\ & + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} > V_{fj} \\ -W_{ij-1}, & \text{ha } 0 \leq W_{ij-1} \leq V_{aj} - V_{ij-1} - X_{ij} + \Delta X_{ij} + I_{ij} \\ - (V_{aj} - V_{ij-1} - X_{ij} + \Delta X_{ij} + I_{ij}), \\ & \text{ha } V_{aj} > V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} \\ & \text{és } W_{ij-1} > V_{aj} - V_{ij-1} - X_{ij} + \Delta X_{ij} + I_{ij} \end{cases} \quad (9)$$

$$V_{ij} = \begin{cases} V_{fj}, & \text{ha } V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} \geq V_{fj} \\ V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij}, & \text{ha } V_{aj} < V_{ij-1} + \\ & + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} < V_{fj} \\ V_{aj}, & \text{ha } V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} \leq V_{aj} \leq V_{ij-1} + \\ & + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_j^{(k)} - I_j^{(ip)} + W_{ij-1} \\ V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} + W_{ij-1} - I_j^{(k)} - I_j^{(ip)}, & \text{ha} \\ V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} + W_{ij-1} - I_j^{(k)} - I_j^{(ip)} < V_{aj} \end{cases} \quad (10)$$

$$W_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{ha } V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} + W_{ij-1} - I_{ij} \leq V_{aj} \\ W_{ij-1} + V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} - V_{fj}, & \text{ha} \\ & 0 < W_{ij-1} + V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} - V_{fj} < S \\ S, & \text{ha } W_{ij-1} + V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} - V_{fj} \geq S \\ S - (V_{aj} - X_{ij} + \Delta X_{ij} + I_{ij} - V_{ij-1}), & \text{ha} \\ & V_{aj} - V_{ij-1} - X_{ij} + \Delta X_{ij} + I_{ij} > 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$T_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{ha } W_{ij-1} - V_{fj} + V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} \leq S \\ V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} - V_{fj} + W_{ij-1} - S, & \text{ha} \\ & W_{ij-1} - V_{fj} + V_{ij-1} + X_{ij} - \Delta X_{ij} - I_{ij} > S \end{cases} \quad (12)$$

Az egyszerűség kedvéért a $m^3/\text{hónap}$ dimenziójú mennyiségeknél (vízigény, vízkészlet-változás, vízszolgáltatás, víztovábbengedés, a segéd tározó és a Balaton közötti vízforgalom) a Δt -vel való szorzás feltüntetésétől eltekintettünk, mivel ez az egyértelműséget nem zavarja.

5. A bemenő adatok beszerzése és képzése

Ebben a szakaszban — a 3. szakaszbeli definíciók értelemszerű sorrendjében — először felsoroljuk a szimulációs modell működtetéséhez szükséges adatok közül a más forrásból átvett és az önkényes döntéssel felvett adatok beszerzési forrásait, majd ismertetjük a szimuláció céljára általunk generált adatok előállításának módszereit.

5.1 Készen átvett és önkényesen felvett adatok

A Balaton havonta változó szabályozási vízszinttartományának H_{aj} és H_{fj} határértékeit az OVH (1979) előírásából vettük.

Az előbbi vízszint-határértékekhez tartozó V_{aj} és V_{fj} értékeket a VITUKI (1976) kiadványban közölt vízállás-víztömeg görbéről olvastuk le.

Valamennyi 50, illetve 100 éves szimulációs vizsgálathoz a Balaton kezdeti $V_0 = V_{-1,12}$ víztömegét — a VITUKI (1977) tanulmány példáját követve — a $H = 85$ cm-es tó-vízálláshoz tartozó $V_0 = 2030 \cdot 10^6$ m^3 értékkel vettük fel (7/c. ábra).

A hipotetikus tározó térfogatát az észlelt 50 éves X_{ij} víztáplálás-adatokkal futtatott programokban a következő — korábbi vizsgálatunk (GILYÉNNÉ—DOMOKOS, 1981) tapasztalatai alapján önkényesen megválasztott — S_k érték

kekkel szerepeltettük: $S_1 = 0$, $S_2 = 50 \cdot 10^6$ m³, $S_3 = 80 \cdot 10^6$ m³, $S_4 = 100 \cdot 10^6$ m³, $S_5 = 150 \cdot 10^6$ m³, $S_6 = 200 \cdot 10^6$ m³. A 10 generált 100 éves X_{ij} adatsorral végzett $k = 7, 8, \dots, 16$ sorszámú vizsgálatban egységesen ugyanazt az értéket: $S_7 = S_8 = \dots = S_{16} = 100 \cdot 10^6$ m³-t vettünk fel.

A nádistavak csak vízminőségvédelmi célra hasznosítható térfogatrésze a VÁTI (1978) szerint: $S_0 \approx 70 \cdot 10^6$ m³. (Ez az érték egyébként vizsgálatunk szempontjából érdektelen, mivel a nádistavak modellünk szerint csak A_N felületük párologtatása révén vesznek aktív részt a vízforgalomban.)

Valamennyi szimulációs vizsgálatához a hipotetikus tározó kezdeti $W_0 = W_{-1,12}$ víztömegét esetenként $W_{0,k} = 0,75 \cdot S_k$ -nak vettük fel.

A Balaton A_B vízfelülete a $70 \text{ cm} \leq H \leq 100 \text{ cm}$ -es szabályozási vízszinttartományban gyakorlatilag (± 2 km²-es eltéréssel) állandó érték: $A_B = 590 \text{ km}^2$ (VITUKI, 1976).

A k -adik szimulációs vizsgálatban az $S_{H,k}$ térfogatú, kizárólag vízhasznosítási célú tározó vízfelületét — a VÁTI (1978) tanulmány adatai alapján 1,3 m-es átlagos vízmélységgel és $S_N = 25 \cdot 10^6$ m³-rel számolva — az

$$A_{H,k} = 0,75 \cdot (S_{H,k} - 25) \quad (13)$$

értékkel vettük figyelembe. (Az A_H vízfelületnek a mindenkori W_{ij} tározóteltségtől függő változásait elhanyagoltuk.)

A Balaton eutrofizáció elleni védelmét szolgáló — részben vízhasznosítási célú tározórészt is biztosító — nádistavak vízfelületét a VÁTI (1978) tanulmányban közölt adatok összegzésével, $A_N = 95 \text{ km}^2$ állandó értékkel szerepeltettük.

A Balaton X_{ij} havi természetes vízkészletváltozásának (vagyis nettó víztáplálásának) 50 éves (1921—70. évi) észlelt, ill. rekonstruált adatsorát a VITUKI (1977) tanulmánya közli. (Az idézett tanulmány a havi vízkészletváltozás-értékeket a tó vízfelületére vetített x_{ij} tó-mm/hónap mértékegységben adja meg, amelyekből az X_{ij} értékeket értelemszerűen az

$$X_{ij} = 10^{-3} \cdot A_B \cdot x_{ij} \cdot [10^6 \text{ m}^3/\text{hónap}] \quad (14)$$

összefüggéssel számítottuk át.) A 10 db egyenként 100—100 év terjedelmű mesterséges $\{X_{ij}\}$ adatsornak ebből az 50 éves észlelt adatsorból való előállítására alkalmazott módszert az 5.2 szakaszban ismertetjük.

Az átlagos j -edik havi I_j eredő vízigények 1990. évi fejlesztési szinten várható értékeit és ezek $I_j^{(k)}$, $I_j^{(ip)}$, $I_j^{(hf)}$, $I_j^{(hp)}$ és $I_j^{(önt)}$ összetevőit a VITUKI (1977) munkájából vettük.¹ A szimulációs időszak konkrét hónapjaira jellemző

¹ A VITUKI 1977. évi tanulmányában 1990-re előrejelzett vízigény-értékek 1990-ben való bekövetkezésének valószínűsége — a beruházások, köztük az öntözés- és halgazdaság-fejlesztések időközben mérsékeltebbé vált üteme miatt — valamelyest romlott. Más megbízható vízigény-előrejelzések hiányában mégis ezeket az adatokat használjuk fel tanulmányunkban, hiszen ezek a módszertani eredményeket nem érintik, hanem legfeljebb azt eredményezik, hogy nem az 1990. évi, hanem valójában egy valamivel későbbi vízgazdálkodási állapotot modellezzünk.

I_{ij} értékek számításához felhasznált, a kb. rögzített fejlesztési szintűnek tekinthető 1964—75. időszakra vonatkozó $I_{ij}^{(hp)}$ és $I_{ij}^{(önt)}$ mennyiségeket ugyanez a tanulmány közli. Az 1990. évi fejlesztési szintre vonatkozó $I_{ij}^{(hp)}$ és $I_{ij}^{(önt)}$ értékek számításának módját az 5.4 és 5.5 szakaszban részletezzük.

Az 1921—70. közötti észlelési időszakra vonatkozóan a Balaton-vízfelület p_{ij} párolgás- és c_{ij} csapadék-értékeit, továbbá a Balaton-vízgyűjtő e_{ij} evapotranspiráció-értékeit a VITUKI (1977) tanulmányból vettük át. A vízgyűjtőre — s ezen belül a leendő tározók vízfelületére — hulló c_{ij} csapadékértékeket azonosnak tekintettük a tóra hulló csapadékéval.

A nádastó és a szabad vízfelület párolgásának arányát jellemző q_j értékeket Baranyi (1970) tanulmánya közli.

Végül a modellünkben, a többi vízigény-összetevőtől eltérően, az időjárástól függően évről évre változónak tekintett $I_{ij}^{(hp)}$ és $I_{ij}^{(önt)}$ vízigény-összetevők számításához szükséges — az egyes hónapoknak a teljes évi vízigényből való részesedését sokévi átlagértékként megadó — $\alpha_{ij}^{(hp)}$ és $\alpha_{ij}^{(önt)}$ segédszámokat a Balaton-vízgyűjtőn érdekelt vízügyi szervek közös tapasztalatait összegző VITUKI (1977) tanulmányból vettük.

5.2 A szintetikus $\{X_{ij}\}$ víztáplálás-adatsorok előállítása

Mivel az eredmények statisztikai értékelhetősége érdekében célunk volt a szimulációs futtatások számának szaporítása, a rendelkezésünkre álló 50 éves észlelt, ill. rekonstruált $\{X_{ij}\}$ természetes vízkészlet-változás adatsor (VITUKI, 1977) felhasználásával további 10, egyenként 100—100 év terjedelmű mesterséges $\{X_{ij}\}$ adatsort állítottunk elő. Az előállításhoz az eredetileg vízhozam-adatsorok generálására kidolgozott Szvanyidze-féle ún. töredék-módszert a hazai vízjárási viszonyokra adaptáló KARDOS (1973) eljárást alkalmaztuk, feladatunknak megfelelő értelemszerű módosításokkal:

(a) Az észlelt $\{X_{ij}\}$ természetes vízkészlet-változás adatsornak negatív elemei is vannak, az alkalmazni kívánt adatgeneráló módszert viszont eredetileg nem negatív elemű vízhozamsorozatokra dolgozták ki. Ezért először a

$$Z_{ij} = X_{ij} + X_0 \quad (15)$$

helyettesítéssel egy szintén csak nem-negatív elemeket tartalmazó $\{Z_{ij}\}$ adatsort készítünk, ahol

$$X_0 > |X_{ij, \min}| \quad (16)$$

célszerűen megválasztott mennyiség. Esetünkben $X_0 = 300 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{hónap}$.

(b) A havi értékek $\{Z_{ij}\}$ adatsorából a

$$Z_i = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} Z_{ij} \quad (17)$$

képlet alkalmazásával előállítjuk az évi átlagértékek n elemű $\{Z_i\}$ sorozatát.

(c) A $\{Z_i\}$ sorozatnak előállítjuk a következő statisztikai jellemzőit:

— a

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (18)$$

sokévi átlagértéket

— a sorozat r_1 elsőrendű autokorrelációs tényezőjét

— az

$$F_Z(x) = \text{prob} \{[Z_i - \bar{Z}] < x\} \quad (19)$$

tapasztalati eloszlásfüggvényt, amely a könnyebb számítástechnikai kezelhetőség céljából valamilyen simuló eloszlásfüggvénnyel is helyettesíthető. (Esetünkben Pearson III. típusú simuló eloszlásfüggvényt alkalmaztunk.)

(d) Minden egyes i -edik év 12 értéket tartalmazó $\{Z_{ij}\}_i$ sorozatából külön-külön előállítjuk az éven belüli eloszlást jellemző

$$\gamma_{ij} = \frac{Z_{ij}}{Z_i} \quad (20)$$

hányadosok sorozatát

$$\left(\sum_{j=1}^{12} \gamma_{ij} = 12 \right),$$

valamint minden ilyen $\{\gamma_{ij}\}_i$ sorozatból — vagy meghonosodott elnevezéssel „töredékből” — a

$$\lambda_i(j) = \sum_{j=1}^i (\gamma_{ij} - 1) \quad (21)$$

maradék-tömeggörbe értékészletének tágasságát mérő

$$\lambda_i = \lambda_i(j)_{\max} - \lambda_i(j)_{\min} \quad (22)$$

számot. Meghatározzuk a (Z_i, λ_i) értékpárok $r_{z, \lambda}$ korrelációs tényezőjét és ezt összehasonlítjuk a korrelációs tényező 0 körüli ingadozására 95%-os szignifikancia-szinten megadott Anderson-féle $r_{95\%}(n)$ határértékkel (DYCK—SCHRAMM, 1968). Ha

$$|r_{z, \lambda}| < r_{95\%}(n), \quad (23)$$

akkor λ_i -t Z_i -től függetlennek tekintjük. Ellenkező esetben előállítjuk a $\lambda_i(Z_i)$ regressziós kapcsolatot. Példánk esetében a (23) feltétel teljesült, tehát λ_i a Z_i -től függetlennek bizonyult.

(e) A fenti előkészítő műveletek után, a mesterséges $\{X_{ij}\}$ adatsor generálásának első lépéseként, az évi értékek n_k év terjedelmű mesterséges $\{Z_i\}_k$ adatsora i -edik elemét, ζ_i véletlenszámok ($0 \leq \zeta_i \leq 1$) felhasználásával, a következő képlet alkalmazásával állítjuk elő:

$$Z_i = \bar{Z} + r_1(Z_{i-1} - \bar{Z}) + F_Z(\zeta_i) \sqrt{1 - r_1^2}. \quad (24)$$

(f) A generálás következő lépéseként a már előállított évi Z_i értékeket $\{Z_{ij}\}_i$ havi értéksorokra bontjuk. Mivel (d) szerint esetünkben λ_i független Z_i -től, minden generált Z_i -hez véletlenszerűen választunk ki egyet az észlelt adatok $\{\gamma_{ij}\}_i$ „töredékeinek” a halmazából. Minden ilyen kiválasztott töredékhez $12 - 12 \xi_j$ véletlenszámot veszünk fel ($0 \leq \xi_j \leq 1$) és a töredék j -edik γ_{ij} elemét az „irányított véletlenszámok módszerével” — némileg önkényesen, az éven belüli ingadozási görbék változékonyságának korlátozott növelése céljából — a következőképpen módosítjuk:

$$\gamma'_{ij} = \gamma_{ij} \left(1 + \frac{\xi_j - \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} \xi_j}{(0,2 + 1,8 \xi_j) \cdot \sum_{j=1}^{12} \xi_j} \right) \quad (25)$$

$$\left(\sum_{j=1}^{12} \gamma'_{ij} = 12 \right).$$

A generált adatsor i -edik év j -edik hónapjához tartozó Z_{ij} értéket pedig értelemszerűen a

$$Z_{ij} = \gamma'_{ij} \cdot Z_i \quad (26)$$

képlettel számítjuk.

(g) Az így előállított Z_{ij} értékekből a generált vízkészletváltozás-adatsor X_{ij} eleme az

$$X_{ij} = Z_{ij} - X_0 \quad (27)$$

összefüggésből adódik.

A vázolt módszerrel előállított 10 $\{X_{ij}\}_k$ adatsor jellemzőiről az 1. táblázat (3)—(5) oszlopa tájékoztat.

5.3 A tározók okozta ΔX_{ij} párolgási többletvesztés számítása

(a) Az 1921—70 közötti észlelési időszak adataival való futtatások ($k = 1, 2, \dots, 6$) céljára a víztáplálás-csökkenés ΔX_{ijk} havi értékeit a következő képlettel számítottuk:

$$\Delta X_{ijk} = A_{H,k} (p_{ij} - e_{ij}) + A_N (q_j \cdot p_{ij} - e_{ij}). \quad (28)$$

A fenti képletben szereplő valamennyi mennyiség ismert az 5.1 szakasz szerint. A (28) képlet alkalmazásának fő felvetései:

(a1) a létesítendő tározók területének mm-ben kifejezett evapotranspirációja megegyezik az egész Balaton-vízgyűjtőre jellemző átlagértékkel;

(a2) vízfelszín-párolgásuk pedig megegyezik a Balatonéval.

(b) A mesterségesen előállított $\{X_{ij}\}$ adatsorokkal való futtatások ($k = 7, 8, \dots, 16$) ΔX_{ijk} értékeit elvileg ugyancsak a (28) képlettel számítottuk, csakhogy ez esetben már nem álltak rendelkezésünkre észlelt (illetve észlelések-

ből levezetett) p_{ij} és e_{ij} adatsorok, úgyhogy ezeket is az észlelési adatsorból levezetett információkon alapuló segédszámításokkal kellett becsülnünk.

A becslés első segédlet-sorozataként az 50 éves párhuzamos észlelési adatsorok adataiból havonkénti

$$p_{ij} = a_j X_j + b_j \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad (29)$$

alakú tapasztalati kapcsolatokat állítottunk elő. Az előállított kapcsolatok szorossága kielégítőnek mondható, mivel a jelentősebb párolgás-értékekkel jellemzett nyári félév hónapjaiban (IV.—IX. hó) az észlelési pontoknak a regressziós egyenesek körüli relatív szóródása viszonylag kicsi ($0,11 \leq \sigma_j \leq 0,25$), míg a téli félév hónapjaira (X.—III. hó) adódott nagyobb relatív szóródások ($0,42 \leq \sigma_j \leq 0,71$) hatása e hónapok kis párolgás-értékei miatt nem jelentős. Kiragadott példaként a január, április és július havi ($j = 1, 4, 7$), (29) típusú kapcsolatot a 4. ábrán mutatjuk be.

A becslés második segédleteként az 50 éves észlelési időszak összetartozó (e_{ij} , p_{ij}) értékpárjai alkotta ponthalmaz kiegyenlítő egyenesét állítottuk elő, havi bontás nélkül. Amint az 5. ábrán is látható, az

$$e_{ij} = 0,74 \cdot p_{ij} \quad (30)$$

alakú regressziós egyenes — várakozásunkkal ellentétben, részben bizonyára az e_{ij} értékek észlelési bizonytalanságai következtében — csak durva becslést adhat ($\sigma = 0,57$), de további, megbízhatóbb információ hiányában ezzel kell beérnünk. A (30) kapcsolat 0,74-es együtthatója egyébként jól egyezik az evapotranspiráció/párolgás viszonyszám szakirodalomból vehető átlagértékével (WMO, 1976).

A mesterségesen előállított X_{ij} értékeket csökkentő ΔX_{ijk} párolgási veszteségek becslésére szolgáló összefüggést ezekután úgy kapjuk, hogy (28)-ba behelyettesítjük (29)-et és (30)-at:

$$\Delta X_{ijk} = A_{H0,k} \cdot 0,26 (a_j X_{ij} + b_j) + A_N (q_j - 0,74) (a_j X_{ij} + b_j). \quad (31)$$

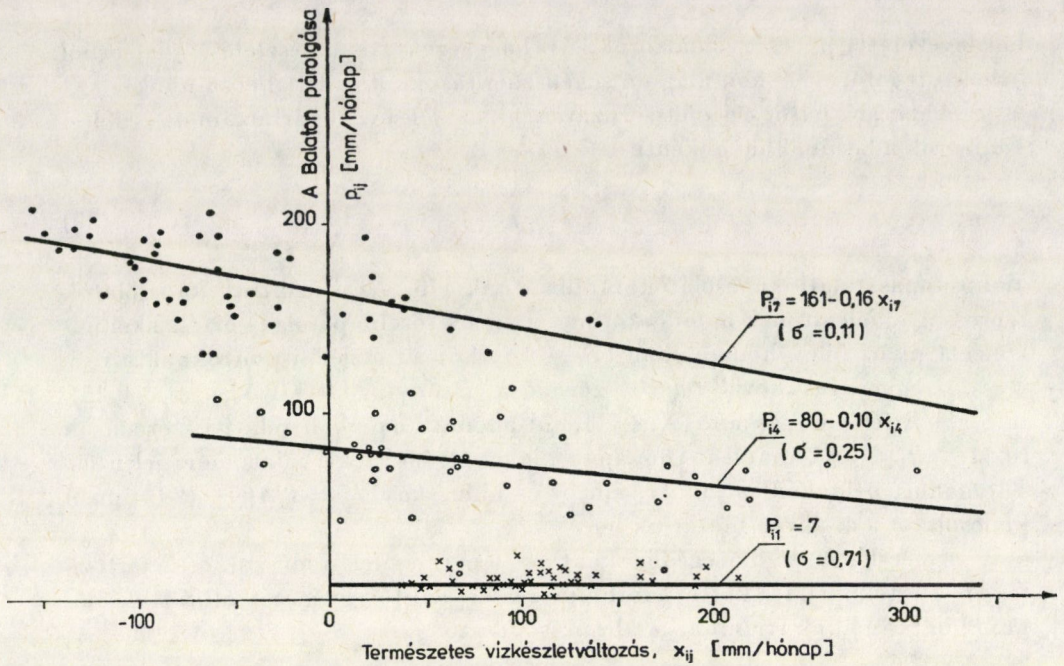
5.4 Az $I_{ij}^{(\delta nt)}$ öntözési vízigény számítása

A VI FUKI (1977) tanulmány

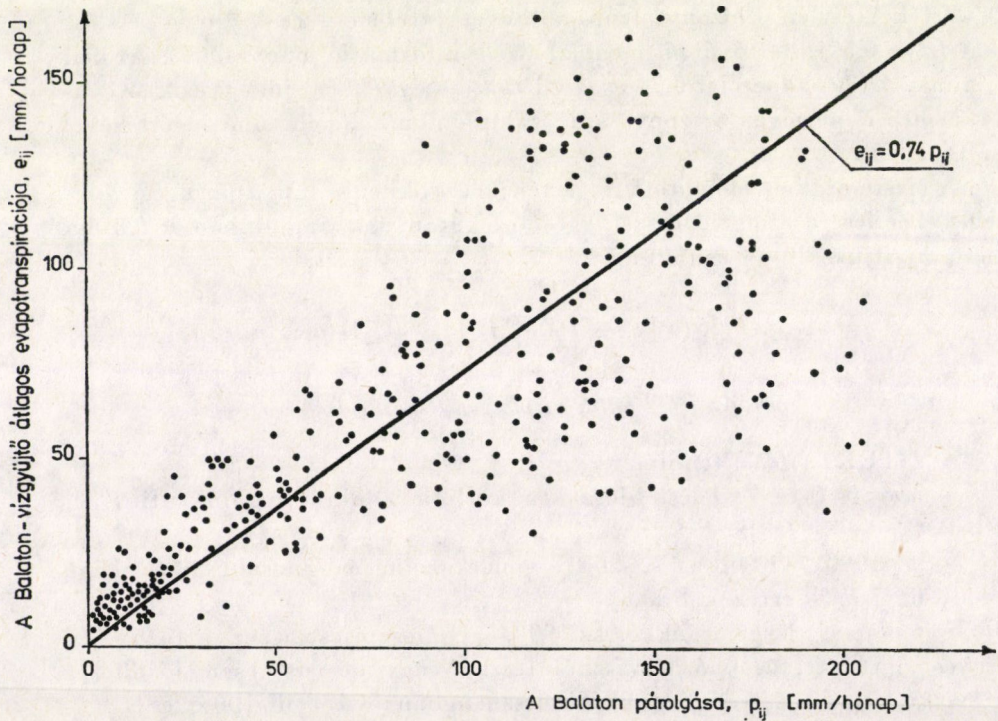
— az 50 éves észlelési időszakra közli a konkrét havonkénti $I_{ij}^{(\delta nt)}$ értékeket,

— az 1990. évi fejlesztési szintre vonatkozóan pedig a sokévi átlagként várható havi $I_{ij}^{(\delta nt)}$ értékeket ad.

Szimulációs vizsgálatunkhoz az 1990. évi fejlesztési szinthez tartozó — és az egyes adott futtatásokhoz felhasznált (észlelt vagy mesterségesen előállított) $\{X_{ij}\}$ vízkészletváltozás-adatsorokkal is összhangban levő 50, ill. 100 éves $\{I_{ij}^{(\delta nt)}\}$



4. ábra. Havonkénti tapasztalati kapcsolatok az x_{ij} vízkészletváltozás és a p_{ij} vízfelszín-párolgás között (kiragadott példák)



5. ábra. Tapasztalati kapcsolat a p_{ij} vízfelszín-párolgás és az e_{ij} területi evapotranspiráció között

adatsorokra volt szükségünk. Ezek előállítását futtatásonként két lépésben végeztük: (a) először előállítottuk az adott $\{X_{ij}\}_k$ adatsorral 1990. évi fejlesztési szinten várhatóan együjtjáró $\{I_{ik}^{(\text{önt})}\}$ évi (= tenyészidei) vízigény-adatsort; (b) az utóbbit — az időjárás viszonyok egyes éveken belüli alakulásának figyelembevételével — $I_{ijk}^{(\text{önt})}$ havi vízigény-értékekre bontottuk.

a) Első lépésként tapasztalati kapcsolatot kerestünk egy — öntözésfejlesztés szempontjából stagnálónak tekinthető, tehát többé-kevésbé homogén vízigény-adatokat szolgáltató — múltbeli időszak X_{Ti} tenyészidőszaki összesített vízkészletváltozásai és $I_i^{(\text{önt})}$ évi (= tenyészidőszaki) összesített öntözővízigényei között. A kiválasztott 1964—75. közötti, 12 éves időszak összetartozó $(X_{Ti}, I_i^{(\text{önt})})$ értékpárjai alkotta pontokat eléggé meggyőzően egyenlíti ki az 1964—75. időszak viszonyait jellemző

$$I_{i,1975}^{(\text{önt})}(X_{Ti}) = 13,1 \cdot e^{-0,0029 X_{Ti}} \quad (32)$$

tapasztalati kapcsolat (6. ábra). Ebből az 1990. évi fejlesztési szintet jellemző kapcsolatot a két időszak tenyészidőszaki vízigényei

$$I_{1990}^{(\text{önt})}/I_{1975}^{(\text{önt})} = 22,1/11,2 = 1,97 \quad (33)$$

arányával való szorzás adja, tehát az 1990-es szintre az

$$I_{i,1990}^{(\text{önt})} = 1,97 \cdot I_i^{(\text{önt})} = 25,8 \cdot e^{-0,0029 X_{Ti}} \quad (34)$$

tapasztalati összefüggést tekintjük érvényesnek.

b) Miután a (34) összefüggéssel minden $\{X_{ij}\}_k$ adatsorhoz előállítottuk az évi (tenyészidei) $I_i^{(\text{önt})}$ értékek n_k elemű sorozatát, minden ilyen $I_i^{(\text{önt})}$ értéket havi $I_{ij}^{(\text{önt})}$ értékekre kellett bontanunk. Ezt az elvi megfontolásokból kiinduló, de csak többszöri próbálgatás után véglegesített

$$I_{ij}^{(\text{önt})} = I_i^{(\text{önt})} (\alpha_j^{(\text{önt})} + 0,5\beta_{ij}) \quad (35)$$

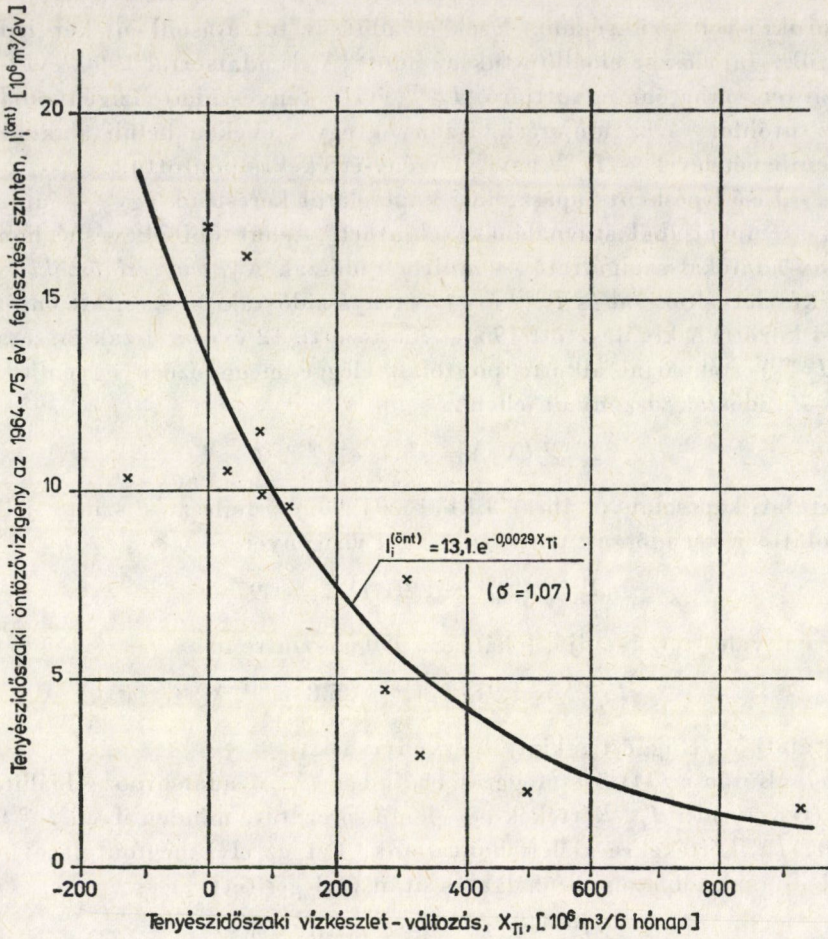
képlet alkalmazásával végeztük, amelyben az $\alpha_j^{(\text{önt})}$ értékek az évi öntözési vízigény hónapok közötti átlagos megoszlását jellemzik

$$\left(\sum_{j=4}^9 \alpha_j = 1 \right),$$

míg a β_{ij} tényező az adott év tenyészidőszaki időjárás-alakulásának az átlagos alakulástól való eltérését hivatott érvényesíteni:

$$\beta_{ij} = \frac{(c_{ij} - p_{ij})}{\sum_{j=4}^9 (c_{ij} - p_{ij})} - \frac{\sum_{i=1}^n (c_{ij} - p_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=4}^9 (c_{ij} - p_{ij})} \quad (36)$$

$$\left(\sum_{j=4}^9 \beta_{ij} = 0 \right), \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$



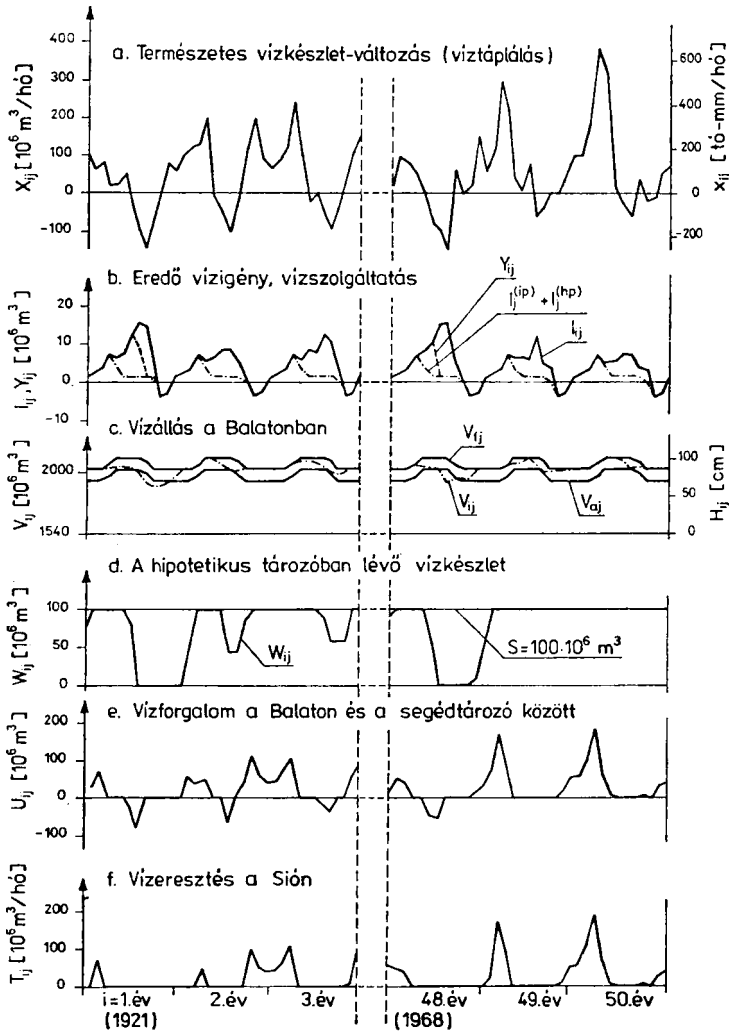
6. ábra. Tapasztalati kapcsolat az x_{Ti} tenyészidei összesített vízkészlet-változás és az $I_{i,1975}^{(\text{önt})}$ tenyészidei összesített öntözési vízigény között az 1964–75. évi fejlesztési szinten

ahol a p_{ij} vízfelszín-párolgás értékek az 5.3 szakasz (29) tapasztalati összefüggésével állítandók elő.

5.5 A halastavak vízpótlását szolgáló $I_{ij}^{(\text{hp})}$ vízigény számítása

Az előző szakaszban tárgyalt $I_{ij}^{(\text{önt})}$ vízigény-értékek számításához hasonlóan az $I_{ij}^{(\text{hp})}$ értékeket is két lépésben állítottuk elő.

(a) Első lépésként most is az egyes évek teljes tenyészidei $I_i^{(\text{hp})}$ vízigényét számítottuk abból a megfontolásból kiindulva, hogy ez az érték lényegében ugyanazoktól az időjárási tényezőktől függ, mint ugyanazon i -edik év $I_i^{(\text{önt})}$



7. ábra. Részlet az $S = 100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es hipotetikus tározótérfogattal futtatott szimulációs program részeredményeiből

értéke. Ezért az 1990. évi szintre vonatkozó sokévi átlagos vízigények

$$I^{(hp)}/I^{(\text{önt})} = 4,95/22,1 = 0,22 \quad (37)$$

arányszámát alkalmazva, az $I_i^{(hp)}$ értékek előállítására egyszerűen az

$$I_i^{(hp)} = 0,22 \cdot I_i^{(\text{önt})} \quad (38)$$

képletet alkalmaztuk, amelyben $I_i^{(\text{önt})}$ a (34) tapasztalati kapcsolattal már előállított öntözési vízigény.

(b) Az $I_i^{(hp)}$ értékek *hónapokra* való szétoztására — ugyancsak az öntözési és vízpótlási vízigények együttjárására vonatkozó fenti megfontolásból — a (35) képletéhez hasonló

$$I_{ij}^{(hp)} = I_i^{(hp)} (\alpha_j^{(hp)} + 0,5 \beta_{ij}) \quad (39)$$

összefüggést alkalmaztuk, amelyben a β_{ij} tényezők azonosak a (38) képlettel már előállított értékekkel.

6. A modell működtetése

A (8)—(12) algoritmus alapján számítógépes szimulációs program készült a VITUKI R10 számítógépére. A program tartalmazza a vízigények (34)—(36) szerinti számítását is.

A vízkészletváltozás-idősorok (17)—(27) szerinti generálását egy másik program végzi.

A szimulációs vizsgálatot — az 5.1 szakaszban felsorolt forrásokból átvett, valamint az 5.2—5.5 szakaszokban részletezett módszerekkel előállított bemenő adatokkal — az $\{X_{ij}\}_k$ víztáplálás-adatsorok és S_k hipotetikus tározótérfogatok 16 különböző kombinációjára végeztük el, amelyekről az 1. táblázat ad áttekintést. Az $S_4 = 100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ hipotetikus tározótérfogathoz tartozó, az 50 éves észlelt X_{ij} víztáplálás-adatsort alkalmazó szimuláció egyes részeredményeit — kiragadott példaként, szemléltetésül — a 7. ábrán mutatjuk be.

Egy-egy 100 év terjedelmű szimulációs vizsgálat gépidő-igénye az R 10 gépen 12 perc.

7. Eredmények

Az elvégzett szimulációs vizsgálatok eredménymutatóiról az 1. táblázat (9)—(12) oszlopa tájékoztat.

Az ugyanazon 50 éves (észlelt) $\{X_{ij}\}$ víztáplálás-adatsorral, de különböző S_k hipotetikus tározótérfogatokkal végzett $k = 1, \dots, 6$ vizsgálat eredménymutatóit — az S tározótérfogat függvényében — a 8. ábrán szemléltetjük.

A rögzített $S = 100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es hipotetikus tározótérfogattal, de 10 különböző generált (egyenként 100-100 éves) $\{X_{ij}\}_k$ víztáplálás-adatsorral kapott eredménymutatók Gauss-típusú simuló eloszlásfüggvényei a 9. ábrán láthatók.

Az 1. táblázatban, valamint a 8. és 9. ábrán bemutatott eredményeket így értékeljük:

1. táblázat

Áttekintés az elvégzett szimulációs vizsgálatokról és azok eredményeiről

A vizsgálat sorszáma, k	Az adatcsoportok jellege, hossza n_k	Az $\{X_{ij}\}_k$ természetes víztáplálás adatsor			Az $\{I_{ij}\}$ vízigény-adatsor		A hipotetikus tározó térfogata $S_k [10^6 \text{ m}^3]$	A rendszer működésének eredmény-mutatói			
		statistikai jellemzői $[10^6 \text{ m}^3/\text{hónap}]$						Vízigény-kielégítési biztonság $R [\%]$	A Balaton szabályozási vízszint megsértésének		Évi átlagos vízeresztés a Sión $T [10^6 \text{ m}^3/\text{év}]$
		átlag	maximum	minimum	átlag	maximum			relatív tartalma $\delta [\%]$	mértéke $\delta [\text{cm}]$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1.	észlelt (rekonstruált), 50 év (1921—70)	33,3	270	-91	4,3	17,2	0	69,5	21,3	6,0	328,8
2.							50	80,8	12,3	3,8	318,3
3.							80	86,9	8,3	2,9	309,7
4.							100	89,0	7,0	2,3	304,9
5.							150	93,7	3,5	1,3	293,4
6.							200	97,2	1,5	0,6	282,6
7.	generált, 100 év	31,2	313	-116	4,7	27,0	100	83,4	11,6	4,2	278,1
8.		32,3	368	-97	4,5	34,8		84,0	10,7	5,2	294,2
9.		33,3	289	-120	4,5	30,9		88,0	7,4	2,6	303,7
10.		31,2	269	-98	4,6	31,6		82,8	12,0	7,9	279,4
11.		32,6	265	-119	4,5	27,3		87,6	7,8	3,7	292,6
12.		35,8	392	-104	4,3	26,7		90,7	5,9	2,8	334,4
13.		36,5	337	-121	4,4	24,9		84,2	10,2	3,4	344,1
14.		34,1	369	-108	4,4	33,1		89,8	7,8	2,7	312,0
15.		36,6	503	-125	4,4	26,9		88,1	7,1	2,6	344,7
16.		37,4	330	-103	4,4	25,4		86,5	9,2	4,9	361,7

8*

Műszaki Tudomány 62 (1982)

— A Balaton-vízgyűjtőn létesítendő tározórendszer nélkül az — 1990-es fejlesztési szinten várható — vízigények csak mintegy 69%-os biztonsággal lennének kielégíthetők, valamint az összzidőtartam 21%-ában nem lehetne biztosítani az alsó szabályozási vízszint elérését.

— $S = 200 \cdot 10^6$ m³ hasznos tározótérfogat esetén R várható értéke eléri a 97%-ot és az alsó szabályozási vízszint elérését az összzidőszaknak csupán a 2%-ában nem lehet biztosítani.

— $S = 100 \cdot 10^6$ m³-hez $R = 89\%$ vízigény-kielégítési biztonság és a Balaton alsó szabályozási vízszint megsértésének 7%-os relatív tartama tartozik.

— Mesterséges vízkészletváltozási adatsorok felhasználása esetén az $S = 100 \cdot 10^6$ m³-hez tartozó vízigény-kielégítési biztonság 83% és 91% között változik (átlagosan 87%), a Balaton alsó szabályozási vízszintje megsértésének relatív tartama 6%—12% közötti értékeket vesz fel (átlagosan 9%).

Látható, hogy mesterséges adatsorok felhasználása esetén — mint az várható is volt — átlagosan kisebb biztonság adódik. Ennek oka az, hogy a kétszer olyan hosszú idősorok több szélsőséges esetet tartalmazhatnak.

A mesterségesen előállított vízkészletváltozás-idősorok átlagainak maximális eltérése az észlelt idősorokéhoz képest 12%, átlagosan pedig 2%-kal tér el attól. A mesterséges $\{X_{ij}\}_k$ idősorok maximális értékei az eredeti $\{X_{ij}\}$ idősor maximális értékének a 98%-ától a 186%-áig terjedő értékeket, minimális értékei pedig az eredeti idősor minimális értékeinek 107%—137% közötti értékeket vesznek fel; a mesterséges $\{X_{ij}\}_k$ idősorok átlagosan 126%-kal nagyobb tartományt ölelnek fel (102%—174%).

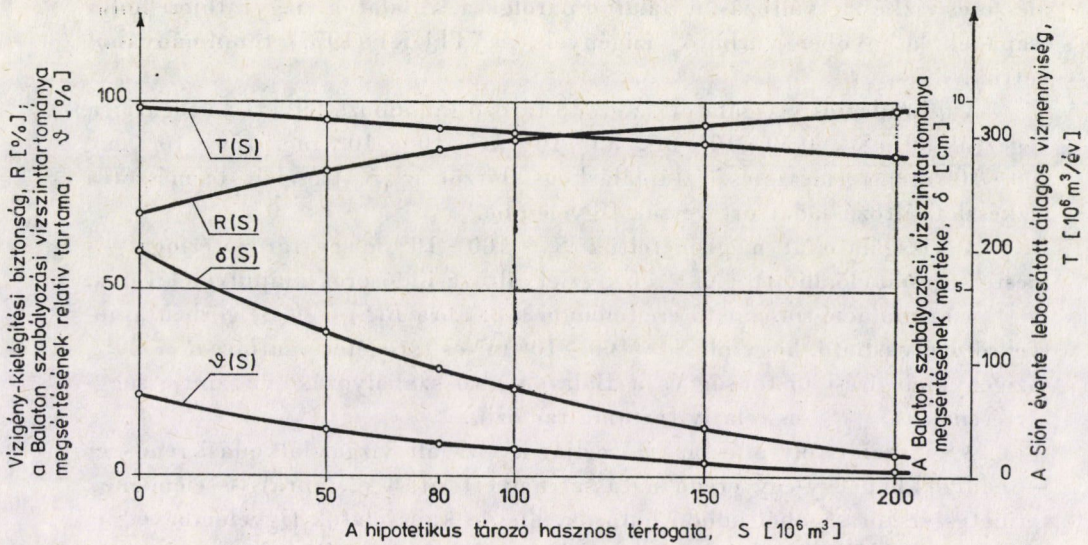
A generált $\{X_{ij}\}_k$ idősorok felhasználásaival előállított $\{I_{ij}\}$ vízigények átlagainak maximális eltérése az észlelt idősorhoz tartozókhöz képest 9%, átlagosan mintegy 4%-os eltéréseket mutat. Az $\{I_{ij}\}_k$ idősor maximális értékei az eredeti vízkészletváltozási idősorhoz tartozó vízigényidősor maximális értékei 145%-tól 202%-ig terjedő értékeket vesznek fel (átlagosan 168%-át).

A 8. ábra $T(S)$ vonalai a Sión mederöblítés, hajózás, angolnafogás stb. céljára szükséges vízeresztések elégségességének megítéléséhez szolgálhatnának támpontul.

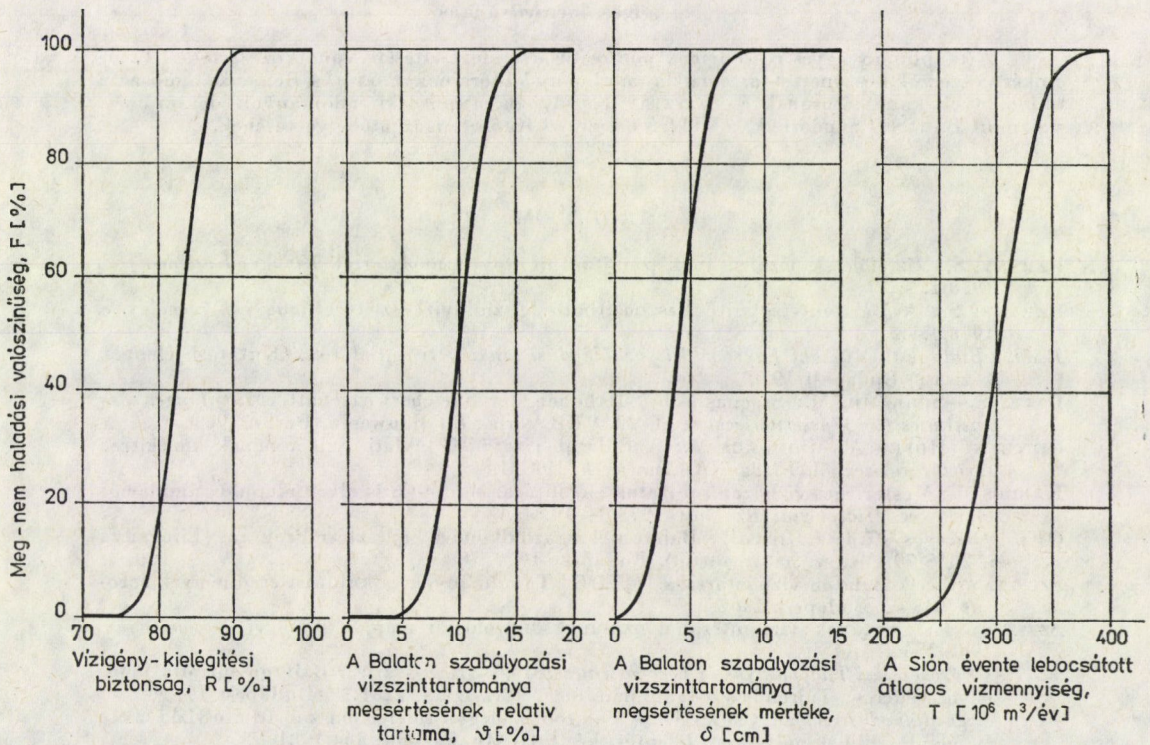
8. Összefoglalás, további feladatok

Tanulmányunkban arra a kérdésre kerestünk választ, hogy a Balaton vízgyűjtőjén létesíthető vízhasznosítási célú tározók mekkora hasznos ösztér-fogatára lenne szükség ahhoz, hogy a vízgyűjtőn várható jövőbeli vízigényeket — a Balaton vízszintszabályozási előírásainak betartására törekedve — kellő biztonsággal ki lehessen elégíteni.

A feladat megoldására a 2. ábrán vázolt, számos közelítésen és egyszerűsítésen alapuló determinisztikus, szimulációs modellt alkalmaztunk, melynek algoritmus a (8)—(12) egyenletrendszer. A szimuláció bemenő adatait (ter-



8. ábra. Kapcsolat a különböző eredmény-mutatók és az S hipotetikus tározótérfogat között



9. ábra. A rögzített $S = 100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ hipotetikus tározótérfogattal és 10 különböző generált X_{ij} adatsorral végzett szimulációs vizsgálatok eredménymutatóinak Gauss-típusú simuló eloszlásfüggvényei

mészertes vízkészletváltóság, a Balaton párolgása, a Balaton vízgyűjtőjére hulló csapadék, a jövőben várható vízigények) a VITUKI (1977) tanulmányából vettük.

A szimulációs vizsgálatot az eredő tározó különböző felvett térfogataira végeztük el ($S = 0,50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $80 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), természetes víztáplálásként először az $\{X_{ij}\}$ észlelt természetes vízkészletváltóság-adatsort vettük figyelembe.

A vizsgálatokat megismételtük $S = 100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es tározótérfogat és mesterségesen előállított $\{X_{ij}\}_k$ vízkészletváltóási idősorok alapulvételével is.

A szimuláció-sorozat fő eredményei a 8. ábra $R(S)$ és $\vartheta(S)$ görbéi, amelyekről leolvasható, hogy pl. $S = 100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es tározótérfogathoz $R = 89\%$ vízigénykielégítési biztonság és a Balaton alsó szabályozási vízszintje megsértésének $\vartheta = 7\%$ -os relatív tartama tartozik.

A vizsgálat folytatásának fő célja: a vizsgált vízgazdálkodási rendszer — eddigiekben egy-egy eredő hatással helyettesített (2. ábra) — elemeinek területi szétszórtságából adódó hatások, illetve kapcsolatok figyelembevétele, valamint az időközben korszerűsített alapadatok felhasználása lesz.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány egyes részleteinek pontosítására, kiegészítésére vonatkozó értékes tanácsokért a szerzők köszönettel tartoznak a tanulmány lektorainak: CSERMÁK Bélának, a műszaki tudományok kandidátusának és SZESZTAY Károlynak, a műszaki tudományok doktorának, valamint BARANYI Sándornak, a VITUKI Vízzrajzi Intézete igazgatóhelyettesének.

IRODALOM

- BARANYI S.: Vízfelületek párolgásának számítása új szovjet módszerrel. *Vízügyi Közlemények*, 1970/1. sz.
- BARANYI S.: A Balaton-vízgyűjtő hasznosítható felszíni vízkészlete. *Vízügyi Közlemények*, 1978/4. sz.
- BME (Budapesti Műszaki Egyetem Vízgazdálkodási tanszéke): A Balaton. (Kutatási jelentés, kézirat.) Budapest 1970
- DYCK, S.—SCHRAMM, M.: Stochastische Methoden der Speicherwirtschaft. *Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft*, H. 28. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1968
- GILYÉNNÉ HOFER A.—DOMOKOS M.: A Balaton-vízgyűjtő távlati vízigényeinek kielégítése tározórendszerből. *Vízügyi Közlemények*, 1981/4. sz.
- KARDOS M.: Mesterséges vízhozamsorozatok előállítása. Monte-Carlo elven alapuló szimulációs eljárások. *Hidrologiai Közöny*, 1973/9—10. sz.
- OVH (Országos Vízügyi Hivatal): Balatoni Vízgazdálkodási Fejlesztési Program (Elfogadva 1961/79. Mt. sz. határozattal). Budapest 1979
- SZESZTAY K.: A Balaton vízháztartása. VITUKI Tanulmányok és kutatási eredmények sorozat, 91. sz. Budapest 1962
- SZESZTAY K.: A tavak vízszintszabályozásának hidrologiai alapjai. *Vízügyi Közlemények*, 1962/2 sz.
- VÁTI (Városépítési Tudományos és Tervező Intézet, Plósz S. és tsai): A Balaton eutrofizálódás elleni védelme. Tájérendezési tanulmányterv. Törzsszám: 2281/78. Budapest 1978
- VGI (Vízgazdálkodási Intézet, CSUKA J.): A Balaton és vízgyűjtőjének hasznosítható vízkészlete és jelenlegi kihasználtsága. (Jelentés, kézirat.) Munkaszám: 464/1981
- VITUKI (Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet): Vízrajzi Atlasz sorozat. Balaton. I. Hidrográfia, geomorfológia. Budapest 1976

- VITUKI (Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóközpont, BARANYI S.):* A Balaton hasznosítható felszíni vízkészletének meghatározása. (Kutatási jelentés, kézirat.) Törzsszám: 3084. Budapest 1977
- VITUKI (Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóközpont, szerk. BARANYI S.):* A Balaton kutatása és szabályozása. *VITUKI Közlemények*, (1980) 28. sz. Budapest, 1980
- VÍZITERV (HAMPEL K.):* A Balaton vízszintemelési lehetőségének műszaki vizsgálata (Kézirat). Tervszám: 18.323. Budapest 1973
- V. NAGY I.: Hidrológia III. Budapesti Műszaki Egyetem jegyzete, 19-723. sz. Tankönyvkiadó, Budapest 1974
- WMO (Meteorológiai Világszervezet):* Hidrológiai eljárások útmutatója. (Magyar nyelvű változat.) Nemzetközi Vízgazdálkodási Sorozat, 2. sz. OVH, Budapest 1976

Investigation on a Hypothetical Storage Reservoir System in the Watershed of Lake Balaton. — The solving of problems arising in the region of Lake Balaton is of high importance for the Hungarian national economy. One of them is the satisfaction of increased water demands expectable within the next about 15 years. — Aiming to determine the total volumen of the storage reservoir system needed therefore, a deterministic simulation model has been developed. The simulation was carried out by taking into account various capacities of the resulting hypothetical reservoir. As natural water supply to the lake, first the 50 years long observed series of natural resource changes, then a generated 1000 years long series was adopted. The generation of the latter was made by adopting the Hungarian version of SVANIDZE's fragment method. — The main results of the investigation are represented by curves of relationships between utilizable capacity of the hypothetical reservoir and various indices of water supply security.

Untersuchung eines hypothetischen Speichersystems im Balaton-Einzugsgebiet. — Die Lösung der im Raum des Balaton (des Plattensees) anstehenden Probleme ist von hoher Bedeutung für die ungarische Volkswirtschaft. Eines davon bildet die Befriedigung des innerhalb der folgenden rd. 15 Jahre zu erwartenden Wasserbedarf-Zuwachses. Zur Ermittlung des Gesamtvolumens des dazu benötigten. — Speichersystems wurde ein deterministisches Simulationsmodell entwickelt. Die Simulation wurde mit verschiedenen angenommenen Kapazitäten des resultierenden hypothetischen Speichers durchgeführt. Als natürliche Speisung des Sees wurde vorerst die 50jährige beobachtete Reihe der natürlichen Vorratsänderung, dann aber eine 1000jährige künstliche Serie verwendet. Die Herstellung der künstlichen Reihe erfolgte unter Anwendung der in Ungarn modifizierten Variante der Fragment-Methode von SVANIDZE. — Hauptergebnisse der Untersuchung sind Kurven, die Beziehungen zwischen Nutzinhalt des hypothetischen Speichers und den verschiedenen Indizes der Versorgungssicherheit darstellen.