

**NJSZT**

MŰSZAKI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI EGYESÜLETEK SZÖVETSÉGE

**NEUMANN JÁNOS SZÁMÍTÓGÉPTUDOMÁNYI TÁRSASÁG**

RENDSZERELMÉLET  
KONFERENCIA '79

A RENDSZERELMÉLET ALKALMAZÁSAI

KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI RENDSZEREK

SOPRON, 1979. szeptember 2-5.



ITA/302

TARTALOMJEGYZÉK

MORVAY KÁLMÁN

A Stanford lefolyásmodell hazai alkalmazásának tapasztalatai . . . . . 3

NAGY DÉNES

Néhány vízkészletgazdálkodási rendszermodell alkalmazhatóságának vizsgálata . . . . . 21

PINTÉR ÁGNES

Vízkészletgazdálkodási rendszerek üzemeltetési feladatainak irányítástechnikai elemzése . . . . . 33

SALAMIN ANDRÁS

Rendszerelmélet alkalmazása vízrendszer automatikus lefolyásszabályozására . . . . . 46

SZIDAROVSKY FERENC, BOGÁRDI ISTVÁN, SCHMIEDER ANTAL

Játékelméleti modell a regionális bányászati fejlesztés, vízgazdálkodás és környezetvédelem együttes figyelembevételére . . . . . 65

BOGÁRDI ISTVÁN, DÁVID LÁSZLÓ, LUCIEN DUCKSTEIN

Több céltényezőes rendszermodell alkalmazása a Balaton eutrofizálódásának csökkentéséhez . . . . . 80

CSÁKI PÉTER, HERODEK SÁNDOR, HOFFMANN GYÖRGY, KUTAS TIBOR, WITTMANN IMRE

A Balaton nyílt vizének és üledékének ökológiai rendszerelemzése . . . . . 97

DÁVID LÁSZLÓ, TELEGDI LÁSZLÓ, BOLLA MARIANNA

A Balaton-vízgyűjtő hierarchikus rendszermodellezése . . . . . 114

GÉCZY LÁSZLÓ, TÓTH JÁNOS, BODNÁR JÓZSEF,  
IZSÓ LAJOS, VERES SÁNDOR

Szennyvíz-csatorna hálózat szennyezettségének  
ellenőrzése . . . . . 129

KOCSONDI CSABA, PALLÓS GÁBOR, REMETÉY F. GÁBOR

Vizellátás tervezéstechnológiai folyamatának  
rendszer szemléletű vizsgálata . . . . . 133

A STANFORD LEFOLYÁSMODELL  
HAZAI ALKALMAZÁSÁNAK TAPASZTALATAI

Irta:

Morvay Kálmán<sup>x</sup>

BEVEZETÉS

A földi hidrológiai ciklus a víz teljes körforgásában igen széleskörű és fontos folyamatokat ölel fel. Ezen belül a felmerülő problémák zömét a csapadék-lefolyás kapcsolatok jelentik. A hidrológia mérnöki gyakorlatában a csapadékból származó lefolyás számítására főleg az empirikus módszerek terjedtek el.

Közben a hidrológiai ciklus egy-egy részfolyamatát tudományos igényvel, teljes részletességgel feltárták, de ezek egy rendszerben való összefoglalására - a nagy mennyiségű számítási igény kézi végrehajtása miatt - nem volt lehetőség.

A számítógépek alkalmazásának lehetősége először az észlelt hidrológiai elemek statisztikai feldolgozását segítette elő és ebből sikerült bizonyos információkat nyerni, majd megindult a teljes folyamat rendszervizsgálati módszerekkel történő kutatása. A hidrológiai ciklus felszíni folyamatainak leírásához Lawler és Druml alkalmazott először számítógépet 1958-ban. Ezután a hidrológiai folyamatok modellezése soha nem remélt fejlődésnek indult, elsősorban a számítástechnikai kultúrában élen járó angol-szász területeken. A későbbiek során ez a helyzet már a bőség zavarához vezetett és hazánkban még ma is sokan nehezen igazodnak el a különféle modellek alkalmazását illetően.

Ezen dolgozatom célja, hogy - főleg a determinisztikus lefolyásmodellek - hazai alkalmazása során szerzett tapaszt-

---

<sup>x</sup>Vizgazdálkodási Intézet, Budapest

talatainkat közreadjam és így némileg elősegítem a rendszermodelllezés elterjesztését a szélesebb gyakorlatban.

### 1. A hidrológiai modellek csoportosítása

A kifejlesztett modellek rendszerbe foglalásával már többen próbálkoztak, ehhez egy új rendszerezést hozzátenni nincs szándékomban, ezért az IBBIT által javasolt osztályozást tekintem elfogadhatónak az ismertetendő modelleket is ebbe a rendszerbe kívánom beilleszteni.

A csapadék-lefolyás modellek egyértelműen az absztrakt, vagy matematikai modellek csoportjába sorolhatók, ahol két fő alcsoport különböztethető meg: /1/ a sztochasztikus és /2/ a determinisztikus modellek csoportja.

#### 1.1 A sztochasztikus hidrológiai modellek

A hidrológiai elemek észlelési adatsorai alapján számított valószínűségi jellemzők felhasználásával az ilyen típusú modellek eredményssorozatokot hoznak létre. Amennyiben megfelelő hosszúságú észlelési adat áll rendelkezésre, a sztochasztikus modellek jó eredményt szolgáltatnak. Algoritmusaik viszonylag egyszerűen és könnyen felírhatók, számítástechnikai kezelésük jól kidolgozott, ma már rutinszerűen alkalmazhatók.

Hátrányként említhető, hogy csak azokon a területeken alkalmazhatók, ahol megfelelő hosszúságú adatsor áll rendelkezésre. Az adathiányos vagy rövid adatsorral rendelkező vizgyűjtőkön a sztochasztikus modellek kevésbé, vagy egyáltalán nem használhatók. Ennek ellenére - a modellek könnyű kezelhetősége miatt - széles körben alkalmazzák ezeket a módszereket sajnos ott is, ahol az alkalmazás feltételei hiányoznak.

Egyéni véleményem ezen kívül, hogy a sztochasztikus modellek csak a viszonylag nagy /5-10 000 km<sup>2</sup>-nél nagyobb/ vízgyűjtőkön adnak jó eredményeket, itt az emberi beavatkozások hatásai már jól kiegyenlítődnek és azok egyéges trendjei világosan észlelhetők. Ezzel szemben a fentieknél kisebb vízgyűjtőkön az emberi beavatkozások hatásai azonnal és élesen jelentkeznek az eredményekben és így a sztochasztikus modell által kapott információk sok esetben nem a tényleges állapotot tükrözik. Példaként említhető, hogy ha egy viszonylag hosszú észlelési adatsorral rendelkező kisvízgyűjtőn /10-50 km<sup>2</sup>/ valamilyen okból /erdőtűz, mezőgazdasági művelés változás, vízrendezési beavatkozás, stb./, a lefolyásviszonyok hirtelen megváltoznak és a már meglévő adatsorból kívánnunk vízhozam adatokat előrejelezni, akkor a kapott értékek a fizikai valóságtól lényegesen el fognak térni, mivel az előrejelzés abból az adatbázisból történt, ami a vízgyűjtő korábbi jellegzetességeinek információit tartalmazta.

A sztochasztikus modellek tehát elsősorban azokban az országokban fejlődtek ki, ahol a nagykiterjedésű vízgyűjtőkön hosszú észlelési adatsorok találhatók. Példaként említhető a szovjet hidrológiát jellemző iskola, ahol a nagy folyók hosszuidőű adatsorainak elemzésére nagy-számú jól használható sztochasztikus modell került kidolgozásra. Hasonló a helyzet az amerikai nagy folyamok hidrológiáján kialakult sztochasztikus iskolánál is. Ezzel szemben a determinisztikus modellek elsősorban az erősen tagolt, igen változatos morfológiájú, sűrűn lakott és az emberi beavatkozásokkal erősen terhelt vízgyűjtőű országokban fejlődtek ki és terjedtek el /Anglia, Írország, USA hasonló vidékei /Kalifornia/.

A sztochasztikus modelleket szokás még tovább csoportosítani: analitikus és szintetikus modellekre. Az előbbieket a hidrológiában nem használatosak, az utóbbiak pl. az eloszlás és zaj modellek. Ezek további csoportosítása /Clarke szerint /1//:

/1/ SC modellek /Stochastic-conceptual/:

- a Dawdy-O'Donnell modell,
- a Nash-Sutcliffe rétegmodell,
- a Rockwood által kidolgozott modell,
- a Murray által használt modell, stb.

/2/ SE modellek /Stochastic-empirical/:

- a regressziós modellek /pl. a Zsuffa által kidolgozott előrejelzési modell a Dunára/,

- a Thomas-Fiering modellek,
- a Thomas-Fiering modell, Bernier által történt többváltozós modellre való továbbfejlesztése,
- az ARIMA modellek /Box-Jankins, O'Connell, Carlson, McCormick és Watts, Matalas stb./
- pillanatnyi egységnyi árhullám elemzés, ahol az ordinátákat a legkisebb négyzetek módszerével becsülik /pl. O'Donnell, Jenkins és Watts, stb./

A fentiekén kívül még sok modellről tudunk, de céлом itt az volt, hogy képet adjak a modellek általánosan elfogadott csoportosításáról.

## 1.2 A determinisztikus hidrológiai modellek

Az ide sorolható modellek bemenet-kimenet kapcsolata egyértelműen meghatározható és ha a rendszer működését megfelelő input-output elemzésből határozzuk meg, akkor a modellt az analitikus eljárások közé soroljuk. Ha a modell szerkesztés folyamán a csapadék-lefolyás rendszerben lejátszódó fizikai folyamatokat matematikailag leírjuk, akkor modellünk a szintetikus modellek családjába sorolható. Ezen belül a folyamatok természetéből adódóan a modell lehet lineáris és nem-lineáris. Általában a vízgyűjtők jellegzetességeinek teljeskörű vizsgálatánál a nem-lineáris modelleket alkalmazzák, ahol a paraméterek becslésétől függően az összevont vagy koncentrált, és a valószínűségi eloszlást követő paraméterekkel működő modellek különböztethetők meg.

A determinisztikus modellek feloszthatók még /Clarke szerint/:

### /1/ DC modellek /deterministic-conceptual/

- a Freeze modell, az anizotropikus inhomogén közegben való háromfázisú áramlásra,
- a hidraulikai modellek /pl. Wooding és Kozák modelljei/



- a Laplace egyenlet alkalmazása, a nyitott viztartó közegben való nem permanens vízmozgás esetében /pl. Eagleson modellje/.

/2/ DE modellek /determinisztikus-empirikus/

- a pillanatnyi egységnyi árhullámkép harmonikus sorozatokkal való becslésének esete /pl. O'Donnell/
- az előző eset Laguerre függvények alkalmazásával /pl. Dooge/
- függvényt sorozat modellek /Acmorrocho és Orlob/.

A szakirodalom olvasói gyakran felteszik a kérdést: miért van szükség ilyen sok modellre és egyáltalán a csoportosítás miért nem segít eligazodni közöttük? A válasz az, hogy azért van sok modell, mert a hidrológusok problémáinak megoldása egy bizonyos szempontból különleges és ezekre az esetekre külön feltételek érvényesek. A csoportosítás és a rendező elvek alapján igen széles a variációs lehetőség.

2. A hazánkban adaptált és kifejlesztett nem-lineáris lefolyás modellek

A csapadék-lefolyás rendszermodellek nagyszámu fizikai jelenséget ölelnek fel, így a probléma megfogalmazása egy vagy két célfüggvénnyel nem lehetséges. A modellek kifejlesztése team-munkát és nagy szellemi kapacitások lekötését igényli. A hidrológuson kívül matematikust, programozót, agrárszakembert, meteorológust, talajtanost stb. kell esetenként a munkába bevonni és ez általában rendkívüli nehézségekkel jár, sőt sok esetben ez teljesen lehetetlen. Hazánkban ezért csak egy nagy modell került kifejlesztésre /EXPRE-DRAINAGE/.

A külföldi modellek hazai adaptálása több szempontból is problematikus:

- /1/ A külföldi szerzők általában nem publikálják a modell teljes számítógépi programját, vagy ha igen, ezek nem a legjobb változatot reprezentálják.

- /2/ A hazai viszonyoktól eltérő környezetben és céllal kifejlesztett modelleket csak átdolgozás után lehet alkalmazni.
- /3/ A hazai számítógépi konfigurációk sokszor nem teszik lehetővé az eredeti programokban megadott - a felhasználót tehermentesítő - eljárások alkalmazását, pl. a csapadékiró szalagjainak optikai leolvasása; vagy az eredmények rajzi megjelenítése aritmetikai vagy logaritmikusság léptékben, stb./
- /4/ Kevés az olyan szakember, aki a hidrológiai, matematikai és programozási feladatokat együttesen átfogja és így az adaptációt eredményesen végrehajtja.

## 2.1 Sikvidéki lefolyásmodellek

Sikvidéki területekre tudásunk szerint kevés modell áll rendelkezésre. A szakirodalomból ezek rövid leírása ismert /5/ hazánkban azonban csak egy modell került alkalmazásra a Kienitz Gábor által a VITUKI-ban kifejlesztett EXPRE-DRAINAGE / 3/, /4/.

- Ez tulajdonképpen két önálló modell, ahol
- az EXPRE a csapadékból származó belviz tömegét számító modell,
  - míg a DRAINAGE az adott vízgyűjtőn keletkezett belvizeknek a csatornahálózaton történő levonulását szimulálja. Így az EXPRE modell outputja a DRAINAGE modell inputja. A modellek tervezési, üzemellenőrzési-üzemirányítási és korlátozott mértékben előrejelzési feladatok megoldására alkalmasak. A modellt a VITUKI Mirhó-Gyolcsi kísérleti belvizöblözetén és utána számos VIZIG belvizi vízgyűjtőterületen is kipróbálták.

A szerzett tapasztalatok közül elsősorban az üzemellenőrzési információk voltak kedvezőek, mivel a modell egyértelműen kimutatta a belvizlevonulást akadályozó elégtelen kapacitású műtárgyak és csatornaszakaszok helyét. A modell továbbfejlesztése folyamatban van.

## 2.2 Hegy- és dombvidéki lefolyásmodellek

Az irodalomban igen nagyszámu modell található ebből a modell-családból. A modellek a szabadösszegyülekezési, természetes vizgyűjtők adott szelvényben lefolyó vízmennyiségeinek számítására alkalmasak. Ebből a körből hazánkban a következők kerültek adaptálásra:

### /1/ Boughton-modell

A modell a Stanford modell egyszerűsített és továbbfejlesztett változata, amely napi átlagos vízhozam-idősort és talajvíz értékeket számít viszonylag egyszerű és kis számú input adatból.

A EME Vizgazdálkodási Tanszékén adaptálták R-32-es számítógépre. Gyakorlati alkalmazására még nem került sor. Jelenleg összehasonlító vizsgálatokban szerepel más lefolyás modellekkel közösen. A vizsgálat folyik, végleges eredmények még nincsenek.

### /2/ Haan modell

A EME Bajai Főiskolai Karán adaptálták. További felhasználásáról nincs információnk.

### /3/ Sacramento modell

Kaliforniában fejlesztették ki. Viszonylag egyszerű modell. Napi vízhozam adatokat számít. A számítógépi program szubrutinokra osztott, így kis tárkapacitású gépeken is futtatható. A forrásnyelvi programot IBM-1130-as gépre írták. Adaptációja a Vizgazdálkodási Intézetben jelenleg folyamatban van.

## 2.3 Városi lefolyás modellek

A nagyvárosok csapadékvíz elvezetésének hidrológiai számításaira kidolgozott eljárások az irodalomban szép számmal találhatók. Kísérleti jellegű hazai alkalmazásukról tudomásunk van.

## 2.4 Több területen alkalmazható modellek

A modellalkotás folyamatában a hidrológia területén is jelentkezett olyan igény, hogy a felmerülő problémákat egy általános modellel kellene megoldani. Az első próbálkozások nem vezettek sikerre, mert az eltérő szerkezetű vizgyűjtők-re alkalmazott - speciális körülmények között kidolgozott - modellek nem adhattak elfogadható eredményt. A későbbiek folyamán a speciális modellek előnyeit egyesítve megalkották a több területen alkalmazható lefolyás modelleket.

Az ide sorolható modellekből kerültek ki a hazánkban leginkább használt modellek.

### /1/ USDAHL-74

Az USA Mezőgazdasági Minisztériumának Hidrológiai Laboratóriumában H.N. Holtan vezetésével fejlesztették ki. Hazai adaptációja a VITUKI-ban történt IBM 360/40-es számítógépen. Több magyar vizgyűjtőre /Fehértó-Majsai belvizöblözet, Köröshegyi-Séd vizgyűjtőre, stb./ végeztek számításokat. A futtatások során a következő tapasztalatokat szerezték:

- nagy a modell input adat igénye /46 db paraméter/;
- tenyészidőszakonként meg kell adni nemcsak a fő talajfedettségi jellemzőket, hanem a szántóföldi növények %-os megoszlását is;
- a futtatás tetemes gépidőt igényel;

A modell értékelése:

A nehéz kezelhetőség és a magas fajlagos gépidő miatt csak kutatási jelleggel, vizgyűjtő feltárássra és elemzésre alkalmazható, elsősorban lefolyási és talajvizháztartási, valamint vizgyűjtő fedettségi összefüggések tanulmányozásánál.

### /2/ Tank modell

A modellt Japánban Sugawara dolgozta ki. Szerkezetére nézve nem-lineáris kaszkád modell, nem túl nagy számítógépi igényvel. A hazai gyakorlatban még nem alkalmazták. Jelenleg a BME R-32-es gépén összehasonlító vizsgálat alatt áll.

### /3/ Stanford lefolyás modell

A világon leginkább ismert és elterjedt modellt a kaliforniai Stanford Egyetemen Linsley és Crawford dolgozták ki. A szerzők által továbbfejlesztett változatot, a HSP-t /Hydrocomp-Simulation-Program/ a Hydrocomp International révén üzletszerűen alkalmazzák.

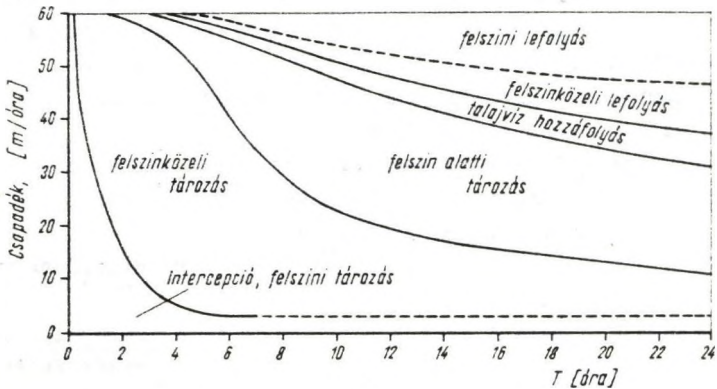
Hazánkban az OHIO-i Egyetemen kifejlesztett változatot adaptálták 1973-ban, ami egy rövidített /1900 utasításból álló/ változata volt, IBM 360/40-es gépre.

A modell a hidrológiai körfolyamat földi alrendszerének matematikai megfogalmazása.

A legfontosabb bemenő adatok a csapadék és a kádpárolgásból számított potenciális evapotranspiráció. A számítás feltételezett vagy mért talajnedvesség-állapot alapján indul meg és addig folytatódik, míg a bevételezett csapadékkal a modell el nem számol. A számításokhoz viszonylag sok /34/ paramétert kell meghatározni, de ezek többsége /30/ fizikailag determinált /pl. a vizgyűjtő területe, átlagos esése, fedettsége stb./. A csapadék a felszínen hó és felszíni tározás alakjában, a felszín alatt pedig átmenetileg három tározótérben tartózkodhat. A felszinközeli, a felszínalatti és a mélyebben fekvő talajviztározás kombinációi eredményezik az időben folyamatosan változó talajnedvesség és talajviz viszonyokat. A talajnedvesség szabályozza tulajdonképpen a felszíni lefolyás, a beszivárgás, a felszinközeli lefolyás és a talajvizhez történő hozzáfolyás mértékét.

A felsorolt tározóterek mindegyikében az evapotranspiráció és az evaporáció csökkenti a tározott vízmennyiséget.

A mederben történő összegyülekezés a felszíni hozzáfolyás és az alapvizhozam egymásrahalmazódásával indul meg, majd árhullám áthelyezéssel folytatódik és a torkolati szelvényben a szintetizált vízhozamidősorok előállításával zárul le.



A csapadék és a különböző zónák közti kapcsolat egy feltételezett zápor alatt /Linsley és Crawford után /2/ /.

### 3. A Stanford modell hazai alkalmazása

A vízügyi ágazat önálló számítástechnikai bázisának kiépítése az 1970-es évek elején lehetővé tette a nagyobb hidrológiai rendszermodellek hazai alkalmazásának bevezetését. Ezt nemcsak új modellek kifejlesztésével, hanem a külföldön jól bevált eljárások hazai viszonyokra történő adaptálásával kívánták elérni. Ennek érdekében a VITUKI-ban Rendszerhidrológiai Osztályt szerveztek, amelynek feladata a hidrológiai rendszermodellek hazai bevezetése és terjesztése volt. Az Osztályt - kezdeti sikerei ellenére - rövid idő után megszüntették. A viszonylag rövid tevékenység során számos modellt sikerült beszerezni és egy részüket hazai környezetben kipróbálni /USDAHL-74, Stanford stb./.

### 3.1 A modell adaptálása

A modellt 1973-ban a VITUKI-ban adaptálták a STANFORD IV. Modell Ohio-i változatából. A cél az volt, hogy a meglévő Vizügyi Számító Központ révén a hidrológusok rendelkezésére bocsássonak egy olyan számítógépi eljárást, mellyel a hidrometeorológiai és vízgyűjtő adatokból vízhozam sorozatok állíthatók elő. A modellt aktivizálás és kisebb - a hazai viszonyokhoz igazodó - átalakítások /az angol mértékegységek metrikussá való transzformálása, a hazai számítógépi konfigurációhoz való alkalmazkodás, stb./ után a /1/ Péli vízfolyás mintavízgyűjtőjén próbálták ki. A vízgyűjtő jól műszerezett és az 1967/68-as hidrológiai évre végzett szimuláció a mért vízhozamokkal jó egyezést mutatott /6/. Ezután megindult a modell Vizügyi Műszaki Segédletté való kidolgozása, aminek eredményeként a modell könyvtári program formájában a VSzSzi szentendrei számítógépi központjában a felhasználók rendelkezésére áll.

### 3.2 Az eddig végzett futtatások értékelése

1974-ben a Balaton déli vízgyűjtőjében lévő /2/ Keleti Bozót vízfolyáson építendő öntözővíz tározó hidrológiai méretezéséhez alkalmazták a modellt, 7 év átlagos napi vízhozamadatainak előállítására /7/.

A vizsgált szelvényhez tartozó vízgyűjtő 180 km<sup>2</sup> volt. Mért vízhozam adatokkal nem rendelkezett. Az alkalmazás során szerzett tapasztalatok a következőkben foglalhatók össze:

- a használatnak meg kellett tanulni a modell felépítését, szerkezetét, működését, a számítógépes program összeállítását és futtatását;
- fel kellett kutatni az alapadatok beszerzési helyeit és meg kellett szervezni azok összegyűjtését;
- meg kellett tanulni az adatok egységesítését és kódolását;

- mivel mért vízhozam adat nem állt rendelkezésre - csak az analóg vizgyűjtő lefolyás adatai - a modell kalibrálása sok időt /15-20 kísérlet/ vett igénybe;
- a több éves szimuláció során a modell viselkedése más volt, mint egy év során, így a Péli vízfolyáson szerzett adaptációs gyakorlattal szemben új és több kalibrációs futtatást kellett végezni;
- a nehézkes előkészítés után a modell alkalmazása 30 perc gépidő felhasználásával igen sok és értékes adatot és információt szolgáltatott a vizgyűjtőről, amit a tervezés során lehetett hasznosítani.

1975-ben a Pécsi Vízügyi Igazgatóság Mezőgazdasági Vízhasznosítási Osztálya a mohácsi terrazon építendő öntözőfűrt területére befutó vízfolyások közül a /3/ Lánycsók-Marázai és a /4/ Majsi-malomárok vízfolyások 4-4 éves hidrológiai vizsgálatát végezte el a modell segítségével.

A futtatások során a következő tapasztalatok voltak összegeezhetők:

- A gyakorlatból adódóan az alapadatok /csapadék, kádpárolgás, stb./ lényegesen könnyebben, gyorsabban voltak begyűjthetők és a területi átlagcsapadék meghatározása is könnyebb volt;
- a vizgyűjtő paraméterek meghatározása a rendelkezésre álló vizgyűjtő jellemzőkből sikeresebb volt mint korábban, ami a modell kalibrálását megrövidítette /4-6 próba futtatás/;
- felismerték, hogy a kádpárolgás igen érzékeny bemenő adat, ezért a fellelhető mért párolgási adatoknak a kérdéses vizgyűjtőre való áthelyezése gondos munkát igényel /pl. a párolgásmérő kád és a vizgyűjtő közti tengerszint feletti magasság különbség figyelembevétele/.

1975-ben kutatási jelleggel történt összehasonlító vizsgálat /5/ a Gaja patak bakonyánai szelvényéhez tartozó kísérleti vizgyűjtőjén mért és számított lefolyási adatok összevetésére.



Tapasztalatok: Az alapadat beszerzés és a modell paraméterezése egyszerűen és gyorsan elvégezhető volt. A szimulált és a mért vízhozamok egyezőségét viszont a kalibrálás során ésszerű határok között nem lehetett biztosítani a vízgyűjtő karsztos jellege miatt.

A két vízhozamot "össze lehetett ugyan hozni" oly módon, hogy az alapvízhozamot szabályzó paramétert a talajjellemzők ellenére magasabban állapítottuk meg. Ezt a megoldást csak kísérleti jelleggel alkalmaztuk.

A Bajai VIZIG megbizásából 1976-ban a Kiskunsági Nemzeti Park területén elhelyezkedő lefolyástalan /6/ Kolon-tavat tápláló vízfolyás 6 éves adatsorát állították elő a modell segítségével. A feladat az volt, hogy egy bizonyos határon belül meghatározható legyen a tó egyensúlyi felülete, ami a speciális ökológiai igényeket kielégíti. Ehhez ismerni kellett a tó vízgyűjtőjében havonta lefolyásra kerülő vízmennyiségeket, amihez csak rövid idejű észlelt adatsor állt rendelkezésre. Egy év /1970/71/ mért vízhozam adataival történt a modell kalibrálása és utána a visszamenő 6 év meteorológiai adatai alapján végeztük el a szimulációt.

A szerzett tapasztalatok:

- Bár a vízgyűjtőt tekintélyes számú /24 db/ egyidejű lefolyású részegységre bontottuk fel és az átlagos esésviszonyok minimálisak voltak, a futtatási idők kedvezően alakultak /30-35 perc/;

A Nemzetközi Hidrológiai Továbbképző Tanfolyam egyik külföldi hallgatója oktatási célból alkalmazta a modellt a /7/ Surján-patak vízgyűjtőjére. A vizsgált vízfolyás a Kapos jobboldali, déli vízgyűjtőjében található, szabad összegyűlekezési, több mint 50 %-ban erdő borította terület. A vízfolyás Szentbalázs-i szelvénye viszonylag hosszú idejű /1952-től/ vízhozamészlelési adatsorral rendelkezik. A területi átlagcsapadék a vízgyűjtőn lévő egy és a vízgyűjtőn kívüli két csapadékmérő adataiból, Thiessen-módszerrel lett meghatározva.

### Tapasztalatok:

A vízgyűjtő fedettségében nagy %-ot képviselő erdő hatása az alapvizhozamra igen tartósan jelentkezett, főleg a kisvízi időszakokban, míg az árhullámok kialakulása, levozulása nem volt hevesnek mondható. Ugyancsak az árhullámok csúcsai is mérsékeltek voltak a korábbi, főleg mezőgazdasági fedettségű vízgyűjtőkhöz viszonyítva.

1977-ben a BME Bajai Főiskolai Karának egyik végzős hallgatója diploma munkájában alkalmazta a modellt a /8/ Zagyva-Pásztó-i szelvényére. A futtatás a BME R-32-es gépen történt, eredményéről értékelhető információink nincsenek.

A Vizgazdálkodási Intézet az OVH megbízására végezte el a /9/ Bükkös, /10/ Dobroda és /11/ Lókos patakok hidrológiai vizsgálatát a modell segítségével, az 1977-78. években.

A futtatások során szerzett tapasztalatok a következők voltak

- A területi átlagcsapadék számításának jelenleg alkalmazott módszere /Thiessen-poligon/ nem elég megbízható. Az egyes csapadékmérők között a zivatarfrontok "átcsuszhatnak", így azok nem észlelhetők, hatásuk viszont a lefolyásban jelentkezik.
- A modell segítségével számos vízhozam észlelési rendelkezés kimutatható volt. Pl. a Dobroda patakon két esetben is olyan észlelt vízhozamok voltak, mikor a vízgyűjtőn számottevő csapadék nem volt. Kimutatható volt, hogy ebben az időben a mérőszelvény alatt 500 m-re lévő Ipoly folyón árhullám vonult le, ami a vizsgált szelvényinkre visszaduzzasztott és ezt a megemelkedett vízállást mint vízhozamot regisztráltak.
- Egy szubrutin került kidolgozásra, amely a mért napi csapadékok óránkénti szétosztását a legközelebbi csapadékiro adatai alapján automatikusan elvégezte.

A BME Vizgazdálkodási Intézeténél a Boughton, a Stanford és a Tank modellek összehasonlító elemzése folyik a Bükkös patak vízgyűjtő adatainak felhasználásával. Jelenleg értékelhető információk a vizsgálat eredményeiről még nem állnak rendelkezésünkre.

#### 4. Következtetések, ajánlások

A csapadék-lefolyás modellek, különösen a Stanford modell hazai alkalmazásának tapasztalatai az alábbiakban összegezhetők:

1. A Stanford modell hazai alkalmazása kedvező tapasztalatokat mutat. Különösen jó eredménnyel volt alkalmazható
  - hiányzó vízhozam adatok pótlására és adatsorok meghosszabbítására /az "adatgyűjtés" egyik legolcsóbb módja!;/
  - a vízgyűjtők lefolyás viszonyainak tanulmányozására;
  - az emberi beavatkozások előtti, nem regisztrált természetes vízkészletek meghatározására;
  - a hidrológiai rendszerszemlélet oktató jellegű bemutatására.
  
2. Az eddig bevezetett és alkalmazott modellek propagálása nem kielégítő. A gyakorlati szakemberek nem ismerik a modellek használatának feltételeit. Kevés azok száma /kb. 5-8 fő/, akik a modelleket a gyakorlatban is alkalmazzák. A számítógép használata erősen "misztifikált" és igen sokan idegenkednek tőle. Ez mindenképpen elgondolkoztató!
 

A modellek használata nem csökkenti a hidrológus munkáját, sőt növeli azt, de ezáltal a vizsgált vízgyűjtőről megszokszorozott információkat kapunk.

Ezekre a tényekre is fel kell hívni a figyelmet és fokozni kell a modelleket propagáló mindenfajta tevékenységet, ami a szélesebb körű elterjedést elősegítheti.
  
3. A külföldi modellek hazai adaptációjának nincs szervezett formája. A korábban létrehozott és rendszerhidrológiával foglalkozó szervezeti egység megszűnt, az ott koncentrált szellemi kapacitás szétforgácsolódott. Jelenleg a hidrológiai rendszermodellek hazai bevezetése és alkalmazása egyéni kezdeményezésekre van utalva. Célszerű lenne az egységes alkalmazás feltételeinek megteremtése.

4. Megítélésünk szerint jelenleg az országban aktivált és futtatható modellek választéka és mennyisége megfelelő. Ugyanakkor megfontolandó - a jelenleg jelentkező igényt /vizhozam sorozatok előállítására/ kielégítő - egy egyszerű, olcsó és könnyen kezelhető modell kifejlesztése vagy adaptálása.

x x x

## I r o d a l o m

1. Clarke, R.T.: Mathematical Models in Hydrology  
Irrigation and Drainage Paper, No. 19.  
FAO. Rome/1973.
2. Crawford, N.H.+Linsley, R.K.: Digital simulation in hydro-  
logy Stanford watershed model IV.  
Technical Report No.39. STANFORD UNIVERSITY,  
Stanford, California. 1966.
3. Kienitz, G.: Vizgyűjtők rendszervizsgálata  
Bp. Vizügyi Közlemények. 1968/2.
4. Kienitz, G.: System hydrology  
Lecture note. International Post. graduate  
Course in Hydrological Methods for Develo-  
ping Water Resources Management  
VITUKI-UNESCO. Bp. 1972.
5. Kiss Guba, F.: Hidrológiai rendszermodellek  
Diplomaterv. Bp. 1978.
6. Magyar, P. : A Stanford lefolyásmodell hazai alkalmazása  
VITUKI Beszámoló. 1974. Budapest.
7. Morvay, K. : Application of the Stanford Model to Hydrolo-  
gical Computation of Water Supply of an Irri-  
gation Plant in Hungary. Final report  
UNESCO-VITUKI. Bp. 1974.
8. Ricca, V.T. : The Ohio State University version of the  
Stanford streamflow Simulation model.  
Part.I.-II.-III.  
Project report. Ohio State University,  
Columbus, 1972.
9. Szalay, M. : A Stanford modell gyakorlati alkalmazása  
VGI. témajelentés  
MSz.: 090. Budapest. 1978.

10. Szöllősi Nagy, A.,-Csuka, J.: A HYDROCOMP szimulációs modellel és program beszámoló. Kézirat Tanulmányuti beszámoló. Bp. 1973.
11. Warns, J.C.: User's manual for the Ohio State University version of the Stanford streamflow simulation model IV. M.S. Thesis, Ohio State University, Columbus. 1971.
12. Yevjevich, V.: Probability and Statistics in Hydrology UNIVERSITY PUBLICATIONS, Colorado State University Fort Collins. 1972.

NÉHÁNY VIZKÉSZLETGAZDÁLKODÁSI RENDSZERMODELL  
ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Nagy Dénes\*

A közelmúltban szinte áttekinthetetlen mennyiségű vizgazdálkodási rendszermodellt dolgoztak ki. Hazánkban is számos ilyen modell született ill. felmerült több külföldi modellnek az alkalmazhatósága. Ez indokolja, hogy időszakonként hasznos lehet az ismert modellek rendszerezése és egységes szempontok szerinti vizsgálata. Ebben az összeállításban a 60-as évek vége, 70-es évek eleje néhány olyan vízkészletgazdálkodási modelljét tekintjük át, amelyekkel hazánkban súlyponti vízkészletgazdálkodási feladatokat lehet megoldani, ugyanakkor a további vizsgálatuk vagy ismertetésük indokolt. Célunk a jelentős hazai elméleti tevékenység és a jövőbeli alkalmazások között bizonyos kapcsolatot teremteni, az alkalmazókat érdeklő szempontokat az előtérbe állítani. A dolgozat alapja a Vizgazdálkodási Intézet egy 1977-ben zárult témája /Nagy 1977, 1978/.

#### 1. A modellek kiválasztásának szempontjai

A modellek 1976-ban történt kiválasztásánál alapvető szempont volt a hazai igények ill. elméleti előzmények figyelembe vétele /inkább az aránylag ismertebb modelleket akartuk áttekinteni, mint újakat felfedezni/. Néhány további körülmény is szerepet játszott, amelyek a vizsgálandó modellosztályt részben kiszélesítették ill. szűkítették.

\* Vizgazdálkodási Intézet, Budapest

Mivel a vízkészletgazdálkodás nyílt alrendszere a vízgazdálkodásnak, célszerű volt vizsgálatainkat nemcsak a szigorubb értelemben vett vízkészletgazdálkodási modellekre korlátozni, hanem kiszélesíteni a komplex vízgazdálkodási rendszermodellek nagyobb családjára, amelyek 1. készlet-igény egyensulllyal foglalkoznak, 2. többcélu jelenséget vizsgálnak, 3. természeti és mesterséges környezetek kapcsolódását ill. természeti és társadalmi erőforrások hatását egyaránt értékelik.

A komplex vízgazdálkodási modellek az alkalmazás területe szerint a következők szerint csoportosíthatók:

- vízmérleg modellek,
- lefolyásszabályozási modellek,
- vízgyűjtő-fejlesztési modellek.

A vízmérleg modellek kizárólag a vízkészletek és a társadalom vizigényeinek számbavételét és vízgazdálkodási mérlegben történő összemérését végzik, alternatívák összehasonlítására nem használhatók. Itt ezekkel nem foglalkozunk, mert a gyakorlatban történő rutinszerű alkalmazásuk már megkezdődött és egységes továbbfejlesztésük és kötelező jelleggel történő felhasználásuk kimunkálása más téma feladata. A lefolyásszabályozási és a vízgyűjtő-fejlesztési modellek területén azonban szükségesnek mutatkozott a jelen összeállítás kidolgozása, mert alkalmazásuk eldöntése a továbbiakban is a felhasználó diszkrecionális joga lesz.

A részletesebben vizsgált modellek közé a kifejezetten egyedi jellegűek nem kerültek be, hiszen ezek széleskörű alkalmazása nem javasolható. Ugyanakkor a rutinszerűen alkalmazható ill. néhány magas színvonalon kidolgozott modell szintén hiányzik, mert ezek ilyen szintű vizsgálatát feleslegesnek tartottuk.

Az összeállítás mai szemmel ezen túlmenően sem tekinthető teljesnek /pl. az 1975-1978-as időszak hazai eredményei



sem tükrözi megfelelően/. Felmerült az anyag folyamatos kibővítése az újabb modellek adataival, de e helyett inkább egy hasonló jellegű nagyobb összeállítás látszik célszerűnek a közeljövőben.

## 2. A modellek vizsgálata

A korábbi témabeszámoló /Nagy 1977/ szerkezete a következő: a témával kapcsolatos előzmények és alapfogalmak tárgyalása után /1. és 2. fejezet/, a kiválasztott lefolyás-szabályozási és vizgyűjtő-fejlesztési modelleket tárgyaljuk /3. és 4. fejezet/ egységes koncepciók szerint /a modell rendeltetése, adatigénye, részletes matematikai leírása, értékelése/. Az értékelés szintén egységesen 32 kérdésben történik, amelyek az alkalmazókban legtöbbször felmerülő problémákra válaszolnak. Ezeket az adatokat egy összefoglaló táblázatban rendszereztük, amelynek kissé módosított változata e dolgozat végén is szerepel.

A táblázat közzétételével azt akarjuk elősegíteni, hogy az alkalmazók gyors áttekintéshez juthassanak a szóbanforgó modellekről. Másrészt fel akarjuk hívni a figyelmet /lásd a táblázat 17. és 20. oszlopát/, hogy a szükséges kiinduló adatok egy része hiányzik, gyűjtésüknek nincs hagyománya. Ezek beszerzéséről minél előbb intézkedni kell. A modellek jó része azonban — mivel a hangsúly az alternatívák összehasonlításán van — az igényelt adatok egy részének hiányában is alkalmazhatók, ha ezeket józan becslésekkel pótoljuk /, ha minden alternatívát ezekkel vizsgálunk, úgy a becsléttől kissé eltérő tényleges érték még nem eredményez teljesen más sorrendiséget/.

Megjegyezzük, hogy az összefoglaló táblázat adatai nem mindig találhatóak meg a modelleket ismertető elméleti publikációkban. Jó lenne ezekre nagyobb gondot fordítani. Az alkalmazóktól pedig azt kérjük, hogy jelezzék

azokat a további kérdéseket, amelyeket hasznos lenne feltüntetni a táblázatban.

### 3. Jelmagyarázat az összefoglaló táblázathoz

A táblázat a modelleket a témabeszámoló tárgyalása szerinti sorrendben tartalmazza /ez logikai sorrendet is jelent/. A 4. oszlopban szereplő fejezetszámok szintén erre a beszámolóra utalnak. Az 5. oszlopban mindig a megfelelő modell első részletes leírására utalunk /, amely esetenként a modell névszerinti elnevezésének is az alapja, pl. ReVelle - Joeres - Kirby féle modell/. A "-" jelölés vagy azt jelenti, hogy a feltett kérdésnek az adott esetben nincs értelme, vagy azt, hogy információ hiján nem lehet válaszolni a kérdésre. További jelölések: a 7. oszlopban - szim. = szimulációs optimalizáció /heurisztikus optimalizáció/, mat. opt. = matematikai optimalizáció /matematikai programozás/; a 8. oszlopban - á = általános, e = egyedi.

Sorszám	Modelltípusok	Modellek	A modell fejlesztésének száma	A modell leírása
1	2	3	4	5
1	Lefolyásszabályozási modellek	Tározóméretezési modell I. (t ü)	3.1	ReVelle - Joeres - Kirby 1969
2		Tározóméretezési modell II. (t ü)	3.2	ADUVI216 1977 (Zuffa)
3		Modell a Felső-tiszavölgyi tározók hatásának vizsgálatára (t ü)	3.3	Magyar 1976
4		A Balaton vízszintszabályozási modellje (ü)	3.4	Meller - Duckstein - Bogárdi 1975
5		A Velencei-tó vízszintszabályozási modellje (ü)	3.5	Bogárdi - Káris - Nagy 1974
6		A Tisza - Korösvölgyi Együtműködő Vizgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR-I) (ü)	3.6	V61 1976 (Pintér)
7		Vízminőségi követelményeket érvényesítő vízkészletgazdálkodási modell (t)	3.7	Kolobajev 1969
8		Vízfolyások vízminőségét szabályzó beruházások optimális kiválasztása és utemézése (t ü)	3.8	Ijjas 1974, 1976
9		Lefolyásszabályozási tározórendszer méretezési és üzemelési modellje (t ü)	3.9	Filipkowski 1969 Csermák 1968
10	Vízgyűjtőfejlesztési modellek	Vízgyűjtőfejlesztési modell időbeli utemézéssel (t)	4.1	O'Laoghair - Himmelblau 1971
11		Vízgyűjtőfejlesztési alternatívák értékelése költség-teljesítmény-elemzéssel (t)	4.2	Dávid - Duckstein 1976
12		A vizgazdálkodás nagytávlatú fejlesztésének dinamikus modellje (t)	4.3	Dávid - Szidarovszky 1974



Sorszám							
14	15	16	17	18	19	20	21
Milyen kapacitású számítógép szükséges a futtatáshoz	A becsült gépidő	A becsült gépköltség	Hány fajta bemenő adat(sor) van szükség	A 17-ből márt adat	A 17-ből becsült adat	A 17-ből hányat gyűjtünk jelenleg.	A bemenő adatok intervalluma.
1 Min. 16 Kbyte	5 perc	400 Ft	2	2	0	2	havi
2 Min. 16 Kbyte	40 perc - 5 óra	1500 - 10000 Ft	2	2	0	1	napi
3 Min. 30 Kbyte	5perc./hó	300 Ft/hó	1	1	0	1	napi
4 Min. 80 Kbyte	77 perc	4000 Ft	4	3	1	1	—
4 Min. 24 Kbyte	15 óra	10 000 Ft	4	3	1	1	—
5 Min. 24 Kbyte	50 perc	6000 Ft	9	6	3	6	havi
5 Min. 24 Kbyte	25 perc	5000 Ft	9	6	3	6	havi
6 —	—	—	76	49	27	76	1-3 nap
7 Min. 16 Kbyte	—	—	16	0	16	0	havi
8 Min. 256 Kbyte	3 perc / 8 szekvenszív / 5 időlepcső	Feladat mértékével növelhető zetsésen rd	13	0	13	0	tekstrőlleges időlepcsők
9 —	—	—	14	11	3 fajta függvény	11	havi
10 Min. 120 Kbyte	—	—	27	16	3 + 8	16	havi
11 Min. 120 Kbyte	—	—	—	—	—	—	—
12 Min. 24 Kbyte	10 perc / 50 év 44 vrlhozat	1000 Ft	18	0	18	0.	évi

S o r s z á m									
22	23	24	25	26	27	28	29		
A bemenő adatok meg- kivánt hossza	A bemenő adatok meg- lévő hossza	A modell-paraméterek száma	A 24-ből számítható	A 24-ből becsülhető	A modell hazai szak- értője	A modell alkalmazása megrendelhető	A modell felhasználható-e vízügyi számítógépen		
1	Min. 1 év	0-70 év	53	49	4	VGI	VGI	igen	
2	20 év	0-70 év	4	0	4	Zsuffa I. VGI, Gidri A. Aisdunn- VIZIG	Aisdunn- Völgyl- VIZIG	igen	
3	felisz.	1901-76	21	0	21	Mogyoró P. VGI	VGI	igen	
4	—	60 év	38	1.	37	Bogárdi I. Bány Károly Mogy. B. BME	BME	igen	
5	20 év	1971- III. 1975-	42	18	24	Kőrös K. Mogy. B. BME	BME	igen	
6	—	—	0	0	0	Portfó A. VGI	VGI	igen	
7	Min. 12 hónap	—	4	4	0	VGI	VGI	igen	
8	fejlesztési idő	—	6	5	1	Ujjas I. BME	BME	igen	
9	Min. 25-30 év	0-70 év	3	3	0	VGI	VGI	igen	
10	felisz.	—	0	0	0	VGI	VGI	igen	
11	—	—	Kb 200/ fejlesztési időpont	22	Kb 180	David L. OVH	OVH	igen	
12	fejlesztési idő	—	28	6	22	David L. OVH Stratopaszky KERT. EGY.	OVH KERT. EGY.	igen	

Sorszám	A megrendelés közelítő árföldsi ideje	Milyen esetben ajánlható	Megjegyzés
	30	31	32
1	6 hó	Előzetes becslés vagy előírás tározó méretezésére és üzemrendjére	
2	6 hó	Hegy és dombvidéki tározómedoncék hidrológiai méretezéséhez	
3	5 hó	Bármilyen tározókombináció és üzemrend árhullámsökkentő és kiszivnóvelő hatásának vizsgálatára és számszerűsítésére	
4	6 hó	Szabályozható lebecsült sekélyvízű üdülőtavak optimális vízszintszabályozásához	
5	6 hó	Egy vagy két tartalék tározóval rendelkező sekélyvízű üdülőtavak optimális vízszabályozásához	
6	1 év	A Tiszavölgyi Vizgazdálkodási Rendszer rendszerének a vízkormányzására	
7	2 év	A vkg rendszer kialakításának optimális méretezésére a minőségi követelmények kielégítésével	A modell további vizsgálata szükséges
8	6 hó	Vízfolyások vízminőségét szabályozó rendszer dinamikus fejlesztésére	
9	2 év	A vkg rendszer valamennyi elemének optimális méretezésére és üzemrendjének kialakítására, vízminőségi igények nélkül	A modell egyszerűsítése szükséges
10	2 év	Létesítendő tározók méretének és építési időrendjének kiválasztása	
11	1 év	Vízgyűjtőfejlesztési alternatívák közül a leggazdaságosabb és egyben a legésszerűbb kiválasztása	
12	6 hó	A vízgazdálkodás nagyterületű fejlesztésére a társadalmi-gazdasági fejlődést és a vízgazdálkodást egységes rendszerbe foglalva	A modell gazdaságpolitikai döntések alapjául szolgál

## I R O D A L O M

- ADUVIZIG 1977: Az Alsódunavölgyi VIZIG számítógépeire kidolgozott tervezésben használható gépi programok, Baja
- Bogárdi I. - Kóris K. - Nagy B. 1974: A Velencei-tó vízszintszabályozási modellje, Vízügyi Számítástechnikai Konferencia, Szentendre, IV. téma 3. dolgozat
- Csermák B. 1968: A vízhasználattal kapcsolatos időszeri hidrológiai és vízkészletgazdálkodási kérdések, Kandidátusi értekezés, Budapest
- Dávid L. - Duckstein, L. 1976: Vizgyűjtőfejlesztési alternatívák értékelése költséghatékonyság elemzéssel, Vízügyi Közlemények, 1976. 3., 344-368
- Dávid L. - Szidarovszky F. 1974: A vízgazdálkodás nagy-távlatu fejlesztésének dinamikus modellje I. és II. rész, Hidrológiai Közöny, 1974. 10. és 12., 438-446 és 555-561
- Domokos M. 1973 /témafelelés/: Vízkészletgazdálkodási rendszerek szimulációs modelljei, VITUKI témabeszámoló, Budapest, /Témaszám: III. 2.1.2/1973/
- Domokos M. 1975 a: Vízkészletgazdálkodási rendszervizsgálatok, in: Bözsöny D. - Domokos M.: Gyakorlati vízkészletgazdálkodás, Tankönyvkiadó, Budapest, /A BME Továbbképző Intézetének kiadványa, M. 283./, 51-84



- Domokos M. 1975 b: Vizkésztgazdálkodási rendszerek modellezése, VIZDOK, Budapest, /Vízügyi Mészaki Gazdasági Tájékoztató, 72./
- Filipkowski, A. 1969: A vizgazdálkodási mérleg időszeri kérdései Lengyelországban, Vízügyi Közlemények, 1969. 1., 3-16
- Ijjas I. 1974: Matematikai modell, Folyóvíz vizminőségét szabályozó rendszer dinamikus fejlesztése VII, BME Vizgazdálkodási és Vízépítési Intézete, Kézirat, Budapest
- Ijjas I. 1976: Számítógépek alkalmazása a vizgazdálkodásban, Tankönyvkiadó, Budapest, /A BME Továbbképző Intézetének Kiadványa, M. 295./
- Kolobajev /Kolobaev/, A.N. 1969: K výboru optimal'nyh parametrov szisztem vodoobeszpecsenija promislemnyh centrov na osnove tehniko - ekonomiceszkogo analiza vodohozjajsztvennyh balansov, Ekszpressz - informacija Minisztersztva Meloracii i Vodnogo Hozjajsztva SzSzsZR, szer. 4., v. 5., Moszkva
- Magyar P. 1976 /témafelelős/: Felsőtiszavölgyi tározók vizgazdálkodási szerepe, Összefoglaló jelentés, VGI témabeszámoló, Budapest, /Munkaszám: 215/
- Metler, W. - Duckstein, L. - Bogárdi I. 1975: A Balaton vízszintszabályozása gazdasági tényezők figyelembevételével, Hidrológiai Közöny, 1975. 5., 196-205

- Nagy D. 1977 /témafelelős/: A vízkészletgazdálkodási rendszermodellek matematikai vizsgálata, VGI témabeszámoló, Budapest, /Munkaszám: 7481/
- Nagy D. 1978: A vízkészletgazdálkodási rendszermodellek matematikai vizsgálata, Tájékoztató a Vizgazdálkodási Intézet 1977. évi munkájáról, VGI, Budapest, 84-93
- O'Laoghaire, D.T. - Himmelblau, D.M. 1971: Optimal capital investment in the expansion of an existing water resources system, Water Resources Bulletin, Vol. 7. No. 76.
- ReVelle, Ch. S. - Joeres, E.F. - Kirby, W. 1969: The linear decision rule in reservoir management and design I., Development of the stochastic model, Water Resources Research, Vol. 5. No. 4., 767-777
- VGI 1976: Tiszavölgyi Vizgazdálkodási Rendszer vízkormányzásának számítógépi irányítása, Kézirat, Budapest, /Munkaszám: 24 7321-201/1976, Összeállította: Pintér Á./

Vizkészletgazdálkodási rendszerek üzemeltetési feladatainak

irányítástechnikai elemzése

Pintér Ágnes

A vizigények növekedésével, általánosságban a vízzel szembeni társadalmi elvárások fokozódásával a vízügyi feladatkör szolgáltató jellegű tevékenységből egyre inkább gazdálkodási tevékenységgé alakul át, amelyben a hidrotechnikai létesítmények megvalósításánál és üzemeltetésénél egyre közvetlenebben érvényesülnek a gazdasági hatékonyság szempontjai. Napjainkban előtérbe kerül az a felismerés, hogy a társadalmi és természeti erőforrások korlátozott voltának megfelelően népgazdasági érdekünk fűződik egyrészt a vizigényeknek és a vizigénykielégítés biztonságának ésszerű határok közt tartásához, másrészt a vizgazdálkodási műszaki beavatkozások hatékonyságának javításához.

A fentiekkel összhangban a technológiai irányítás fejlesztése ma a vízügy egyik sürgető feladata. A vizgazdálkodás 1976-80. évi műszaki fejlesztési koncepciója /1/ szerint a fejlesztés egyik "általános fő célkitűzése, hogy ... a vizgazdálkodási létesítmények üzemelési és karbantartási színvonala javuljon ...". A vízügyi ág V. ötéves műszaki fejlesztési tervének kidolgozásánál figyelembe vett főbb szempontok között a következőket olvashatjuk: "... a meglévő vízszolgáltató, vízkezelő, vízelvezető rendszerek üzemelési színvonalát a rendszerelemzésen alapuló irányítástechnika különböző mértékű alkalmazásával magasabb szintre emeljük. Peltárjuk az energia- és víztakarékos üzemmód lehetőségeit, javítjuk az egyes vízkezelési technológiák hatásfokát ...". A Koncepcióban valamilyeni szakágazat célkitűzései közt szerepel valamilyen módon az irányítási módszerek, irányítástechnikai berendezések fejlesztése<sup>x</sup>.

<sup>x</sup>Lásd "A vizgazdálkodás műszaki fejlesztési koncepciója az 1976-80-as évekre" /OVH 1976./ c. kiadvány 31-32. és következő lapjain.

Magyarországon az 1970-es évektől kezdve egyre több kísérlet történt vizügyi műszaki létesítmények üzemirányításának fejlesztésére mind analóg irányítástechnikai berendezések alkalmazásbavételével, mind pedig a számítógépek üzemirányítási feladatokhoz történő felhasználásával. Ezek a kísérletek spontán fejlődés eredményeinek tekinthetők, amelyek gyakorlati hasznosítása gyakran nehézségekbe ütközött. Egyes esetekben a fejlesztéssel elérendő eredmények, az irányítás céljának megfogalmazása nem volt elég pontos, esetleg vitatható tartalmú vagy irreális elemeket tartalmazott. A fejlesztés általában csak egyes irányítási rész-műveletekre korlátozódott - pl. csak a mérésadatgyűjtési vagy csak az ítéletalkotási és döntési tevékenységre -, más munkarészek ellátása - pl. a szükséges beavatkozás meghatározása vagy a beavatkozás elvégzése - továbbra is hagyományos módon történt. Az irányítási rendszerekben a hardware-software fejlesztés összhangja, a technikai és szellemi bázis azonos színvonalra gyakran nem volt biztosított. Így az irányítástechnikai fejlesztés eredményei háttérbe szorulhattak az irányító berendezés használatával együttjáró kötöttségek, látszólagos vagy valós többletmunkák mellett. A bizonytalanul megfogalmazott vagy nem eléggé következetesen követett fejlesztési cél miatt az irányítás javítására befektetett szellemi és anyagi ráfordítások hatékonysága sok esetben nehezen értékelhető.

Véleményem szerint a sikertelenségek oka elsősorban a célkitűzés, a feladatmegfogalmazás hiányosságaira vezethető vissza. A fejlesztés szükségességének és lehetőségeinek nem elég körültekintő mérlegelése, a célok helyett eszközökben való gondolkodás hozzájárul ahhoz, hogy - szem elől tévesztve az irányítási és az irányítandó műszaki-gazdasági folyamat egészét - az egyes részek fejlesztésének eredményei - a kapcsolódó rész-folyamatok vagy tevékenységek nem megfelelő volta miatt - ne hasznosulhassanak az elvárt mértékben.

A dolgozatban a rendszerelmélet, a vezérlés- és szabályozástechnikai alapfogalmak alkalmazásával megkísérlem összefoglalni a vízkészletgazdálkodási rendszerek azon jellegzetességeit, amelyek az üzemeltetési fel-

adat ellátásának módját, eszközeit, fejlesztésének lehetőségeit és célkitűzéseit leginkább befolyásolhatják. A tanulmány módszertani jellegű, amelyben azt kívántam bemutatni, hogy az irányítástechnika szabatos szemléletmódja és a különböző irányítástechnikai berendezések alkalmazása miként járulhatnak hozzá a vízkészletgazdálkodási rendszerek működési hatékonyságának javításához. Az első rész a vízgazdálkodással, ezen belül a vízkészletgazdálkodással kapcsolatos társadalmi érdekköröket vizsgálja, a második rész néhány rendszerelméleti, illetve folyamatirányítási fogalom értelmezését adja. A harmadik részben elemzem a vízkészletgazdálkodási rendszerek irányítási feladatait.

### Vízgazdálkodás és vízkészletgazdálkodás

Általános megfogalmazásban a vízgazdálkodás a természet vízháztartásának a társadalom szükségleteivel való optimális összehangolására irányuló tervszerű műszaki-gazdasági, tudományos és igazgatási tevékenység. A hidrotechnikai létesítmények tervezése, építése, fenntartása és üzemeltetése elsősorban műszaki-gazdasági feladatkörbe tartozik. A létesítmények üzemeltetésének, működtetésének feltételei és lehetőségei a tervezési-építési-fenntartási tevékenységek eredményeiként jönnek létre, ezek azonban nem biztosítják a művek megfelelő hasznosítását. A vízgazdálkodási tevékenység eredményességét legközvetlenebb módon az üzemeltetés befolyásolja. Éppen ezért a társadalomnak alapvető érdeke a létrehozott műszaki lehetőségek leghatékonyabb, legjobb kihasználása. Ezt a célt szolgálja a rendszerek működésének, technológiai folyamatainak tudatos irányítása.

A "társadalom szükségletei" egyrészt a víz használatát biztosító víz-igényként, másrészt a káros vizektől való védettség igényeként jelennek meg. Mindkét fajta "szükséglet" adott helyen és időben értelmezhető, továbbá adott mennyiségű, minőségű és energiatartalmú vízre vonatkozhat.

Jelen vizsgálódásaink tárgya: meglévő vízkészletgazdálkodási létesítményrendszerek működtetésével kapcsolatos technológiai folyamatok irányítási problémái. Vízkészletgazdálkodási jellegű tevékenységnek tekintünk minden olyan tudatos emberi beavatkozást, ami a természetes vízkészletek idő- és térbeli eloszlásának közvetlen befolyásolására irányul, függetlenül attól, hogy a beavatkozás a víz mennyiségének, minőségének vagy energiatartalmának módosítása érdekében történik. A vízkészletgazdálkodási tevékenységek - a víztározás, -vezetés és -emelés - egyaránt alapvető eszközei a vízhasznosításnak, vízminőségvédelemnek, ár- és belvízvédelemnek.

#### Folyamatirányítási alapfogalmak

A "folyamat" fogalmát a "rendszer" fogalomhoz kapcsolva definiálhatjuk.

A "rendszer" egy általánosan elfogadott definíciója: objektumok halmaza, valamint az objektumok és tulajdonságaik közti kapcsolatok halmaza. A rendszer célja, illetve funkciója révén határozható el a környezetétől, amellyel meghatározott kölcsönhatásban van/relatív izolált rendszer/. A rendszer belső tulajdonságai annak struktúrájával és működésmódjával jellemezhetők. Elemekből áll, amelyek egymásra hatást gyakorolnak és meghatározott módon kapcsolódnak egymáshoz. A rendszer érő - működése szempontjából releváns - hatásokat ezek az elemek átalakítják, és úgy állítják elő azt a hatást, amelyet a rendszer a külvilágra gyakorol.

Ezek alapján a "folyamat"-ot a működő rendszerben végbemenő anyag-, energia- és információtranszformációk időbeli lefolyásaként értelmezhetjük.

Műszaki rendszerek irányítási feladata: a rendszer egyes állapotjellemzőinek vagy kimeneti jellemzőinek irányítása, valamilyen egyértelmű definiált működési cél elérése érdekében.

Az irányítás - akár emberi közreműködéssel, akár automatikus módon történik - mindig a következő műveletekből áll:

- érzékelés: értesülés- /információ/szerzés az irányítandó folyamatról,
- itéletalkotás: döntés az értesülés feldolgozása alapján a rendelkezés szükségességéről,
- rendelkezés: utasítás a beavatkozásra,
- beavatkozás: az irányított folyamat befolyásolása a rendelkezés alapján.

A rendszerelmélet az irányításnak két fajtáját különbözteti meg: a vezérlést és a szabályozást. Vezérlésről akkor beszélünk, ha a beavatkozás alapja nem a befolyásolni kívánt folyamatról nyert információ, hanem valamilyen más, külső ismérv. Ha viszont a beavatkozás alapja a befolyásolni kívánt objektumról szerzett értesülés, amelyet visszacsatolás útján hasznosítunk, akkor ez a beavatkozás: szabályozás.

A rendszer irányítási szabályainak kidolgozásához szükséges a rendszer valamilyen szintű ismerete. El kell határolni a rendszert a környezetétől, és meg kell különböztetni a rendszer különböző funkciókat ellátó elemeit illetve alrendszerait, elsősorban az "irányító" és az "irányított" jellegű részeket. Meg kell fogalmazni a rendszer működési célját. Fel kell tárnai a rendszer külső és belső kapcsolatait, transzformációs folyamatait, hierarchiáit. A folyamatirányítás szempontjából a vezérlő és szabályozó alrendszerek kiemelt fontosságúak. Ennek érzékeltetésére röviden összefoglalom ezek legfontosabb funkcióit.

A szabályozó /regulátor/ alrendszer az irányított alrendszer tényleges kimeneti állapotát hasonlítja össze a "kívánatos állapot"-tal /norma/, és szükség esetén úgy változtatja meg a rendszer bemenetét, hogy a kettő azonos legyen.

Enhez a következő feladatokat ellátó rendszerelemek szükségesek:

- a tényleges kimeneti állapot megállapítására szolgáló érzékelők /receptorok/,
- a kívánatos és a tényleges állapot jellemzőinek tárolására szolgáló memóriák,
- a norma és az elért állapot összehasonlítására szolgáló szenzorok,
- a szükséges beavatkozást meghatározó információ-feldolgozó elem, a transzformátor,
- a beavatkozást végrehajtó elem, az effektor.

A vezérlő alrendszerben történik a szabályozó alrendszer számára a norma meghatározása. A norma lehet állandó, vagy esetről-esetre kívülről adott, ekkor a rendszer nem tartalmazza a vezérlő elemet, azt nem tekinthetjük a rendszer részének. Csak a magasabb szervezetségi szintű önszabályozó vagy tanuló rendszerek rendelkeznek a norma- meghatározás képességével. Ezeknél a norma az ún. "vezérlési ismerv" függvénye. Vezérlési ismerv lehet például az idő /időben változó norma/, vagy a vezérlési függvény valamely paraméterének szélső értéke /optimális vezérlés/. A vezérlő alrendszer elemeinek legfontosabb feladatai a következők:

- a rendszer működési céljának meghatározása és módosítása,
- a rendszer mindenkori állapotának és működésének értékelésére szolgáló ismérvek, hatékonysági mutatók kidolgozása,
- a norma /konkrét működési cél/ meghatározása,
- a környezetről és a rendszer állapotairól információk szerzése, érzékelés,



- információk tárolása,
- tanulás, adaptáció.

A vezérlési funkció jóval összetettebb és sokrétűbb, mint a szabályozás, sokkal inkább a konkrét irányítási feladattól, az irányított alrendszer-től függ.

Az irányító alrendszerek működését az irányított alrendszer működés-módja határozza meg. Egy mesterséges irányító alrendszer létrehozásához mindenképp a befolyásolni kívánt, irányítandó alrendszerben végbemenő transzformációkat, kapcsolatokat kell tanulmányozni.

Az anyagi-műszaki rendszerek működésére jellemző az anyag- és energia-áramlás, továbbá a rendszer irányításában az információáramlás fontossága. Ilyen anyagi folyamatok játszódnak le a különböző vizsgáldalkodási létesítmények üzemeltetése során is.

A rendszerben lejátszódó anyag- és energiaátvitel jellege szerint a folyamatok egy lehetséges osztályozása az alábbi:

		Az energiaáramlás időbeli lefolyása szerint	
		folyamatos	szakaszos
Az áramló anyag jellege	disz- krét folytonos homogén	folytonos folyamat	adagolási folyamat
		gyártási folyamat	megmunkálási folyamat

A vízkészletgazdálkodás technológiai folyamatai folytonos és adagolási folyamatok.

Vizkészletgazdálkodási rendszerek technológiai irányítási feladatainak megfogalmazása

A vízkészletgazdálkodási rendszerek működésének célja a vízkészletek elosztása adott műszaki feltételek mellett, valamilyen társadalmi elvárás kielégítése érdekében.

Egy vízkészletgazdálkodási rendszer elemei - a vízforgalomban betöltött funkciójuk szerinti csoportosításban - az alábbiak:

- vízvezető elemek /vízfolyások, csatornák/; ezek lehetnek gravitációsak vagy nyomás alattiak,
- víztározók,
- vízforrások /vízfolyások és csatornák belépő szelvénye, vízgyűjtőterület, források, használt víz bevezetések, stb./,
- víznyelők /vízfolyások és csatornák kilépő szelvénye, befogadó, párolgás, vízfogyasztási helyek, stb./,
- a rendszerelemek állapotának megfigyelését és előrejelzését szolgáló észlelő és mérőeszközök /vízzintmérők, vízhozammérők, nyomásmérők, hidrometeorológiai és vízminőségi mérések eszközei/,
- beavatkozó műtárgyak és létesítmények /szilipek, vízszinttartók, szivattyúk, vízkivételi műtárgyak, stb./,
- információtovábbítás eszközei,
- irányítóközpont(ok)/ berendezései, egyedi szabályozók és vezérlők.

A vízkészlet-elosztó rendszerek üzemeltetési feladatának megfogalmazásakor az első nehézséget a rendszer elemeinek és határainak megállapítása jelenti. Az ilyen létesítményrendszerek elhatárolása a környezettől bizonyos fokig önkényes döntés, szükségszerű egyszerűsítés eredménye.

A lehatárolás legfontosabb szempontjai: a figyelembe nem vett elemek szerepe a vízforgalomban elhanyagolható legyen, és a rendszer elemeiként tartalmazza a tényleges beavatkozó létesítményeket.

Másik fontos kérdés a feladat megfogalmazásánál az idő figyelembevétele. A rendszerben végbemenő anyagáramlás általában sztochasztikus, instacionér, elosztott paraméterű folytonos folyamat. Az állapotjellemzők megfigyelése és értékelése leginkább diszkrét időpontokban történik, ennek megfelelően a megfigyelési időközöket úgy kell megállapítani, hogy a közbenső időszakban nem észlelt kedvezőtlen állapot ne fordulhasson elő. /Kivételt képeznek a folytonos működésű automata szabályozók, ezeknél természetesen nincs időlépték-probléma/. Az idő szerepének másik vonatkozása a döntéshozatalnál számításba vehető időtáv. A folyamat instacioneritása miatt optimális döntést csak jövőbeli állapotok figyelembevételel hozhatunk, viszont az időtáv növelésével a döntések egyre bizonytalanabb előrejelzéseken alapulnak. Az állapotellenőrzési periódusok és a döntési időhorizont megállapítása véleményem szerint a szokásosnál sokkal alaposabb mérlegelést igényelne.

Vizkészletgazdálkodási rendszerek üzemeltetési feladatában feltétlen szükséges az irányítási hierarchia egyértelmű kialakítása. Minden vízkészlet-elosztási tevékenység végrehajtásában felismerhetők az alábbi irányítási szintek:

1. szint: a beavatkozó szervek működésének irányítása egyedi szabályozókörök szerint, értéktartó vagy -követő szabályozással, valamint sorrendi vezérléssel.
2. szint: a beavatkozó szervek szabályozási norma-értékeinek megállapítására szolgáló vezérlések.
3. szint: a rendszer működési céljának vagy céljainak megfelelő optimális vezérlés.

4. szint: többcélú rendszer esetén a működési célok hierarchiájának, az optimalitási kritériumot determináló súly-értékeknek a meghatározása.

Az egyes irányítási szinteken végrehajtandó legfőbb feladatok és irányítási szempontok a következők:

Az 1. szintű irányítás működteti a rendszer beavatkozó műtárgyait. Ezen a szinten az irányítási tevékenység célja például: adott felvízszint tartása egy műtárgynál, adott tározóvízszint tartása, adott vízhozam átvezetése, adott nyomásértékek biztosítása, szivattyútelep gépegységeinek indítása adott sorrendi előírások szerint. Ezen az irányítási szinten széles körben alkalmazzák a különböző hidraulikus automata szabályozókat, kézi beállítású szabályozókat, illetve gépészeti berendezéseknél az analóg irányítástechnikai eszközöket.

A 2. szintű irányítás összekötő kapocs az optimális vezérlési utasítás és a tényleges beavatkozás végrehajtása között. Ezen az irányítási szinten történhet a vízkészletelosztó rendszer egyes elemeire vonatkozó hidromechanikai, hidraulikai feltételek figyelembevétele, például: a követő szabályozás norma-értékének olyan sebességű változtatása, amely a műtárgy állékonyságát nem veszélyezteti, a vízlevonulási idő számítása szerinti normavezérlés egy zsilip működtetéséhez, adott vízhozamot biztosító zsilipállítási szint meghatározása, alternatív optimális megoldások létezése esetén az ezek közötti választás a működési céltól különböző más üzemi szempont szerint, stb. Ezen irányítási szinthez tartozó tevékenységek elvégzése napjainkban legtöbbször kézi számítás alapján, kézi működtetéssel történik, és talán helytálló az a megállapítás, hogy a vízkészletgazdálkodási rendszerek irányításának fejlesztésénél ezzel az irányítási szinttel törődünk legkevesebbet, holott az optimális irányítás gyakorlati végrehajtásának nélkülözhetetlen láncszeme.

A 3. és 4. irányítási szinten történik a rendszer működési céljának definiálása, tehát a társadalmi elvárások konkrét megfogalmazása. A vízkészlet-elosztás műszaki feladata ezen az irányítási szinten keresztül közvetlenül kapcsolódik a társadalom gazdasági korlátaihoz és céljaihoz. A vízkészletgazdálkodási rendszerek irányítását célzó kutatási - fejlesztési javaslatok kidolgozói leginkább ezzel a feladatkörrel foglalkoznak, és - mind a hazai, mind a külföldi szakirodalom tanúsága szerint - a gyakorlati lehetőségekhez és a ténylegesen hasznosított eredményekhez képest is messze előretartanak. Azonban a kutatási eredmények alkalmazásbavételét megakadályozzák a bevezetőben említett hiányosságok, az alsóbb irányítási szintek fejletlensége, az információszerzés és -áramlási hálózat elégtelensége és a rendszerek, beavatkozó művek nem kielégítő műszaki állapota. A felső irányítási szintek döntési fázisában általánosnak mondható a fejlett matematikai módszerek és a számítógépek alkalmazása.

.....

A tanulmányban számos olyan alapvető fontosságú kérdésre nem tértem ki, amelyek a vízkészletgazdálkodás irányítási feladatát és az irányítás végrehajtását befolyásolják. Teljeskörű elemzés helyett inkább érzékeltetni kívántam annak lehetőségét, hogy az irányítástechnika - más tárcák szakterületein már meghonosodott - eszköztára a vízügyi szakembereknek is igen hasznos segítséget nyújt, szemléletmódjának és műszaki eszközeinek alkalmazása nagymértékben hozzájárulhat a vízgazdálkodási rendszerek működési hatékonyságának javításához.

IRODALOMJEGYZÉK

1. A vízgazdálkodás műszaki fejlesztési koncepciója az 1976-80-as évekre. Kézirat. OVH. 1976.
2. Vámos T.: Nagy ipari folyamatok irányítása. Akadémiai Kiadó. 1970.
3. Frigyes A. - Lehel Cs. - Megyeri J.: A számítógépek alkalmazása a folyamatirányításban. /"A számítógép alkalmazása" c. sorozat kötete/. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó. 1975.
4. Csordás L. - Szirtes L.: Számítógépes folyamatirányítás. Műszaki Könyvkiadó. 1976.
5. Irányítástechnikai Kézikönyv. Főszerk.: Csáki F. Műszaki Könyvkiadó. 1977.
6. Bugliarello, G. - Gunther, F.J.: Computer Systems and Water Resources. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford - New York. 1974.
7. Ijjas I.: Számítógépek alkalmazása a vízgazdálkodásban. Szakmérnöki jegyzet. M. 295. Tankönyvkiadó, 1976.
8. Beszámolójelentés az ENSZ EGB Vízügyi Bizottságának "A vízgazdálkodási rendszerekben alkalmazott számológépes eljárások és automatizálás" c. szimposiumról /Washington, 1974./.. Készítette: Domokos Miklós. Kézirat, VITUKI, 1974.
9. Dávid L.: Water Resources Regulation. International post-graduate course on Hydrological Methods For Developing Water Resources Management. VITUKI, 1975.

10. Szesztay K.: A vizgazdálkodás és a vizigényszabályozás technológiai vonatkozásai történelmi távlatban. Vizügyi Közlemények 1978/3.
11. Szesztay K.: A vizgazdálkodás és a technológia kapcsolat-rendszerének múltja és jövője. Előadás a MTESZ Környezetvédelmi Bizottsága "Hulladékszegény technológiák" c. Konferenciáján, 1978. dec. 11-12.
12. A Magyar Hidrológiai Társaság "Rendszerelemzés alkalmazása a vizgazdálkodásban" tárgyú Konferenciájának "Következtetések és ajánlások" c. kézirata. 1978. november 28-29.
13. Pintér Á.: A számítógépes üzemi irányítás lehetőségeinek elemzése a Tisza-Körösvölgyi Együttműködő Vizgazdálkodási Rendszerben. Szakdolgozat. Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Kar, Szakmérnöki Tagozat, 1977.
14. Pintér Á.: Számítógépek alkalmazása a vizgazdálkodás műszaki rendszereinek technológiai irányításában. Kézirat, Vizgazdálkodási Intézet "Alkotó Ifjúság" pályázat, 1978.

RENDSZERELMÉLET ALKALMAZÁSA VIZRENDSZER  
AUTOMATIKUS LEFOLYÁSSZABÁLYOZÁSÁRA

Dr. Salamin András<sup>\*</sup>

A Magyarország északi területén lévő Zagyva-Tarna vízgyűjtőn olyan technikai bázis kiépítését kezdték meg, mely alapját képezheti a vízrendszer felső részében a felszíni vízkészletek automatikus lefolyásszabályozásának. A technikai bázist a a számítógép-központú telemechanikai adatgyűjtő rendszer és a három, komplex hasznosítású, távvezérelhető tározóból álló rendszer képezi. A kedvező technikai feltételek olyan un. "szabályozási mintaterület" kialakítását tették lehetővé, ahol az automatizált /számítógép vezérlésű/ felszíni - mennyiségi és minőségi - lefolyásszabályozás kísérleti megoldását lehet kialakítani, illetve bevezetni.

Technikai bázis: a Zagyva-Tarna Vizgazdálkodási Szabályozó Rendszer /ZT-VSZR/

A Zagyva-Tarna vízrendszer /területe 5676 km<sup>2</sup>/ vizgazdálkodási feladatainak komplex megoldására olyan automatikus rendszer kiépítése kezdődött meg [1-5], mely célja a felszíni szabályozás mind mennyiségi, mind pedig minőségi vonatkozásban a térség vizgazdálkodási /vizellátási, öntözési, árvízcsökkentési, vízminőségiszabályozási, üdülési stb./ igényeinek kielégítésére. Az automatizált rendszer kiépítését három ütemre osztották:

\* Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat, Budapest.



az I. ütem feladata az árvízi és kisvízi mennyiségi előrejelzéshez szükséges legfontosabb hidrometeorológiai, hidrológiai adatok központi gyűjtése, feldolgozása és előrejelzések készítése,

a II. ütem feladata olyan - mintegy 30-35 tározóból álló - tározórendszer kialakítása és automatikus központi szabályozása, mely a vízrendszer felszíni lefolyási viszonyait mennyiségi vonatkozásban a felhasználási igényeknek megfelelően tudja szabályozni,

a III. ütem a vízrendszer minőségi szabályozását hivatott megoldani.

Az I. ütem beruházása 1976 decemberében befejeződött. E beruházás keretében a vízgyűjtőn 18 területi állomás került kialakításra, mely állomások 10-30 percenkénti sűrűséggel gyűjtik a környezetükben észlelt hidrológiai /vizállás/ és hidrometeorológiai /csapadék, hóvizegyenérték, talajnedvesség, talaj és léghőmérséklet/ adatokat - mintegy napi tizezer adatot - és továbbítják a budapesti központba. A központban egy magyar gyártmányú kis számítógép /TPA 1001 / rendszerrel az adatokat és szükség esetén folyamatos vízhozam-idősor előrejelzéseket készít /jelenleg technikai közreműködéssel/. A mérőállomások nemcsak adatgyűjtésre, hanem távvezérlési parancs kiadására /illetve továbbítására/ is alkalmasak.

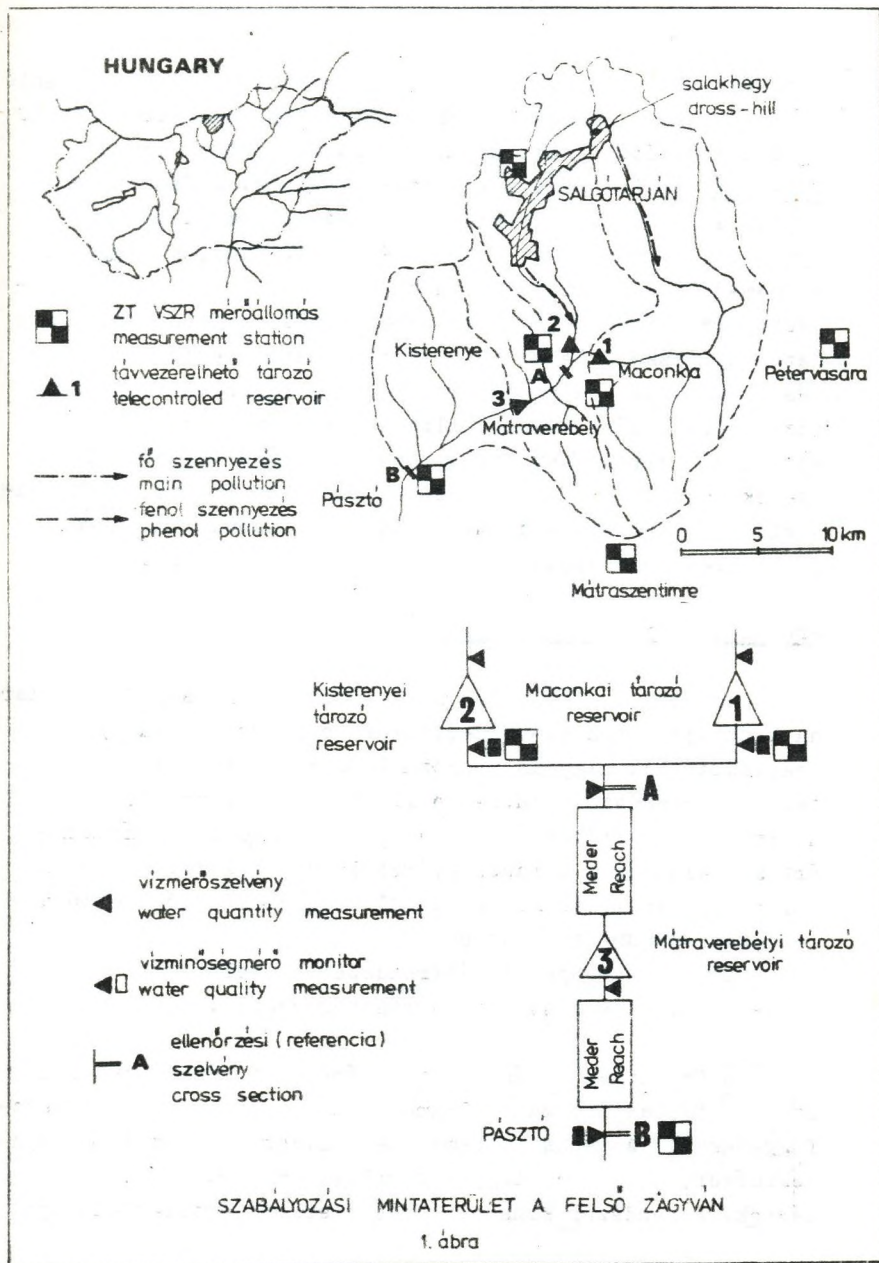
A II. ütem keretében készül, illetve készült el az 1976-1979 időszakban a távvezérelhető tározórendszer első három tározója /e három tározó képezi a "szabályozási mintaterület" tározórendszerét/. Mindhárom tározó többcélú hasznosítású. A három tározó közül az egyiket vízminőségiszabályozásra is hasznosítják, így ezzel a III. ütem építése is megkezdődött. A II. és III. ütem teljes befejezése hosszú időszakot vesz igénybe /mintegy 10-15 évet/, így a megoldást - a szabályozási rendszert - is ennek megfelelően kell kialakítani.

A kedvező technikai feltételek olyan ún. "szabályozási mintaterület kialakítását tették lehetővé, mely magában foglalja a már elkészült három távvezérelhető tározót. E három tározó közül kettő egymáshoz viszonyítva párhuzamos kapcsolású, míg a harmadik az előző kettőhöz viszonyítva soros kapcsolású /1. ábra a 4. oldalon/. A mintaterület tározórendszerénél tehát lehetőség van mind párhuzamos, mind soros, valamint vegyes kapcsolású tározókból álló rendszer szabályozási megoldását kipróbálni. A komplex hasznosítás vizsgálgatói problémáival már néhány publikáció részleteiben foglalkozott [1-4], jelen tanulmányunkban csupán a megoldás rendszerszemléleti, rendszerelméleti vonatkozásaival foglalkozunk.

#### A lefolyásszabályozó rendszer dekomponálása

A "szabályozási mintaterületen" megfogalmazott komplex lefolyásszabályozási feladat hatékony megoldása a rendszerelmélet nélkül aligha lenne elképzelhető: a feladat összetettsége igényli a rendszerszemlélet adta egyszerűsítési, feladatmegközelítési megoldást. A mintegy hat éve folyó munka a teljes lefolyásszabályozó rendszer több részrendszerének kialakításához vezetett, ugyanakkor számos olyan szaktárgyi, rendszerelméleti problémát vetett fel, melyek megoldásához a rendszerelmélet művelőinek segítsége szükséges. A fokozatos kiépítésű technikai bázis szükségképpen magaután vonja a szabályozási rendszer kialakításának fokozatosságát is. Jelen tanulmányunkban a teljes rendszer felbontását kívánjuk vázolni, bemutatva a már elkészült feladatrészeket.

A szabályozó rendszer elsőrendű felbontása során a tározókkal meghatározott fizikai rendszer szabályozási felada-



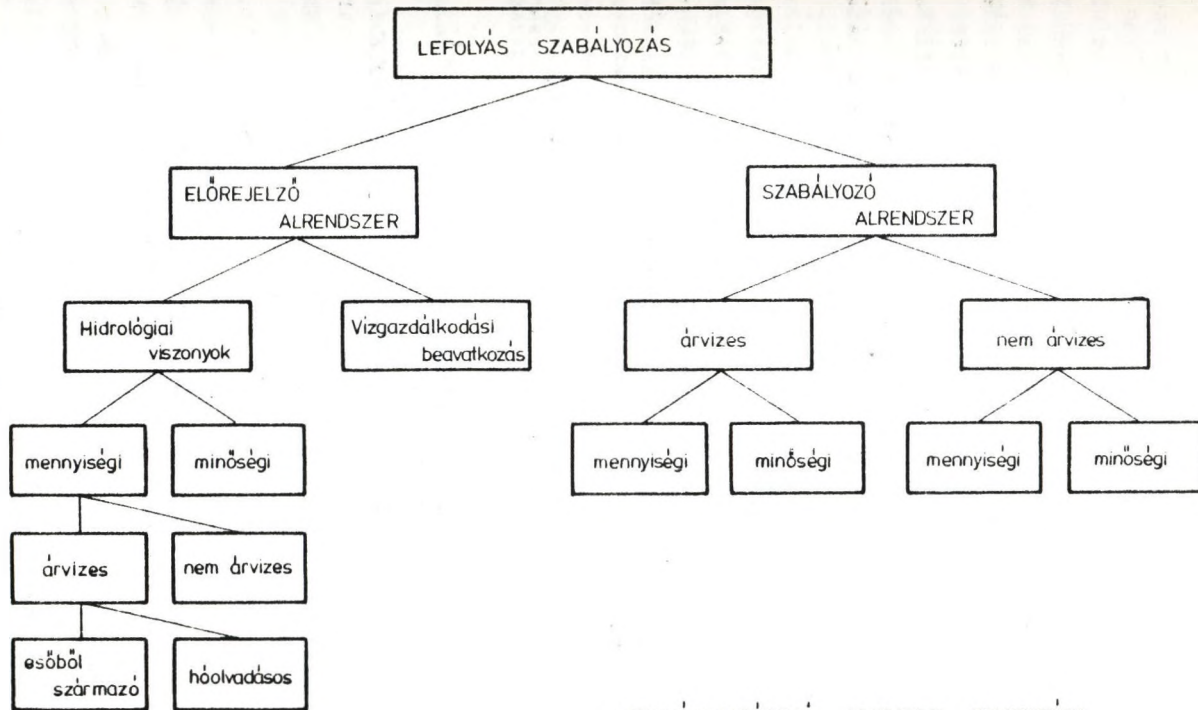
tát célszerű elkülöníteni a tározórendszer inputját jelentő hidrológiai, vizgazdálkodási körülmények meghatározásától. /előrejelzésétől/. Ezt az elsőrendű felbontást követi a 2. ábrán vázolt további rendszerfelbontás. A felbontás alapját a felszíni lefolyási folyamat jellemzői jelentik: így a vízmennyiségi és vízminőségi problémák, a nagyvizi és nem-árvizes periódusok, a záporból és a hóolvadással együttjáró nagyvizi lefolyás elkülönítése a feladatmegoldás hatékony eszköze lehet. A 2. ábrán vázolt rendszerfelbontás során kapott alrendszerek közül a záporból való nagyvizi előrejelzést készítő alrendszer készült el [5], míg a szabályozó alrendszer felbontása, az egyes további alrendszerek matematikai jellemzésének első közelítése [4] a gyakorlati bevezetés stádiumában van. Az alábbiakban e két főbb alrendszer vázlatos ismertetésére térünk ki.

### Árvizi előrejelző alrendszer

Az árvizi előrejelző alrendszer **feladata** a Zagyva-Tarna vízgyűjtőjén a ZT-VSZR-rel mért és a központba gyűjtött csapadékadatok alapján vízhozamidősor előrejelzések készítése a vízrendszer fontosabb vízfolyásszelvényeire, valamint a vízmérőszelvényben mért tényleges vízállás /vízhozam/-értékek alapján a korábbi előrejelzések fokozatos javítása. E megfogalmazás már egyuttal sugalja az előrejelző alrendszer további felbontását:

- az un. előrejelző részrendszerre, valamint
- az előrejelzést javító részrendszerre.

E felbontás során kapott előrejelző részrendszer a felszíni lefolyás fizikai folyamatát írja le matematikai összefüggésekkel. A rendszer bemenete a mm/óra dimenziójú csapadékidősor, melyet a vízgyűjtőterület 13 területi állomásán mérnek. A rendszer kimenete órás diszkrét értékekben mega-



LEFOLYÁSSZABÁLYOZÓ RENDSZER FELBONTÁSA

2. ábra

dott vízhozamidősorok a vízrendszer 16 kiválasztott szelvényében /szükség esetén összesen 75 szelvényben/.

A javító részrendszer a csapadékadatok felhasználásával készített előrejelzéseket javítja folyamatosan a vízrendszer vízmérőszelvényeinek vízhozamadataival. E rendszer bemenete a különböző szelvényekre készített korábbi előrejelzés, valamint a mért vízhozamértékek, kimenete a javított vízhozamidősor előrejelzések. A javító részrendszer feladata természetesen a korábban javított előrejelzések további javítása.

### 1. Az előrejelző részrendszer további felbontása

A további rendszerfelbontás alapja a lefolyási folyamat részekre való felosztása. A matematikai jellemzés érdekében a fizikai folyamatot négy részfolyamatra bontottuk; e részfolyamatok matematikai jellemzését ún. modulrendszerekkel jellemtük:

- Az ún. LEFOLYÁSI MODULRENDSZER valamely részvizgyűjtő kifolyási szelvényében határozza meg a mért csapadéértékek felhasználásával a részvízrendszerből távozó árhullám vízhozamsorát.
- Az ún. TÁROZÓS MODULRENDSZER a tározók árhullámtranszformáló hatását írja le: a tározóba érkező árhullám idősorának - valamint a tározó műszaki adatainak - ismeretében határozza meg a tározó után kialakuló árhullámképet.
- Az ún. MEDERTRANSZFORMÁCIÓS MODULRENDSZER egy adott mederszakasz felső és alsó szelvénye közötti árhullámmodosulást határozza meg.
- Fontos modulrendszer még az ún. ÖSSZEGZŐ MODULRENDSZER, mely az összefolyó vízfolyások árhullámainak eredőjét /összegződését/ határozza meg.

A modulrendszerek az aktuális részvizgyűjtőt, tározót, mederszakaszt, illetve összefolyási csomópontot a megfelelő modellállandók meghatározásával jellemezhetik. A lefolyási folyamat felbontásának megfelelően a vízrendszert is felbontottuk 29 db.

részvizgyűjtőre, minden egyes részvizgyűjtőt egy lefolyási modulrendszerrel jellemtünk. A vízhálózatot is felbontottuk 26 szakaszra, az egyes szakaszokat a medertranszformációs modulrendszerrel jellemeztük. A vízhálózat felbontása során 20 db. összefolyási csomópont keletkezett, így 20 összegző modulrendszer alkalmazására került sor /tározó modulrendszert az első változatban nem használtunk/. A Zagyva-Tarna vízrendszer lefolyási viszonyait tehát összesen 75 modulrendszerrel irtuk le. A modulrendszerek matematikai jellemzését az [5] foglalja össze, itt csupán egy fontos jellemzőre térünk ki: a matematikai jellemzés a 75 db. modulrendszerhez - az egyes részvizgyűjtők, mederszakaszok jellemzéséhez - összesen 394 modelállandó becslését igényelte /e modelállandók meghatározása jelenti a modulrendszerek aktualizálását az adott részvizgyűjtőre, illetve vízfolyásszakaszra/. Tekintettel arra, hogy a Zagyva-Tarna vízrendszer területén megfelelő részletességű csapadék és vízhozam megfigyelés nem volt, a modelállandók becslése a rendszerkialakítás egyik sarkalatos kérdése volt.

## 2. Az előrejelző részrendszer érzékenységvizsgálata.

Az előrejelző részrendszer érzékenységvizsgálatának célja egyrészt a becsült modelállandók pontosítása úgy, hogy a rendszer "együttműködő" legyen /fizikailag reális kimenetet szolgáltatson/, másrészt a rendszer elsődleges kipróbálása. A viszonylag nagyszámú /75/ részrendszerből felépített előrejelző rendszernél a 394 modelállandó megfelelő becslése súlyponti kérdés volt, ugyanis a különböző matematikai közelítéseket tartalmazó részrendszerek összeillesztésének, valamint a modelállandók becslésének hibája könnyen eredményezheti azt, hogy valamely alsóbb vízfolyás-szelvényben az előrejelzett árhullám nem követi a fizikai

törvényszerűségeknek megfelelő árhullámalakot /áradó ág, apadó ág stb./.

A részletes érzékenységvizsgálatot három lépésben hajtottuk végre:

- az első lépésben az egyes alrendszerek külön-külön történő elemzésére került sor; itt elégséges volt csupán az egyes típusokra elvégezni a vizsgálatot /összesen négy típusra/,
- a második lépésben a teljes előrejelző rendszernek, mint egységes egésznek a vizsgálata volt a cél, míg
- a harmadik lépésben az egyes alrendszerek hatását elemeztük a teljes nagy rendszerre.

Az alrendszerek külön-külön való vizsgálatánál múltbeli, gyakorta nem a Zagyva vízrendszerben mért adatsorokra támaszkodtunk. Így pl. a lefolyási modulrendszer modellállandóinak ellenőrzéséhez /"belővéséhez"/ a turkevei csapadékmérő állomás mintegy 50 éves adatsorából választottunk ki 80 jelentősebb esőt, és ezen esős időszakok mellett vizsgáltuk a modulrendszer viselkedését. A viselkedés ellenőrzésére a Zagyva-Tarna vízrendszerben észlelt vízállás és vízhozam adatokat használtuk fel /mintegy 9 vízfolyásszelvény összesen négyszáz évnnyi adatsorát állítottuk elő és használtuk fel/. A medertranszformációs modulrendszer kipróbálásánál is a múltbeli vízállás /vízhozam/ adatsorokra támaszkodtunk. A tározós modulrendszer viselkedésének vizsgálatakor a múltbeli észlelések mellett az 1 és 10 %-os valószínűségű mértékadó árhullámok melletti viselkedést is elemeztük. E részletes érzékenységvizsgálat a fizikai közelítések, a meghatározott modellállandók helyességét igazolták [5] .

A teljes nagy rendszer együttműködésének ellenőrzésére az 1974 októberi rendkívüli zagyvavölgyi árvíz részletes mérési adatait használtuk fel /ennél az árvíznál olyan részle-



tes helyszíni megfigyelés volt, mely megfelelt az akkor még kivitelezés alatt álló ZT-VSZR adatgyűjtési sűrűségének/. Ugyanezen adatokat használtuk fel az egyes alrendszereknek a nagy rendszerre gyakorolt hatásának elemzésére is. Az 1976 decemberi beruházás átadásakor levonult ár viz már a rendszer tényleges kipróbálását jelenthette.

A több alrendszerből felépített nagy rendszer érzékenységvizsgálata - és az ezt megelőző rendszerfelbontás is - a feladatmegoldás egyik legfontosabb részét jelenti, ennek megtervezése a fizikai rendszer jellemzőinek átfogó és egyben részletes ismeretét feltételezi.

### 3. A javító részrendszer kialakítása

Az előrejelző részrendszer /tehát csak csapadékadatok alapján/ készített előrejelzések erősen korlátozott pontosságúak. A ZT-VSZR kialakítása során a tervezők törekedtek arra, hogy viszonylag kis vízgyűjtők vízhozammérésére is sor kerüljön a rendszerben. E vízgyűjtőknél viszonylag rövid időn belül ellenőrző értéket kaphatunk a korábbi előrejelzéseink helyességére vonatkozóan, illetve egyben lehetőség nyílik a mért és számított előrejelzések összehasonlítása alapján az előrejelzések korrekciója. A javító részrendszert is célszerű modulrendszerekből felépíteni:

- az APADÁSI MODULRENDSZER valamely vízmérőszelvény mért árhullám áradó ág alapján előrejelzi az apadó ág alakját; ezzel a modulrendszerrel a szelvényben a további javításhoz egy ún. "mért" teljes árhullámképet nyerhetünk,
- a PONTJAVÍTÓ MODULRENDSZER az adott vízfolyássalvényben a korábbi előrejelzés helyére az apadási modulrendszerrel meghatározott ún. "mért" árhullámot helyezi,
- míg a TERÜLETI JAVÍTÁS MODULRENDSZERE valamely vízmérőszelvény mérési adatait más részvízgyűjtők lefolyáselőrejelzésének javítására használja fel.

A Zagyva-Tarna vízrendszerénél összesen 46 apadási modulrendszert, 16 pontjavító modulrendszert és 29 területjavító modulrendszert alakítottunk ki, illetve használtunk fel. E modulrendszerekhez /az apadási modulrendszerekhez/ összesen 32 modelállandó meghatározása volt szükséges.

A javító részrendszer kipróbálása már a teljes előrejelző rendszer ellenőrzését jelentette. A teljes rendszer összesen 136 részrendszer összekapcsolásából épült fel, ehhez a felépítéshez 426 modellállandó becslésére volt szükség. A javító részrendszer matematikai jellemzése olyan, hogy biztosítja az egymást követő előrejelzések konvergenciáját a ténylegesen bekövetkező érték felé, a konvergencia sebessége /azaz hogy milyen időelőny mellett érhető ez el/ azonban a megválasztott modelállandóktól függ. Ennek elemzésére az 1974 októberi teljes árvizet utólag lejátszottuk, majd 1976-ban egy tényleges árviznél kipróbáltuk. A rendszer kipróbálásánál, működésének jellemzésénél fontos szerepet játszottak a szimulációs vizsgálatok.

Az előrejelző alrendszer kialakításánál a rendszerszemlélet a meglehetősen összetett rendszer célszerű felbontását, egyszerűsített matematikai leírását tette lehetővé. A modularizált megoldás a számítástechnikai megoldás fontos segédeszköze is volt: csupán az egyes modulrendszer-típusok programját kellett elkészíteni, az aktualizálást már a modellállandók segítségével lehetett végrehajtani. Ilyen nagy rendszereknél a részletes felbontást igen körültekintően végrehajtandó felépítés követi, mely sikerét a megfelelő érzékenységvizsgálat tervezése határozza meg elsődlegesen. A megoldás során hangsúlyozni kell a fizikai folyamat, a vizgazdálkodási igény ismeretének, kellő pontosságú megfogalmazásának fontosságát, ettől függ ugyanis a felbontás és a felépítés sikere.

## Szabályozó alrendszer

A "szabályozási mintaterületen" létesített tározók rendszere összetett, üzemelésében ellentétes jellegű feladatok szabályozási megoldását igényli, a technikai bázis pedig annak korszerű megoldási lehetőségét biztosítja. Mindhárom tározó komplex hasznosítású, ami a feladat összetettségét jelenti. Az 1. ábrán szemléltetett rendszerben a Maconkai tározót vízfelhasználási célra szolgáló víz tározására és árvízcsökkentésre, a Kisterenyei tározót árvízcsökkentésre és vízminőségszabályozásra, a Mátraverebélyi tározót pedig árvízcsökkentésre és víztározásra kívánják hasznosítani.

### 1. Szabályozási feladatok

A tározórendszerrel szembeni vizgazdálkodási igények tehát: árvízcsökkentés, víztározás, vízminőségszabályozás. A víztározási és árvízcsökkentési igények egy azon tározónál ellentétes jellegű üzemelést igényelnek. Míg a tározási igények a mind több víz tározását teszik szükségessé, addig az árvízcsökkentéshez a mind nagyobb üres tározótérre van szükség. Hasonló ellentmondás van a szabályozás időtartamában is, ugyanis a víztározás általában éven, vagy több éven belüli vizkiegyenlítést végez, míg az árvízi szabályozás csupán az árvízi periódusokra /gyakorta egymástól független periódusokra/ vonatkozik.

Az árvízi szabályozás feladatát egyedi tározónál egyszerűen lehet megfogalmazni: a tározóba érkező árhullám csúcsát kell maximálisan csökkenteni. Könnyen belátható, hogy ugyanez a feladat a sorba kapcsolt tározókból álló rendszerrel is. Nem ilyen egyszerű a szabályozás feladata a párhuzamosan kapcsolt tározóknál, ugyanis belátható, hogy kedvezőtlen szabályozás esetén a tározók nélküli rendszerben való lefolyásnál kedvezőtlenebb csúcshozamot is el lehet érni, míg a sorba kapcsolt tározóknál a hatás csak kedvező lehet. A párhuzamos kapcsolású tározók szabályozásánál kettős optimalizációs feladatot kell megoldani: egyrészt maximálisan kell csökkenteni a tározókba érke-

ző árhullám csúcsát, másrészt maximálni kell az összefolyó ágakon érkező árhullámok tetőzési időpontjaik közötti eltolódást.

Az árvize szabályozási és vízminőségszabályozási igények kielégítése egyazon tározóval általában időben eltolt feladatot jelent: az árvizi szabályozásra az árvizi időszakokban, a vízminőségi szabályozásra pedig a kisvízi időszakokban van általában szükség. Nem ilyen egyszerű a szabályozás feladata a két periódus határán /pl. nyári zápor idején a szennyvigtározás találkozhat az árvizi levonulással stb./, illetve az árviz alatti szennyezések esetében /műtrágya bemozás, felszennyezés a szalakhegyek árvizi atmoszfájából stb./.

A szabályozási lehetőségek a tározórendszerénél meglehetősen korlátozottak: általában mennyiségi szabályozással lehet a mennyiségi és minőségi igényeknek megfelelő követelményeket kielégíteni /a vízminőségszabályozás jelenleg csak higtásra korlátozódik/.

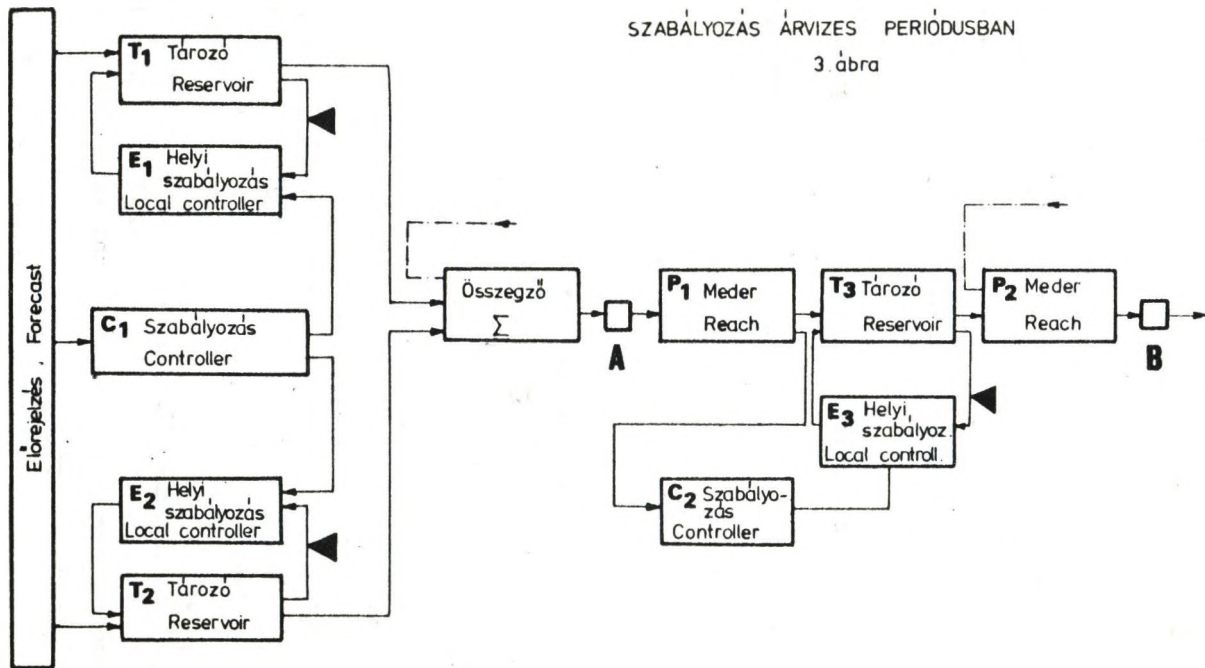
## 2. A szabályozó alrendszer felbontása

A szabályozó alrendszer első felbontásánál az árvizes és a nem-árvizes periódusok elkülönítése lehet a cél. Az árvizes és nem-árvizes periódusokra kialakított alrendszerek egymást váltakozva követik, az egyikről másira való áttéréhez a jelzést a ZT-VSZR adja /e rendszer jelzi az árvizi periódus kezdetét és végét/.

Az árvizi periódus szabályozási rendszerének további felbontását a 3. ábra szemlélteti. A felbontás alapját a rendszerben lejátszódó fizikai folyamat, valamint a korábban vázolt szabályozási feladat képezi. Az ábrának megfelelő rendszer működését vázlatosan az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- ◀ vizmennyiségmérés, water quantity measurement
- referencia szelvény, cross - section




SZABÁLYZÁS ÁRVIZES PERIÓDUSBAN  
3. ábra



- a ZT-VSZR riasztására az előrejelző alrendszer árvízi előrejelzést készít,
- az előrejelzés alapján a C<sub>1</sub> SZABÁLYOZÓ alrendszer meghatározza azt az optimális vezérlést a két párhuzamos kapcsolású tározónál, mely mellett a maximális csúcshozam az A referencia szelvényben minimális lesz,
- ezt a vezérlési utasítást kapja meg a két tározó E<sub>1</sub> és E<sub>2</sub> jelű HELYI SZABÁLYOZÓ alrendszere, mely a tározók alatti vízmérőszelvények adatainak felhasználásával állítja elő a tározóból leengedendő vízhozamidősort,
- ezt követően a tározóból távozó vízmennyiség - a közbeni transzformációt figyelembevévő P<sub>1</sub> transzformáción keresztül - jut el a legalsó tározóba,
- e tározónál a szabályozás célja a tározóba folyó árvíz csúcshozamának maximális csökkentése, az ehhez szükséges vízhozamleeresztés idősorát a C<sub>2</sub> jelű SZABÁLYOZÓ alrendszer határozza meg,
- illetve a C<sub>2</sub> alrendszer által meghatározott vezérlési feladatot az E<sub>3</sub> jelű HELYI SZABÁLYOZÓ alrendszer hajtja végre,
- végül a P<sub>2</sub> jelű alrendszeren keresztül jut az árhullám a részvízgyűjtő kifolyási szelvényét jelentő B referencia szelvénybe.

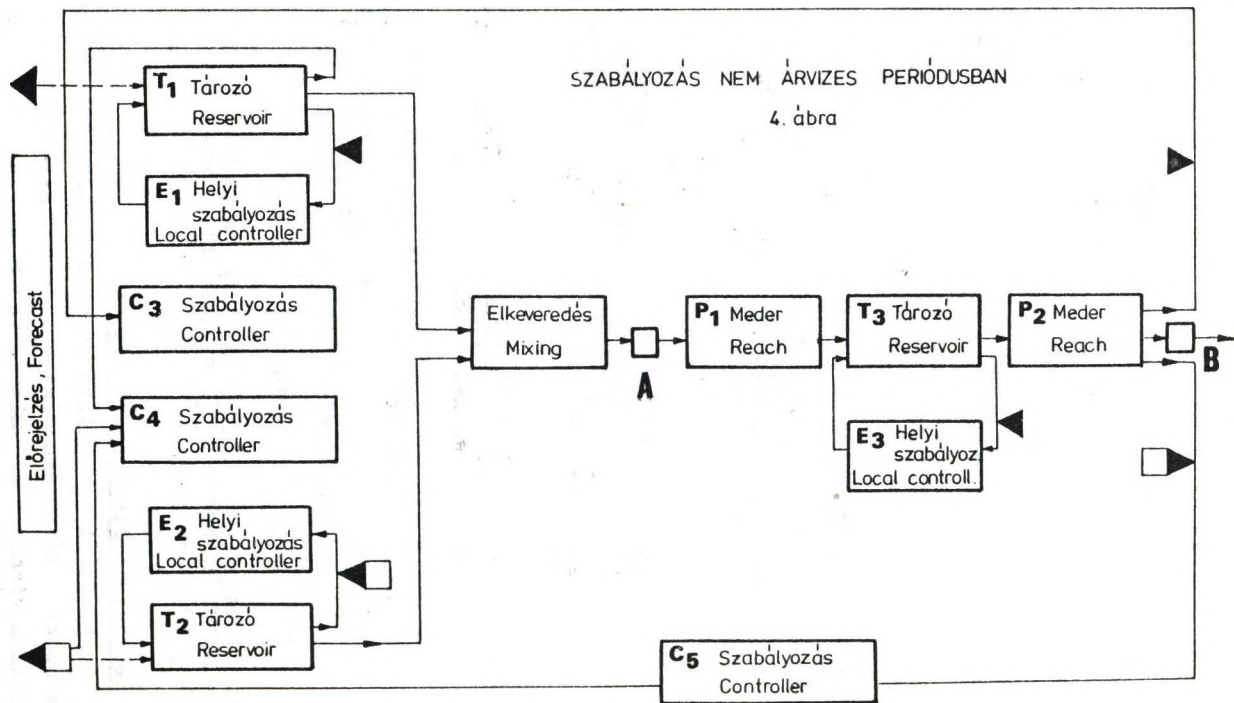
A tározók transzformáló hatását /az előrejelző alrendszerhez hasonlóan/ a T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> és T<sub>3</sub> jelű TÁROZÓ alrendszerek, a mederszakaszok transzformáló hatását pedig a P<sub>1</sub> és P<sub>2</sub> jelű MEDER alrendszerek határozzák meg. A felbontás során kapott alrendszerek száma tehát 11. A szabályozó alrendszereket célszerű tovább bontani mennyiségi és minőségi részre /az utóbbi tartalmazza a mennyiségi szabályozást is/, ennek részletezésével azonban itt nem foglalkozunk [1] .

A nem-árvizes periódus szabályozási rendszerének további felbontását a 4. ábra szemlélteti. Az ábrának megfelelően a szabályozó rendszer működésének legfontosabb lépéseit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

-  vízminőségmérés, water quality measurement
-  vízmennyiségmérés, water quantity measurement
-  referencia szelvény, cross-section

SZABÁLYOZÁS NEM ÁRVIZES PERIÓDUSBAN

4. ábra



- a Maconkai tározó hosszúidejű szabályozási feladata a mind több víz betározása az előre meghatározott üzemi vízi szintig úgy, hogy az ne korlátozza az A és B szelvényekre előírt mennyiségi követelményeket, illetve a víz leeresztése a tározóból, ha a mennyiségi követelmények ezt szükségessé teszik /vizpótlásra csak ebből a tározóból kerülhet sor/; a leeresztendő víz mennyiségét határozza meg a C<sub>3</sub> jelű SZABÁLYOZÓ alrendszer,
- a szabályozást pedig a már említett E<sub>1</sub> jelű HELYI SZABÁLYOZÓ alrendszer hajtja végre,
- vízminőségi probléma esetén a Kisterenyei tározó fölötti monitorállomás ad riasztó jelzést és működésbe hozza a C<sub>4</sub> jelű SZABÁLYOZÓ alrendszert, mely feladata meghatározni a szükséges beavatkozást úgy, hogy az A és B szelvényekre megfogalmazott mennyiségi és minőségi igények kielégíthetők legyenek; a C<sub>4</sub> jelű alrendszer szabályozási feladatát két lépésben hajtja végre:
- az egyszerűbb megoldásban a Kisterenyei tározóból kifolyó szennyezett víz mennyiségét kell korlátozni, és ha ez elégséges a mennyiségi és minőségi igények kielégítésére, akkor további beavatkozásra nincs szükség,
- ha azonban a szennyviz tározása a mennyiségi igények korlátozását vonja maga után, akkor a Maconkai tározóból vizet kell leengedni,
- tekintettel arra, hogy a szabályozás az említett A és B szelvényekre készített előrejelzések alapján történik, szükséges a szabályozás eredményét a rendszer B jelű kifolyási szelvényében lévő vízmérő szelvény és monitorállomás adataival ellenőrizni és a korábbi szabályozási utasítást korrigálni; ennek meghatározását végzi a C<sub>5</sub> jelű SZABÁLYOZÓ alrendszer.

A vázolt szabályozó alrendszerek metemetikai jellemzésének első közelítése elkészült [4], a gyakorlati bevezetés azonban még jelenleg folyik.

### 3. Rendszerelméleti problémák

A vázolt szabályozó rendszer gyakorlati bevezetésének számos szaktudományi akadálya van jelenleg. Ezek az akadályok elsősorban a vízminőségi változások térbeli /vizfolyáson és tározón



belüli/ leírásának, az egyes vízminőségi hatások jellemzésének hiányára vezethetők vissza.

A szaktudományi problémák mellett a rendszerelméleti megfogalmazás problémái is akadályozzák a gyakorlati bevezetést. Az egyes alrendszerek matematikai jellemzésénél - és egyben az összetett szabályozási rendszer szabályozási feladatának megoldásánál - az időben változó késleltetés figyelembe vétele jelenti az egyik legnagyobb problémát. Ennek szemléltetésére célszerű egy tározóba folyó szennyezési hullám hatását említeni: a tározóba folyt szennyezés a tározóban a belépéskor lévő vízmennyiségtől függő késleltetés mellett fog a tározóból távozni. A késleltetési idő tehát e rendszer-nél nem állandó: a mindenkori tározott víz mennyiségétől, az pedig a mennyiségi lefolyás időbeni folyamata alakulásától függ. Hasonló a probléma a vízfolyásszakaszoknál is, ahol a víz terjedése - a lefolyás fizikai jellemzői /pl. vízmennyiség, benőttség stb./ lényegesen változnak.

A késleltetés hatása a szabályozási stratégia kialakításánál is nehézségeket okoz. A felső tározóknál tett beavatkozás /vezérlés/ célja az A és B szelvényekben igényelt vízmennyiség és vízminőség biztosítása. Ennek ellenőrzésére azonban csak a beavatkozás hatásának B szelvénybeli regisztrálása után - tehát T idő késleltetés után kerülhet sor, ekkor kerülhet csak sor a beavatkozás korrigálására, melynek ellenőrzésére újabb T idő elteltével kerülhet sor. A "szabályozási mintaterület" rendszerénél az átlegos késleltetés mintegy 10 óra, míg a vízhozamváltozások és vízminőségváltozások óránkénti diszkrét értékekkel jellemezhetők.

### Összefoglalás

A Zagyva-Tarna vízrendszerében kialakítás alatt lévő komplex vízgazdálkodási rendszer kialakítása a rendszerszem-

léletű megközelítés, a rendszerelmélet eddigi eredményei nélkül nem volt elképzelhető. A Zagyva rendszeri feladatok esettanulmány szintű bemutatásával a rendszerelmélet gyakorlati alkalmazására kívántunk példát mutatni, utalva egyben azokra a problémákra, melyek a közeljövő feladatmegoldásainak jelenlegi akadályai.

#### HIVATKOZOTT IRODALOM

- 1 SALAMIN A . - BECK M.B.: Some Control Problems in the Management of a Hungarian River Basin. University of Cambridge, Department of Engineering, CAMS/76/6b. 1976.
- 2 SALAMIN A.: Some Remarks to Z. Kos's Report on "Purposeful Transformation of River Flow Conditions by Reservoirs in Water Resources Systems". Water Resources Systems. Hradec Králove. Csehszlovákia, 1976.
- 3 SALAMIN A.: Avtomatizirovannoje reguliro anije poverhnoszt-nüh vodnüh reszurszov na vodoszbove Zagyva i Tarna. Konferencia. Rostov na Donu. 1977. Szovjetunió.
- 4 SALAMIN A.: Komplex hasznosítású tározórendszerek tervezése és üzemelése. Vizügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató, 103 sz. 1979.
5. SALAMIN A.: Árvizi előrejelzés. Zagyva-Tarna Vizgazdálkodási Szabályozó Rendszer sorozat /szerkeszti:Radványi R./ 4 a-b füzet, 1978. KÖVIZIG.

Játékelméleti modell a regionális bányászati  
fejlesztés, vizgazdálkodás és környezetvédelem  
együttes figyelembevételére

Dr.Szidarovszky Ferenc<sup>1/</sup>, Dr.Bogárdi István<sup>2/</sup>,  
Dr.Schmieder Antal<sup>2/</sup>

1. A probléma felvetése

A térségben megnyitni tervezett bányák mindegyike vízveszélyes. A legfőbb veszélyt a nyersanyag telepek fekéjében lévő nagy-kiterjedésű karsztos víztároló, az ún. főkarsztvíztároló jelenti. A bányavíz elleni védelmi módszerek célszerű kombinációival hatékony védekezés létesíthető mindhárom legfontosabb bányára. A hatékonyság egyrészt a védelembefektetett költségektől, másrészt a kiemelt vízmennyiségtől függ. A költségek befektetésével, megtartva a védelem hatékonyságát, a fakasztható vízmennyiség is csökkenthető.

A védekezés hatékonyságának növelésével egyszersmint a bányászati termelés költségei is jelentősen csökkennek. A csökkenés egyrészt abból ered, hogy a vízbetörések veszélyét elhárítva olcsóbb, termelékenyebb bányászati módszerek alkalmazhatók, másrészt elmaradhatnak a vízbetörések által előidézett üzemszavarok költségei.

Az eocén bányák termelési programját hazánk energiaigényének növekedése szabja meg, és így az előírt termelést a további

1/ Kertészeti Egyetem, Számítástechnikai Tanszék, Budapest,  
XI.Ménesi-út 44.

2/ Központi Bányászati Fejlesztési Intézet, 1037 Budapest,  
Mikoviny-u.2-4.

vizsgálatokban adottnak tekintjük. Ugyancsak első közelítésben adottnak tekintjük a tervezett bányászati technológiát, kitermelési rendszert és ehhez keressük a legcélszerűbb vízvédelmi alrendszert. A valóságban a vízvédelem, mint alrendszer visszahat a bányászati technológiára és a legcélszerűbb együttes rendszert kell kialakítani.

A három új eocén bánya tervezett vízvédelmi rendszerére jellemző, hogy a környezetvédelmi követelményeknek megfelelő vízhozamkorlátozást, a termelő műveletek vízbetörés elleni védelmét, továbbá a bányavíz hasznosítását egyaránt lehetővé tevő megoldást kell keresni. Ez csak különböző módszerek kombinációjával valósítható meg mégpedig úgy, hogy egy-egy célra, pl. a vízhozam korlátozására több, önmagában hatásos módszer kombinációja adja a kívánt teljesítőképességet a szükséges megbízhatósággal.

A bányászat gazdasági célja, hogy maximális eredményt, vagyis nyereséget biztosítson az egyes időpontokban, vagy a teljes élettartam alatt. Amennyiben rögzített az évi termelés mennyisége és a bányászati technológia, akkor a maximális eredmény célja megfelel esetünkben a lehető legkisebb vízzel kapcsolatos költségeknek. Tehát a bányászati cél olyan vízvédelmi alternatíva megvalósítása az egyes bányában, hogy összességben a vízzel kapcsolatos költségek minimumok legyenek. A legkisebb költséget, mint említettük, tekinthetjük egyes időpontokban, mint pl. a termelés felfutási időpontja, de figyelembe vehetjük a bányák működésének teljes időszakát. Az ebben a tanulmányban ismertetett és alkalmazott modell statikusnak tekinthető abból a szempontból, hogy egyetlen időpontot vizsgál.

A regionális vízellátás vizsgálatánál abból indulunk ki, hogy az ivóvíz igények legcélszerűbb kielégítési módja a karsztvízből való vízkivétel. A felszíni víz hasznosítása ivóvíz céljára

a térségben megengedhetetlenül gazdaságtalan. Ugyanakkor az ipari vízellátásra figyelembe kell venni a felszíni vizeket, pl. a Duna víz átvezetését a bioskei erőmű hűtésére. A vizsgált körzetekben jelentkező ivóvíz igényeket a karsztvíz felhasználásával többféle forrásból elégíthetjük ki. A lehetséges források egyik csoportja a három eocén bánya, míg a másik csoportja a meglévő, de az idők folyamán kimerülő bányák vízkivételi művének bővítése, vagy meglévő vízművek bővítése. Bár a térségben igen nagyszámú lehetséges forráshely sorolható ehhez a második forráscsoporthoz, vizsgálatunk szempontjából összesen hat lehetséges forráshelyet különböztetünk meg.

Az egyes forráshelyeken attól függően, hogy melyik csoportba tartoznak, felmerül a vízkivétel beruházási és üzemköltsége, továbbá a tisztítási és szállítási költség az egyes igényhelyekre. Természetesen a három eocén bánya esetében külön vízkivételi költség nem merül fel, mert ennek költségét a bányászati fejlesztésnél vesszük figyelembe.

A regionális vízellátás célja nyilvánvalóan az, hogy a víz-igényeket a lehető legkisebb költséggel elégítsék ki. Az ehhez a célhoz tartozó optimális megoldást megállapíthatjuk egy időpont figyelembe vételével, mint ahogy korábban a Borsod-Mátra térségében hasonló vizsgálatot végeztünk /VIKÖZ, 1976, 1977/, de meghatározható egy hosszabb időhorizont összességére is a legcélszerűbb fejlesztési stratégia /Bogárdi és Szidarovszky, 1978/. Megemlítjük, hogy a Dunántúli-Középhegységben a regionális vízellátás optimális fejlesztésére a fenti alapokon nyugvó, de részletesebb modell is rendelkezésre áll /Horváti és Geszlerné, 1978/.

A Dunántúli-Középhegység főkarsztvíz tárolója egyúttal a világhírű budapesti hévforrások természetes tápterülete. Mintegy 30 m<sup>3</sup>/perc langyos és melegvízmennyiséget használnak je-

lenleg a természetes forrásokból és a mélyfúrású kutakból táplálkozó budapesti gyógy- és termálfürdők. A fürdők ellátását biztosító kutak és források eredeti vízminőségének megóvása a környezetvédelem alapvető célja, amely a tervezett bányászati fejlesztés egyik előfeltétele.

A bányák viz elleni védelmét szolgáló beavatkozások a felszín alatti vízrendszerekben természetesen máshol is kiváltnak, mint ahogy eddig is kiváltottak kisebb-nagyobb károkat a karsztvízszint süllyedése miatt /Láng, 1975/. E károk azonban pótolhatók más műszaki megoldásokkal is. Helyi vízműveket tápláló kutak, források elapadásából eredő vízellátási zavarok még a bekövetkezést megelőzősen kivédhetők, ha az érintett vízszállító, vízellátó rendszereket bekapcsoljuk a bányavizekből táplált regionális vízellátó rendszerekbe. A magyar bányászat a dél-Bakony térségében is ezt a gyakorlatot követte. Ugyanakkor felszín vízfolyások károsodásával nagyobb mértékben nem kell számolni, mert a kiemelt bányavíz nem szennyező és legfeljebb abban az esetben van szükség felszíni vízfolyások rendezésére, ha a bányák által kiemelt vizet nem egy vízellátórendszerbe, hanem felszíni készletekbe vezetjük vissza.

Felmerül tehát a kérdés, hogy a környezetvédelemnek milyen lehetséges alternatívái vannak. Az egyik alternatíva a bányászati és egyéb vízkivételek, tehát a karsztvíz megcsapolás olyan mértékű szabályozása, hogy Budapest felé, a hévizek számára, a medence peremén leadott vízmennyiség a jövőben sem legyen kisebb, mint 30 m<sup>3</sup>/perc. További alternatíva azonban az is, hogy célul tűzve ki a 30 m<sup>3</sup>/perc szükséges vízutánpótlódást, az esetleg nagyobb mértékű bányászati és egyéb megcsapolások hatását azáltal kompenzáljuk, hogy célszerű helyen bizonyos mennyiségű vizet táplálunk vissza a karsztvíz tárolóba. Így

függetlenül a más helyen kivett vízmennyiségtől, a mesterséges visszatáplálás révén fenntarthatjuk a hévizek megfelelő mennyiségéhez szükséges nyomásszintet a medencék peremén. Amennyiben a hévizek hőmérsékleti és vízkémiai viszonyait tekintjük, akkor már nem elsősorban a nyomásviszonyok dominálnak, hanem a hévizforrások térségébe eljutó tényleges víz. A vízkivételi, beszivárgási, ill. mesterséges visszatáplálási helytől a hévizforrások olyan távolságban vannak, hogy a vízrézecsckének e távolság megtételéhez nagyságrendileg többszörös idő szükséges, mint amennyi a tervezett bányák élettartama, azaz a karsztvíz rendszerbe való beavatkozás időszaka. Bár a karsztvíz rendszer vizminőségi és hőmérsékleti elemzésével külön kutatásokat végzünk, előzetesen feltehetjük, hogy a szükséges utánpótlódó vízmennyiség biztosításával, a legfontosabb környezeti veszély csökkenthető, ill. kiküszöbölhető.

Az előzőekben a karsztvíztárolóval kapcsolatos három lényeges szempontot ismertettünk. Látható, hogy a bányászati fejlesztés, regionális vízgazdálkodás és a környezetvédelem célja bizonyos mértékben különböző és nem vonható össze egyetlen céllá. A bányászati cél ugyanis maximális gazdasági eredmény biztosítása, a regionális vízgazdálkodási cél az igények minimális költséggel való kielégítése, míg a környezetvédelem célja a budapesti hévizek minél kisebb mértékű károsítása. Látható, hogy az egyes célok mértékegysége sem ugyanaz, hiszen a budapesti héviz utánpótlódásához szükséges vízmennyiséget közvetlenül nem tudjuk és nem is szabad pénzben kifejezni.

Ennek alapján nyilvánvaló, hogy a karsztvízzel való gazdálkodás együttes optimuma nem létezik, külön-külön mindhárom szempontnak megfelelően megállapíthatjuk az optimális beavatkozást, de az - mint említettük - a másik két szempont céljait nem fogja kielégíteni. Ezért törekszünk a lehető legcélszerűbb kompromisszumos megoldás, hasznosítási mód megállapítására és ehhez célszerűen a többcélú programozás módszereit alkalmazhatjuk. A kö-

vetkező fejezetben ezért összefoglaljuk a többcélú elemzés alapjait és ebből következik majd, hogy ezek a módszerek feladatunk megoldására megfelelőnek látszanak.

## 2. A matematikai modell

A vizsgált rendszer működésének leírását a karsztviztárolóban a vízmozgás számítása jelenti. A modell inputja: a természetes beszivárgás a csapadékból, a bányászati és vízellátási megcsapolások, valamint az esetleges mesterséges visszatáplálás. A modell outputja a térben és időben változó karsztvízszint, ill. a rendszert elhagyó vízmennyiség, pl. a budapesti hévizek utánpótlódása. A rendszermodell algoritmus a fizikai jelenséget leíró nempermanens vízmozgás parciális differenciál egyenletének numerikus megoldásán alapul. A véges különbségekkel működő szimulációs algoritmust a gyakorlatban folyamatosan alkalmazzuk és pontosságát folyamatosan javítjuk /Szilágyi, 1977/.

Mint rámutattunk, feladatunk szempontjából elsősorban a rendszert elhagyó vízmennyiség nagysága érdekes, amely a budapesti hévizforrások számára biztosítja az utánpótlódást. Ez a  $q$  vízhozam - amennyiben a csapadékból történő beszivárgás ismeretes - az alábbi függvénykapcsolattal jellemezhető:

$$q = h(\underline{x}, \underline{y}, \underline{v}) \quad /1/$$

ahol:  $\underline{x}$  a bányászati megcsapolások hozamaiból,

$\underline{y}$  a vízellátás céljára szolgáló vízkivételek mennyiségekből

$\underline{v}$  pedig a mesterséges visszatáplálások mennyiségeiből alkotott vektor.

A továbbiakban figyelembe vesszük a vizsgált eocén bányákat, a további vízkivételi lehetőségeket, valamint két lehetséges visszatáplálási helyet. Ekkor



$$\underline{x} = /x_1, x_2, x_3/$$

$$\underline{y} = /y_4, y_5, y_6/$$

$$\underline{v} = /v_1, v_2/$$

A következő lépésben szimuláljuk véletlen kiválasztással  $\underline{x}$ ,  $\underline{y}$ ,  $\underline{v}$  értékeit, ezek kombinációit alakítjuk ki és külön-külön mindegyik esetre a szimulációs módszer segítségével számítógéppel meghatározzuk a Budapest felé leadott  $q$  vízhozamot. A számított értékekre, valamint az input adatokra többváltozós regressziós függvényt illesztünk, amelyre végeredményben az alábbi konkrét alakot kaptuk:

$$y = 30,5 - 0,021 y_1 - 0,014 x_2 - 0,014 x_3 - 0,006 y_4 - \\ - 0,0021 y_5 - 0,0042 y_6 + 0,07 v_1 + 0,14 v_2 \quad /2/$$

A regressziós egyenlet illeszkedése egyébként igen jó, mert a négyzetes középhiba:  $\pm 200 \text{ m}^3/\text{nap}$ .

A /2/ egyenlet alapján tehát ezután már nem szükséges minden esetben külön futtatni a teljes számológépes szimulációs megoldást, hanem tetszőleges vízkivételi és visszatáplálási kombináció esetén tudjuk - a szimulációs megoldással gyakorlatilag azonos pontossággal számítani a Budapest felé leadott vízhozamot.

Térjünk rá ezután a feladat célfüggvényeinek és feltételrendszerének ismertetésére.

### Bányászati cél

Irjuk fel először az eocén bányák vízzel kapcsolatos célfüggvényeit. Legyen

$x_1$ : döntési változó az  $i$  bányából való vízkivétel hozama /az összes vízmennyiséget a továbbiakban  $\text{m}^3/\text{perc}$  dimenzióban mérjük/;

- $xL_i$ : döntési változó a műveletekben fakadó vizbetörések hozama az  $i$  bányában;  
 $xD_i$ : döntési változó az instantán védekezés vágataiban és furataiban fakadó vízhozam az  $i$  bányában;  
 $xG_i$ : döntési változó, az  $i$  bányából a  $k$  mesterséges visszatáplálási helyre vezetett vízhozam;  
 $n=n_1+n_2$ : az  $n_1$  bányák, ill. az  $n_2$  egyéb vízkivételi helyek száma;  
 $r$ : a mesterséges visszatáplálási helyek száma;  
 $b_i/x_i$ :  $x_i$  vízkivétel évi költsége /beruházás és üzem/ az  $i$  bányánál;  
 $v_{ik}$ :  $i$ -edik bányából  $k$ -edik visszatáplálási helyre juttatott vízmennyiség;  
 $B_{ik}/v_{ik}$ : ennek költsége;  
 $L_i/xL_i$ : az  $xL_i$  vizbetörések következtében fellépő gazdasági veszteség éves értéke az  $i$  bányában;  
 $d_i/xD_i$ : a kombinált védekezés évi összköltsége /beruházás és üzem/;  
 $\xi_i/xG_i$ : a tömités évi összköltsége /beruházás és üzem/.

A fenti jelölésekkel a bánya költségfüggvénye az alábbió

$$f_{1i} = b_i (x_i) + L_i (xL_i) + d_i (xD_i) + \xi_i (xG_i) + \sum_{i=1}^r B_{ik}(v_{ik})$$

/3/

A fenti általános költségfüggvény esetünkben egyszerűbb, mivel fajlagos költségek állnak rendelkezésre és így lineáris költségfüggvénnyel dolgozunk:

$$f_{1i} = b_i x_i + L_i \cdot xL_i + d_i \cdot xD_i = \xi_i \cdot xG_i + \sum_{i=1}^r b_{ik} v_{ik} \quad /4/$$

Az eocén bányászat vízzel kapcsolatos gazdasági célfüggvénye nyilván:  $\min f_1 = \sum f_{1i}$ . Esetünkben  $n_1 = 3$ , a figyelembe vett mesterséges visszatáplálási helyek száma,  $r = 2$ .

A bányászati célfüggvények esetén három fajta feltételi egyenletnek kell kielégülnie mindegyik bányára.

a./ A bányából kivett  $x_i$  vízhozam összetevődik a fejtésekben megjelenő  $xL_i$  és az instantán védekezés rendszerében megjelenő  $xD_i$  vízhozamból:

$$xL_i + xD_i = x_i$$

b./ A bányavíz összhozama,  $A_i$  összetevődik a kivett vízmennyiségből  $x_i$  és az eltömített vízbetörések,  $xG_i$  hozamából:

$$x_i + xG_i = A_i$$

c./ Az egyes bányákból a lehetséges visszatáplálási hozam nem lehet nagyobb, mint a kivett vízhozam:

$$\sum_{k=1}^r v_{ik} \leq x_i$$

#### Vizellátási cél

A regionális vízgazdálkodás célja a vizigények minimális költséggel való kielégítése.

A fentiek alapján a vizellátási cél az alábbiakban fejezhető ki:

$$\min f_2 = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{ij} / y_{ij} \quad /5/$$

ahol:  $j = 1, 2, \dots, m$  a vizigény helyek, esetünkben  $m = 7$ ;  
 $y_{ij}$ : döntési változó az  $i$  bányából, vagy más vízkivételi helyről a  $j$  vizigény helyre szállított vízhozam;  
 $s_{ij}$ : a vizellátás évi költsége /beruházás, üzem, vízkezelés és szállítás/.

A bányászati célhoz hasonlóan, a vizellátási célfüggvény is lineáris és így fajlagos költségadatokkal számolunk.

A vizellátási célnál az alábbi két további feltételi egyenletet kell figyelembe venni:

d./ Az igényeket mindenütt ki kell elégíteni:

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} = d_j;$$

tehát az összes  $m = 7$  igényhelyre a lehetséges vízkivételi helyekről szállított vízhozamok összege érje el a vizigény értékét.

e./ Az egyes bányáknál a vizellátásra hasznosított vízhozam és a visszatáplált vízhozam összege ne legyen nagyobb, mint a kiemelt bányavíz hozama:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} + \sum_{k=1}^r v_{ik} \leq x_i$$

Vegyük észre, hogy a c./ feltételi egyenlet bennfoglaltatik az e/-ben, tehát azt külön nem kell szerepeltetnünk.

### Környezetvédelmi cél

A környezetvédelmi cél akkor teljesül, ha a vízkivételek és visszatáplálások eredményeképpen a budapesti hévizek felé leadott vízhozam lehetőség szerint minél inkább megközelíti a jelenlegi  $30 \text{ m}^3/\text{perc}$  értéket. Ezt a célt két lépésben fejthetjük ki, egyrészt maximalizáljuk a Budapest felé leadott  $q$  vízhozamot, másodszer előírjuk, hogy ennek az  $f_3$  maximalizáló célfüggvények értéke ne legyen nagyobb, mint a jelenlegi  $30 \text{ m}^3/\text{perc}$ . Így

$$\max f_3 = \max/q \ / \underline{x}, \underline{y}, \underline{v} /$$

/6/

A  $q$  függvény most tehát a /2/ lineáris regressziós egyenletet jelenti. A szükséges további feltétel:

$$f_1 / f_3 \leq q_0 \quad /q_0 = 30 \text{ m}^3/\text{perc}/ \quad /7/$$

Ily módon lineáris feltételrendszerrel bíró, lineáris cél-függvényekkel rendelkező többcélú programozási feladatot nyertünk, amely megoldására az irodalomban szereplő több ismert módszer közül is választhatunk /Zeleny, 1973, Stadler, 1976, Mac Crinon, 1973/. Ebben a tanulmányban feladatunk megoldására egy, nemzetközi irodalomban is újszerű játékelméleti módszert ismertetünk /Szidarovszky, 1978/.

### 3. A megoldási módszer leírása

Mint majd látni fogjuk, ézzel a módszerrel a feladat egyetlen Pareto-optimális megoldásához jutunk. Általában ugyanis végtelen számú Pareto-optimum létezik és csupán néhány módszer segítségével tudunk ezek közül olyat kiválasztani, amely bizonyos megfelelő feltételeket is kielégít. A következőkben javasolt megoldás egy ilyen Pareto optimális megoldást állít elő.

Tekintsük az alábbi többcélú elemzési feladatot:

$$\begin{array}{l} \underline{u} \in H \\ f_i(\underline{u}) \rightarrow \max \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{array} \quad /8/$$

Konkrét esetünkben  $n=3$ , bányászati, vizgazdálkodási és környezetvédelmi cél. Tekintsük továbbá a feltételi egyenletek által definiált halmazt:

$$L = \{ \underline{f} \mid \underline{f} = f_1(\underline{u}), \dots, f_n(\underline{u}), \quad \underline{u} \in H \} \quad /9/$$

amely zárt, korlátos és konvex. Feltételezzük továbbá, hogy van egy olyan  $\underline{f}^* \in L$  vektor, amely a feladat ún. "status quo" pontjának nevezünk. Belátható, hogy a döntéshozó pre-

ferencia szerkezete az  $f^*$  megválasztásában tükröződik. Például az  $f^*$  pont jelentheti az elképzelhető legkedvezőtlenebb megoldást, majd ezután a játékelméleti módszer segítségével olyan Pareto-optimumot állapíthatunk meg, amely lehetséges és az  $f^*$  ponttól a lehető legtávolabb van. A  $\Psi / L, \underline{f}^* /$  kooperatív megoldást az alábbi axiómák definiálják:

a/  $D(\Psi) = \{(L, \underline{f}^*) \mid L \subset \mathbb{R}^n \text{ zárt, korlátos, konvex; } \underline{f}^* \in \mathbb{R}^n \text{ és van olyan } \underline{f} \in L, \text{ hogy } \underline{f} \gg \underline{f}^*\}$ ;  $R(\Psi) \subset \mathbb{R}^n$ , ahol  $D$  az értelmezési tartomány,  $R$  pedig az értékészlet jele.

Az a/ axióma szerint a lehetséges célfüggvény értékeknek bizonyos olyan tulajdonságoknak kell majd eleget tenniük, amely az optimum létezését biztosítja.

b/  $\Psi(L, \underline{f}^*) \subset L$ ;

c/  $\underline{f}(L, \underline{f}^*) \gg \underline{f}^*$ ;

A b/ axióma szerint  $\Psi(L, \underline{f}^*)$  egy lehetséges megoldás, amely a c/ axióma szerint legalább akkora eredményt biztosít minden játékos számára, mint a "status quo" pont választása.

d/ ha  $\underline{f} \in L$  és  $\underline{f} \geq \Psi(L, \underline{f}^*)$ , akkor  $\underline{f} = \Psi(L, \underline{f}^*)$ ;

Tehát  $\Psi(L, \underline{f}^*)$  Pareto-optimum, vagyis nincs nála minden célban egyenletesen jobb megoldás

e/ ha  $L_1 \subset L$  és  $\Psi(L, \underline{f}^*) \in L_1$ , akkor  $\Psi(L, \underline{f}^*) = \Psi(L_1, \underline{f}^*)$ ;

Ez az axióma azt jelenti, hogy a kedvezőtlen alternatívák elhagyásával az optimális megoldás ne változzék.

f/ ha  $\Psi(L, \underline{f}^*) = (\psi_1, \dots, \psi_n)$  és az  $\alpha_k > 0$  állandókra és tetszőleges  $\beta_k$ , értékre  $\underline{f}^* = (\alpha_1 f_1^* + \beta_1, \dots, \alpha_n f_n^* + \beta_n)$

ahol  $\underline{f}^* = (f_1, \dots, f_n)$ ,  $L' = \{(\alpha_1 f_1 + \beta_1, \dots, \alpha_n f_n + \beta_n) \mid (f_1, \dots, f_n) \in L\}$ .

$$\text{akkor } \Psi(L', \underline{f}^{\#}) = (\alpha_1 \Psi_1 + \beta_1, \dots, \alpha_n \Psi_n + \beta_n)$$

Tehát a megoldás nem függ növekedő lineáris transzformációktól.

g/ ha van olyan  $i \neq j$ , hogy  $\underline{f} = (f_1, \dots, f_n) \in L$  akkor és csak akkor, ha  $\tilde{\underline{f}} = (\tilde{f}_1, \dots, \tilde{f}_n) \in L$  ( $\tilde{f}_k = f_k, k \neq i, k \neq j, f_i = \tilde{f}_j, f_j = \tilde{f}_i$ , és az  $\underline{f}^{\#} = (f_1^{\#}, \dots, f_n^{\#})$  vektor kielégíti az  $f_i^{\#} = f_j^{\#}$  feltételt, akkor  $\Psi_i = \Psi_j$ , ahol  $\Psi(L, \underline{f}^{\#}) = (\Psi_1, \dots, \Psi_n)$ .

Ez az utolsó axioma az  $i$  és  $j$  célok közötti felcserélhetőség lehetőségét írja elő. Más szavakkal ez azt jelenti, hogy ha az  $i$  és  $j$  célok felcserélhetők, akkor az optimális értékeik is azonosak legyenek.

A fenti axiómák fennállása esetén igazolható /Szidarovszky, 1978/, hogy egyetlen kooperatív megoldás létezik, amely az alábbi nem lineáris programozási feladat numerikus megoldásával állítható elő.

Legyen  $r \geq 0$ , az a legnagyobb egész szám, amelynél van olyan  $\underline{f} = (f_1, \dots, f_n)$  vektor, amelynek tulajdonsága:  $f_i > f_{i_k}^{\#} / k = 1, 2, \dots, r$ . A programozási feladat ekkor a következő alakú:

$$\begin{aligned} \underline{f} &\in L \\ \underline{f} &\geq \underline{f}^{\#} \\ g(\underline{f}) &= g(u_1, \dots, u_r) = \prod_{k=1}^r (u_k - f_{i_k}^{\#}) \rightarrow \max, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ahol } (\underline{f}) &= (f_1, \dots, f_n), f_{i_k} = u_k, (1 \leq k \leq r), \\ f_j &= f_j^{\#}, (j \neq i_k, 1 \leq k \leq r). \end{aligned} \quad /10/$$

A feladat az  $\underline{f}^{\#}$ -től legtávolabbi lehetséges megoldás megkeresését jelenti, ahol a távolságot az  $i_1, i_2, \dots, i_r$  koordinátákra leszűkített geometriai távolság jelenti.

Problémánk megoldása tehát nemlineáris programozási feladat megoldását igényli, amely<sup>28</sup> közelítő módszerek állnak rendelkezésünkre. Megjegyezzük, hogy ha a célfüggvény logaritmusát képezzük, akkor a feladat un. konvex programozási problémára redukálódik, amely megoldására a szokásos gradiens-típusú eljárásokat jól alkalmazhatjuk /Forgó, 1978, Krekó, 1972/.

### Irodalom

- Bogárdi I. és Szidarovszky F.: A Hajdúhátsági Többcélú Vizgazdálkodási Rendszer kiépítésének gazdaságilag indokolt ütemezése. Műszaki Tudomány: 1978.
- Forgó F.: Nemkonvex és diszkrét programozás. Közg. és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- Horkai A., Geszler Ö.-né; 1978. Az eocén szénbányák által vizügyi szempontból érintett térség vízellátási rendszer modellje/"Rendszerellenzés alkalmazása a vizgazdálkodásban" c. konferencia Budapest, 1978/.
- Krekó B.: Optimumszámítás /Nemlineáris programozás/. Közg. és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- Láng, S.: Karsztvízforgalom és karsztvízháztartás a Dunántúlon, Földrajzi Közlemények, 3-4 szám 1975.
- MacCrimmon, K.R., An Overview of Multiple Objective Decision Making, in Multiple Criteria Decision Making, J.Cochrane and M.Zeleny, eds., University of South Carolina Press, Columbia, 1973, pp. 18-44.
- Stadler, W.: Sufficient Conditions for Preference Optimality, In Multi-criteria Decision Making and Differential Games, Edited by b. Leitmann. Plenum Press, New York, 1976.
- Szidarovszky F.: Játékelmélet. ELTE. TTK jegyzet, Budapest, 1977.
- Szilágyi G./1977/: A Dunántúli-Középhegység főkarsztvíz tárolójának szimulációja /1977-es állapot/ BKI kutatási jelentés 13-18/77.



VIKÖZ: Az észak-kelet Dunántúl távlati ivóvíz igényei.  
Tájékoztató anyag, 1978.

VIKÖZ 1976, 1977: Borsod-Mátra térségi vízgazdálkodás fejlesztése, Tanulmány, témafelelős: Ruzs Ervinné

Zeleny, M., Compromise Programming, in Multiple Criteria Decision Making, J.L. Cochrane and M. Zeleny /eds/, University of South Carolina Press, Columbia, 1973, pp. 262-301.

Több céltényezőes rendszermodell alkalmazása a Balaton eutrofizálódásának csökkentéséhez

Dr. Bogárdi István<sup>1</sup>, Dr. Dávid László<sup>2</sup>,  
Dr. Lucien Duckstein<sup>3</sup>

1. Bevezetés

A tanulmány célja bemutatni, hogy a Balaton eutrofizálódásának csökkentéséhez a foszfor terhelés szabályozása hogyan fogalmazható meg a költség-hatékonyság eljáráson alapuló többcéltényezőes rendszermodellel. A kutatási munka jelenleg is folyamatban van, így bár bizonyos részeinél számszerű eredményeket közlünk, alapvetően a modell és a megoldás megfogalmazását mutatjuk be.

Ismeretes, hogy az utóbbi időben meggyorsult a Balaton eutrofizálódása [1,2]. Ennek legfontosabb kiváltó tényezője a növényi tápanyagok, elsősorban a foszfor és nitrogén terhelés növekedése. A növényi tápanyag terhelés növekedése ugyanakkor összefügg az üdülő forgalom növekedésével, a mezőgazdasági kímizálásával és számos más tényezővel, lényegében a vízgyűjtő-fejlesztéssel [3]. A Balatonba jutó növényi tápanyag jelentős része, becslések szerint mintegy 50 %-a nem pontos forrásból származik [4]. A foszfor, mint növényi tápanyag kétféle módon kapcsolódik az eutrofizálódáshoz:

- 
- 1/ A BEM munkacsoport tagja, Központi Bányászati Fejlesztési Intézet, Budapest, 1037 Mikoviny-u.2-4.
  - 2/ A BEM munkacsoport tagja, Országos Vízügyi Hivatal, 1011 Budapest, Fő-u.48-50.
  - 3/ Vendégkutató, IIASA. Laxenburg, Ausztria

- a felszíni lefolyásban oldott foszfor jelentős része a tóba jutva közvetlenül felhasználható az algák által [5]:
- az erodált talajhoz kötött foszfor bemosódik a tóba, a fenéküledékben tározódik és esetenként a növényzet számára hasznosítható foszfort bocsát ki [6].

Az eutrofizálódás mértékét, amelyet például a teljes <sup>biog</sup>masz-szával jellemezhetünk, tehát egyaránt befolyásolja mindkét foszfor forma. A tóba jutó időszakos /pl. évszakos, éves, vagy sokéves/ terhelés nagyságát számos véletlen jellegű tényező befolyásolja. Ez különösen vonatkozik a nem pontszerű forrásból származó foszforra, amelynek mennyisége olyan stochasztikus jellegű változóktól függ, mint a csapadék mennyisége, időtartama, tartóssága, lefolyás mértéke, tetőző vízhozam, stb. Nem csoda tehát, hogy a mért foszforterhelés és így a biomassza éves értékei nagymértékű változékonyságot mutatnak a vízgyűjtőfejlődés során.

A foszforterhelés változékonyságát kifejező sűrűségfüggvény becslésére stochasztikus modell áll rendelkezésünkre. A különböző védekezési beavatkozások révén csökkenteni kívánjuk az eutrofizálódás mértékét és ennek leghatékonyabb eszköze a foszfor terhelés csökkenése. A védekezési beavatkozások módosítják a foszforterhelés sűrűségfüggvényét, amelyet az említett módszer segítségével tetszőleges változatra számíthatunk. A jelen tanulmányban bemutatjuk a költség-hatékonyság elemzés alkalmazását, amelynek segítségével a lehetséges alternatívák közül kiválasztható a foszforterhelés csökkentésének leghatékonyabb módja.

A következő fejezetben először röviden ismertetjük a költség-hatékonyság elemzést, majd megfogalmazzuk ennek megfelelően a többcélű feladatot. Vázoljuk a célrendszer teljesítésére alkalmas lehetséges elemi tevékenységekből felépülő

alternatívákat és ezek összehasonlítását. Végül összefoglaljuk a legfontosabb következtetéseket.

## 2. A költség-hatékonyság elemzés bemutatása

A költség-hatékonyság elemzés egyfelől arra irányul, hogy feltárja a költségekben vagy a készlet-szükségletekben jelentkező különbségeket az egy vagy több célt befolyásolni képes különböző alternatívák esetén, másfelől a hatékonyságot és annak hatásait vizsgálja [8,9].

A költség-hatékonyság módszer nem más, mint egy fejlesztési program hatékonyságának és költségeinek összehasonlító vizsgálata valamely más programhoz vagy program változóihoz viszonyítva. Valamely program hatékonysága vagy hasznossága általában a program következményeinek egy halmaza, amelyet a használók szempontjából jelentősek és amelyek mérhetők vagy nem mérhetők. Költséggként a személyek, eszközök, berendezések, anyagok és egyéb tényezők azon számszerűsíthető költségeit vesszük figyelembe, amelyeket felhasználunk a program teljesítéséhez. A több dimenziós "hatékonyság" kifejezés jelzi azt, hogy nem vagyunk képesek minden gazdasági tényezőt számszerűsíthető egységekben kifejezni. E jellemző szempont miatt a költség-hatékonyság vizsgálat úgy tekinthető, mint a műszaki-gazdaságtan kiterjesztése úgy, hogy a költség-jövedelem elemzés a költség-hatékonyság vizsgálatnál kerül kiegészítésre a fejlődés során. A költség-hatékonyság vizsgálatok a költség-jövedelem elemzéstől abban különböznek, hogy 1) bizonyos alapvető célkitűzéseket adottnak tételeznek fel, 2) nem tesznek kísérletet arra, hogy az összes eredményt pénzben fejezzék ki. Továbbá, nem az optimális, azaz zárt matematikai eljárással meghatározható legjobb, hanem a szubjektív-megítéléseken is alapuló legészszzerűbb alternatívát határozzák meg, figyelembe véve a nem számszerűsíthető tényezők hatását.

Az általánosított költség-hatékonyság elemzést először Kazanowski [10] vezette be. A költség-hatékonyság elemzési mód alkalmazása során a módszertant továbbfejlesztették. Ez eredményezte a költség-hatékonyság elemzés azon előnyeit, amelyek a döntéshozatal során hasznos segítséget nyújtanak. Lehetővé teszi ugyanis annak vizsgálatát, hogy a módszer felvételei és logikája hogyan illeszkedik a feltételek kritikájához. Vissza és más természeti kincsrel kapcsolatos problémák terén való alkalmazás esetén a módszer a következő lépésekben foglalható össze [11].

1. A rendszer által kielégítendő vagy közelítendő kívánatos célok megfogalmazása
2. A célok és célkitűzések átalakítása műszaki-gazdasági és környezeti előírások halmazára, amelyek mennyiségi, minőségi vagy szubjektív természetűek is lehetnek, továbbá feltételek és irányelvek meghatározása olyan pontossággal amennyire csak lehetséges.
3. A rendszer értékelésére szolgáló kritériumok megállapítása, amelyek a rendszer kapacitásával összefüggésben alkalmasak az előírások és így a célok teljesítésének értékelésére.
4. Az állandó költség vagy az állandó hatékonyság alkalmazási elvének eldöntése.
5. A célok teljesítésére alkalmas alternatív rendszer kidolgozása, a lehetséges technológiák és intézményi keretek feltételei között.
6. Az alternatív rendszerek teljesítőkétségének vagy lehetséges működési jellemzőinek meghatározása az értékelési kritériumoknak megfelelő formában.
7. Rendszerek jellemzőinek és a kritériumoknak az összehasonlítása.
8. Az alternatív rendszerek előnyeinek elemzése a hatékonyság értékelésére szolgáló kritériumok rangsorolása szerint.
9. Érzékenység vizsgálat készítése minden korábbi lépések esetén, amelyek visszahatnak az eljárásra.

10. Az előző kilenc lépést alátámasztó ésszerű feltételek, elemzések, adatforrások és a választásokat megalapozó döntések dokumentálása.

A továbbiakban alapvetően az elemzés felsorolt lépései szerint végezzük vizsgálatunkat, azonban nem térünk ki minden esetben az egyes lépések szerinti részletezésre, hanem helyenként összevontan ismertetjük az eljárást. A vizsgálatunk elsősorban módszertani jellegű. Ennek megfelelően a figyelembe vett szempontok és a sok esetben közelítően becsült adatok tekintetében vázlatosnak tekinthető. Elsősorban az elemzés lehetőségére kívánjuk felhívni a figyelmet. Az alkalmazás elsősorban kis és közepes vízgyűjtők foszforterhelési viszonyainak elemzésére irányul. Ez azonban, figyelembe véve a nagyobb vízgyűjtők hierarchikus kapcsolatait, megfelelő transzformációval nagyobb vízgyűjtőkre is alkalmazható.

### 3. A feladat megfogalmazása

A fejezet lényegében az eljárás első négy lépésének teljesítését ismerteti.

A többtényezős rendszermodell verbális megfogalmazásban az alábbi célkitűzések teljesítésére irányul:

1. A Balaton eutrofizációjának csökkentése érdekében a vízgyűjtőről származó foszforterhelés csökkentése. E célkitűzés magában foglalja a vízgyűjtőn különböző okokból származó és különböző formájú foszforterhelés szabályozását.
2. A vízgyűjtő vizgazdálkodási feladatai megoldásának elősegítése. A vízgyűjtőn különböző vizgazdálkodási feladatokat is meg kell oldani, amely<sup>ek</sup> a vízgyűjtő saját vizgazdálkodási viszonyainak javítására irányulnak.

3. A természeti erőforrások hatékony hasznosításának biztosítása. A létesítményrendszer kialakításához szükséges természeti erőforrásokat, amelyek a rendszer működéséhez szükségesek, minimális szinten kell tartani.
4. A javasolt rendszer elég rugalmas kell legyen ahhoz, hogy kielégíthesse a jelenleg még nem látható következményeket és kiküszöbölje a feladatmegoldásban rejlő bizonytalanságok /modell, adat, stb./ esetleges nem várt hatásait.

Az előírások és a célok teljesítésének mérésére szolgáló kritériumok, amennyire csak lehetséges, mennyiségileg kell kifejezzék a célokat. Egyes esetekben azonban nem számszerűsíthető kifejezéssel is meg kell elégednünk.

A foszfor terhelés csökkentésének feladatát az 1. ábra szemlélteti. Látható, hogy különböző valószínűséggel várhatunk kisebb-nagyobb terhelést és a valóságnak megfelelően jelentős a terhelés szórása. Az 1. ábra feltünteteti ezenkívül kétféle eutrofizálódás csökkentő beavatkozás hatására várható terhelés sűrűségfüggvényét is. Az elvi példában látható, hogy bár egyaránt csökken a foszforterhelés várható értéke és például a 90 % valószínűséghez tartozó érték, a csökkenés mértéke eltérő. Hasonló a helyzet, ha nem az éves foszforterhelést, hanem például a 15 éves terhelést tekintjük. A beavatkozás hatására most is változik a sűrűségfüggvény, és a hatás ebben az esetben is eltérő, ha a várható értéket tekintjük vagy ha a 90 %-os valószínűséget. Felmerül az alapvető kérdés, hogy az említett négyféle tényező közül melyik tényezővel mérjük, illetve jelenezzük az eutrofizálódás csökkentését. Ha a várható értéket tekintjük, akkor átlagosan, az évek nagy részében törekszünk viszonylag kedvezőbb állapotra, de továbbra is számolnunk kell esetleges rendkívüli algásodással valamelyik évben. Ezzel szemben, ha a szélsőséges valószínűségeket vesszük figyelembe, akkor elkerülhetjük az esetenkénti katasztrófális algásodást,

de rosszabbul járunk az évek átlagában. Hasonló okfejtés fogalmazható meg az éves vagy 15 éves terhelések szempontjából.

További alapvető kérdés: lehetséges-e objektív módon kiválasztani egyetlen terhelési jellemzőt? Véleményünk az az, hogy ez az alapja és szükségessége a töbttényezős modellnek, hogy objektív választás nem lehetséges, hanem a döntéshozó aktuális preferenciája, szubjektív ítélete szabja meg, hogy milyen szempontból kívánja az eutrofizálódást szabályozni. Ez a kérdés azért lényeges, mert ha találunk egy beavatkozási módot, amely az egyik tényező szempontjából a leghatékonyabb, igen könnyen előfordulhat, hogy a másik tényező szempontjából más alternatíva lenne a legmegfelelőbb. A töbttényezős elemzés révén kompromisszumos megoldáshoz juthatunk, tehát tudomásul vesszük azt, hogy nincs egyedül "üdvözítő" optimális megoldás az összes tényező szempontjából, hanem egy ún. satisfactum megoldás [12,13].

A foszforterhelés csökkentését a terhelés sűrűségfüggvényeinek modellezésével mérhetjük a lehetséges alternatíváknak megfelelően. Ennek alapján értékelhetjük e cél mérésekre szolgáló négy felsorolt kritérium helyzetét alternatívánként. A sűrűségfüggvényt a foszforterhelés stochasztikus modelljé alapján határozhatjuk meg. Ez röviden az alábbiakban foglalható össze [14].

A modell segítségével becsülhetjük egy tóba vagy tározóba érkező foszfor mennyiségének sűrűségfüggvényét. A modell működését a 2.ábra szemlélteti. Input adatok: csapadék események mennyisége, időtartama, a köztük eltelt idő, a vízgyűjtő jellemzői /pl. lejtés, művelési ág, talajviszonyok, stb./, a lefolyás számítására szolgáló összefüggés, az eróziót befolyásoló tényező /pl. művelési mód, erózió védelem/, az erózió talajmennyiség számítására szolgáló összefüggés,



valamint a lefolyásban oldott, illetve az erodált talajhoz kötött foszfor töménysége. A szükséges adatok részletes elemzése az irodalomban megtalálható [15]. A modell jelenlegi formájában viszonylag egyszerű összefüggést alkalmaz a lefolyó víztömeg és tetőző vízhozam számítására és az u.n. univerzális talajveszteség egyenletet alkalmazza az erózió becslésére. Jelenleg dolgozunk azon, hogy a modell egyes felsorolt bemenő adatait /foszfor töménységek/ további modellezés révén előzetesen becsüljük, amennyiben észlelési adatok nem állnak rendelkezésre. A bemenő adatok függvényében analitikus úton, u.n. elsőrendű elemzéssel /amikor csupán várható értéket és szórást számolunk/, és szimulációval becsülhetjük a csapadék, lefolyás, illetve eróziós eseményeknek megfelelő foszforterhelés sűrűségfüggvényét. Ezután figyelembe véve a választott időszakon /pl. éven, vagy 15 éven/ belül előforduló események véletlen számát /jó közelítéssel a Poisson eloszlás jellemzi/, az eseményekhez tartozó foszforterhelés összegzésével állítjuk elő a teljes időszak foszfor terhelését. Példaképpen a 3.ábrán a Balaton egyik részvizgyűjtőjére, a Tetves patakra becsült éves oldott foszforterhelés sűrűségfüggvénye látható. Hasonlóan, a 4.ábra ugyanerre a vizgyűjtőre a hordalékhoz kötött foszfor éves mennyiségének sűrűségfüggvényét mutatja. Látható, hogy mindkét esetben jelentős a terhelés szórása és az eloszlás jellegzetesen aszimmetrikus.

A fentiekben ismertetett terhelési modellt közvetlenül csak kis vizgyűjtőkre alkalmazhatjuk, így a Balaton esetén, a Tetvesen kívül még 3-4 részvizgyűjtőre. Nagyobb vizgyűjtőkről /pl. a Zaláról/ származó terhelés megállapítására a modellt úgy kell alkalmazni, hogy az egyes részvizgyűjtőkre külön-külön számítjuk a terhelés véletlen értékeit, majd a fő vízfolyás mentén foszfor mérlegek segítségével jutunk el a területi szelvényben várható és a tőba jutó terhelésre [16].

Felmerül a kérdés, hogy szükséges-e akkor a modell, ha valamely vízgyűjtőn olyan terhelési idősor áll rendelkezésére, amelynek segítségével közvetlenül becsülhetjük a terhelés sűrűségfüggvényét. Amennyiben célunk csupán a jelenlegi helyzet értékelése és nem előrejelzés, illetve döntéselőkészítéshez különböző alternatív beavatkozások elemzése, akkor nincs szükség modellre. A Balaton esetén azonban különösen szükséges a döntéselőkészítő elemzés. Ahhoz pedig, hogy a jövőben megvalósított különböző alternatív beavatkozások esetére is előzetesen becsülhessük a foszforterhelést, mindenképpen a bemutatott modell, vagy ahhoz hasonló megoldás szükséges.

A második célkitűzésünk a vízgyűjtő saját vízgazdálkodási feladatai megoldásának elősegítése. Ezek közül a legfontosabbak az árvizkárelhárítás, a vízszolgáltatás /pl. öntözésre, halastóra az erózióvédelem, a szennyvíztisztítás, az üdülés, stb/. A lefolyásszabályozás segítségével lényegében ezek a részfeladatok kisebb vagy nagyobb mértékben mind elősegíthetők. Ezért e cél teljesítésének mérésére a lefolyásszabályozás mértékét, R-t választhatjuk, amely az alábbi egyszerűsített összefüggéssel - számítható.

$$R = \frac{ST}{VP} \cdot 100 \quad /1/$$

ahol ST - a vízgyűjtőn lévő összes tározókapacitás

VP - a potenciális vízkészlet, azaz a vízgyűjtő sokévi átlagos lefolyása.

Ha a más vízgyűjtőről származó vizinputot kizárjuk, ez a Balaton esetén alapvető feltétel, akkor a R növekedésével egyre jobban tudjuk szolgálni a vízgazdálkodási célkitűzés teljesítését.

A természeti erőforrások szempontjából az elfoglalt földterület valamint a vízkincsset vesszük figyelembe. A vízkincs hatékony hasznosítása a lefolyásszabályozás növelésével fokozható, így az előző célkitűzés kritériumában lényegében figyelembe vételre került. E célkitűzést így az elfoglalt földterület nagyságával mérhetjük és e cél szempontjából az az alternatíva a jobb, amelyik kevesebb földterületet foglal el.

A rugalmassági célkitűzés annak biztosítására irányul, hogy az alternatív rendszerek képesek legyenek kiküszöbölni a fejlesztéssel és a működéssel kapcsolatos különböző bizonytalanságok /pl. az előrejelzésekkel kapcsolatos természetes, az ismeretlen jövőbeli erőforrás elosztási politika következtében jelentkező stratégiai, a költség és veszteségfüggvényekkel kapcsolatos gazdasági, a technikai és a modellbizonytalanságok/ kedvezőtlen hatásait. Ezért a rendszer alkalmazkodó képes kell legyen. E célkitűzés mérésére nem számszerűsített, szubjektív érték-mérést választunk a következő kategóriákkal: rugalmatlan, gyengén rugalmas, rugalmas és nagyon rugalmas. A célkitűzés teljesítése szempontjából a nagyon rugalmas kategória a legkedvezőbb.

Végeredményben a négy célkitűzés teljesítésének értékelését hét céltényező vagy kritérium /éves foszfor várható értéke és 90 %-os valószínűsége, 15 éves foszfor terhelés várható értéke és 90 %-os valószínűsége, a lefolyásszabályozás mértéke, földhasználat, rugalmasság/ szerint végezzük.

A megközelítés módjául az állandó költség elvének alkalmazását választjuk /4.lépés/, mivel - a gyakorlatnak megfelelően - feltételezzük, hogy 15 éves időszakra adott anyagi eszköztömeg /beruházási és üzemköltség/, K áll rendelkezésünkre és ezt kívánjuk a lehető leghatékonyabban felhasználni e kitűzött célok teljesítése érdekében.

4. Az alternatív rendszerek és működési jellemzőiknek meghatározása.

A Fejezet a célkitűzések teljesítésére alkalmas alternatív rendszerek kialakításának elvi jellemzőivel és a céltényezők szerinti teljesítőképességük jellemzésével foglalkozik a költség-hatékonyság eljárás 5. és 6. lépésének megfelelően.

Bar az eutrofizálódást befolyásoló alternatívák száma elvileg végtelen, ez a modell az alternatívák véges számát elemzi az alábbi két ok miatt:

- a./ A Balaton esetén az eddigi vizsgálatok már kijelölték azokat a domináns alternatívákat, amelyeket célszerű elemezni.
- b./ Az eutrofizálódás csökkentés folyamatos stochasztikus szabályozási modellje, nem lineáris költségfüggvényekkel módszertani problémákat jelent, ugyanakkor a szám-szerű eredmények süngősek a döntéshozó számára.

A tápanyag mennyiségét a keletkezési helyen, a vizgyűjtőn való mozgás során, vagy a tóban szabályozhatjuk. Ezzel az utóbbi lehetőséggel ez a modell nem foglalkozik. Láttuk, hogy a terhelés stochasztikus modellje az  $L_1$ , illetve  $L_2$  foszfor mennyiséget /ahol  $L_1$  jelenti az éves oldott,  $L_2$  az éves kötött foszfor mennyiséget, míg  $AL_1$  és  $AL_2$  a hasonló 15 éves mennyiséget/, az alábbi tényezőkfüggvényében számítja:

$$L_1 = \varepsilon_1 / RA, V, A, SO, c_1, L_3 / \quad /2/$$

ahol  $RA$  a csapadék,  $V$  a lefolyt víztömeg,  $A$  a vizgyűjtő területe,  $SO$  a talaj vízvisszatartása,  $c_1$  a lefolyásban oldott foszfor töménysége és  $L_3$  pontszerű forrásból származó foszfor mennyiség.

$$L_2 = g_2 / RA, V, Q, S, Rk, SL, Pr, C, c_2 / \quad /3/$$

ahol az új jelölések a következők:  $Q$  a tetőző vízhozam,  $Rk$  a talaj eróziós tényezője,  $S$  az erózió mennyisége,  $SL$  a lejtési tényező,  $Pr$  a talajvédelmi tényező,  $C$  a mezőgazdasági művelési tényező és  $c_2$  az erodált talajhoz kötött foszfor töménysége.

Célszerűen az oldott és a kötött foszfor mennyiségének alábbi lineáris kombinációját tekinthetjük.

$$(1 - k_1) L_1 + k_2 L_2 \quad \text{és}$$

$$(1 - k_1) AL_1 + k_2 AL_2 \quad /4/$$

ahol  $k_1$  az oldott foszfor átlagos aránya, amely a fenéküledékhez kötődik és  $k_2$  a fenéküledékből felszabaduló foszfor átlagos aránya [5,7].

A befolyásoló tényezők közül néhányat a gyakorlatban nem tudunk befolyásolni; ennek megfelelően az alábbi kifejezések tüntetik fel a szabályozható tényezőket:

$$L_1 = g_1' / V, c_1, L_3' \quad /5/$$

$$L_2 = g_2' / V, Q, S, Pr, C, c_2' \quad /6/$$

$$R = g_3' (ST) \quad /7/$$

$$FH = g_4' (ST, V, L_3, S, Pr) \quad /8/$$

Figyelembe véve a szabályozási tényezőket, az alábbi elemi tevékenységek különböztethetők meg a vizgyűjtőterületen, amelyeket szabályozni, befolyásolni tudunk:

a./ a pontszerű föfásból származó  $L_3$  terhelés szabályozása, pl. harmadfokú szennyvittisztítók építésével vagy szennyvíz-öntözéssel;

- b./ a lefolyás szabályozása a V lefolyó víztömeg és a tetőző vízhozam Q esetén ST tározókapacitás, /árvízi és vízhasznosítási/ létesítése és üzemeltetése segítségével;
- c./ a  $c_1$  és  $c_2$  töménység szabályozása, pl. a műtrágya N/P arányának változtatásával, a műtrágya adagolás idejének és módjának változtatásával;
- d./ a Pr talajvédelmi tényező szabályozása az erózió védelem révén, pl. szintvonalas művelés, terraszok;
- e./ a C mezőgazdasági művelési tényező szabályozása, pl. a művelési ág megváltoztatásával;
- f./ a hordalék S mennyiségének szabályozása, pl. hordalékfogó gátakkal, ülepítő medencékkel.

A felsorolt elemi tevékenységekből, mivel azokat egyidejűleg, különböző mértékben alkalmazzák, kifejlészthetők azok az alternatívák, a vizgyűjtő egy részét vagy egészét lefedő műszaki rendszerek, amelyek képesek a célkitűzések teljesítésére. Ezek a rendszerek lényegében az elemi műszaki tevékenységek különböző kombinációjából épülnek fel.

Mindegyik elemi tevékenységhez becsülhetjük az éves költségeket /beruházás és üzem/:  $C_0$  /a//,  $C_0$  /b//, ...,  $C_0$  /i/ ezután valamely a /j/ alternatíva költsége az alábbi:

$$C_0(j) = \sum_{i=d}^f C_0 /i, j/ \quad /9/$$

Az alternatív rendszerek kidolgozása folyamatban van. Előreláthatóan 8-10. diszkrét alternatívát veszünk majd figyelembe.

A kidolgozott alternatívák különböző mértékben képesek a célkitűzéseket, illetve a céltényezőket teljesíteni. Az al-

ternatívák céltényezők szerinti teljesítőképességét az alábbi két célfüggvénnyel értékeljük:

1./ A foszforterhelés éves várható értéke:

$$/1-k_1/ \int_{-\infty}^{0,5} f_1(L_1) dL_1 + k_2 \int_{-\infty}^{0,5} f_2(L_2) dL_2 \rightarrow \min \quad /10/$$

ahol  $f$  a foszforterhelés sűrűségfüggvénye. Megjegyezzük, hogy a rövid adatsorok miatt célszerű Bayes eloszlást használni az  $f$  függvényekhez [16].

2./ A foszforterhelés éves 90 %-os valószínűsége:

$$/1-k_1/ \int_{-\infty}^{0,9} f_1(L_1) dL_1 + k_2 \int_{-\infty}^{0,9} f_2(L_2) dL_2 \rightarrow \min \quad /11/$$

3./ A 15 éves foszforterhelés várható értéke:

$$/1-k_1/ \int_{-\infty}^{0,5} f_1^*(AL_1) dAL_1 + k_2 \int_{-\infty}^{0,5} f_2^*(AL_2) dAL_2 \rightarrow \min \quad /12/$$

4./ A 15 éves foszforterhelés 90 %-os valószínűsége:

$$/1-k_1/ \int_{-\infty}^{0,9} f_1^*(AL_1) dAL_1 + k_2 \int_{-\infty}^{0,9} f_2^*(AL_2) dAL_2 \rightarrow \min \quad /13/$$

5./ A lefolyásszabályozás mértéke /R/

$$\frac{ST}{VP} \cdot 100 \rightarrow \max \quad /14/$$

6./ Földhasználat

$$FH \rightarrow \min \quad /15/$$

7./ Rugalmasság /RU/

$$RU \rightarrow \max \quad /16/$$

Említetjük, hogy a rendelkezésünkre álló összes pénzmennyiség,  $K$  adott. Így az alábbi feltételt kell betartanunk.

$$\sum_{j=1}^n C_j(j) = K \quad /17/$$

ahol  $n$  jelenti az alternatívák figyelembe vett számát.

Az alternatívák költségei nyilván függenek az  $L_3$ ,  $V$ ,  $Q$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $Pr$ ,  $C$ ,  $S$  szabályozási változóktól.

A /10/ - /13/ célfüggvények számításához ismerni kell az  $f$  súrlásfüggvényeket, amelyeket a stochasztikus terhelési móddal számítunk az /5/ és /6/ elvi összefüggések figyelembevételével.

Az alternatívák és célfüggvény<sup>Y</sup> szerinti teljesítőképességeik ismeretében elkészíthető az alternatívák jellemzőinek kritériumok /céltényezők/ szerinti rendezése, amely alapul szolgál a többtényezős döntéselemzés szerinti választáshoz.

### 5. A legkedvezőbb alternatíva kiválasztása

Az alternatívák és kritériumok szerinti teljesítőképességeik ismeretében kerülhet sor az alternatívák összehasonlítására a legkedvezőbb kiválasztására és hatásainak értékelésére /az eljárás 7-10. lépése/. Ehhez a többtényezős döntéselemzés keretében számos módszer áll rendelkezésre [17]. Ezek közül az ELECTRE eljárás alkalmazását javasoljuk, amelyet már hazai vizsgálatok megoldására, ezekkel kapcsolatos döntések meghozatalára is alkalmaztak [11,12]. A legkedvezőbb alternatíva kiválasztására és az értékelésre ezt az eljárást alkalmazzuk.

### 6. Következtetések, javaslatok

Legfontosabb következtetéseinket, illetve javaslatainkat az alábbiakban foglaljuk össze.

1. Mivel a Balaton eutrofizálódását bonyolult természeti, műszaki, gazdasági és társadalmi tényezők befolyásolják, a védekezés célszerű módjának kiválasztásához nem nélkülözhető a többtényezős rendszerelemzés és döntéselőkészítés.



2. A tanulmányban bemutatott modell különösen három szempontot hangsúlyoz: az egyik a tápanyag terhelés statisztikus jellege, a második az eutrofizálódást jellemző többféle tényező és végül az eutrofizálódás csökkentésére irányuló intézkedéseknek és más vízgazdálkodási célú tevékenységeknek a szoros kapcsolata a vízgyűjtőn. Igyekeztünk rávilágítani, hogy bármelyik fenti tényező elhanyagolása helytelen döntésekhez vezethet.
3. Ugyanakkor tudatában kell lennünk annak is, hogy az eutrofizálódás modellezésében még több-kevesebb "fehér folt" található. Így a számszerű eredményeket megfelelő gondossággal kell értékelni.
4. A több céltényezős költséghatékonyság módszer kidolgozott rendszerének alkalmazása közvetlenül javaslható a Balaton hierarchikus vízgyűjtőrendszerének WS4, WS5, WS6 jelű részvízgyűjtőin. A nagyobb vízgyűjtők hasonló feladatainak megoldásához is alapul szolgálhat, itt azonban a hierarchikus és a vízgyűjtők fejlődési összefüggéseinek megfelelően transzformációval.

#### Irodalom

1. Balatoni Anket, Magyar hidrológiai Társaság kiadványa Keszthely, 1976.
2. Heródeck S. és Tamás G.: A fitoplankton tömege és a Balaton eutrofizálódása, Hidrológiai Közlöny, 1977. 5.sz.
3. Dávid László: Watershed developmant approach to control the eutrophication of shallow lakes. International Conference on Environmental Management of Agricultural Watershed, Smolenice, CSSR, 1979

4. Jolánkai G.: A balatonba ömlő vízfolyások nem-pontszerű szennyezésének vizsgálata.  
VITUKI Összefoglaló Jelentés, 7783/4/25, 1975.
5. Wetzel, R.G.: Limnology, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1975.
6. Oláh I., Tóth E. és Tóth L.: A Balaton foszforháztartása. A Balatoni Vízvédelmi Bizottság, 1977.
7. L.Duckstein and I.Bogárdi: Input for a stochastic Control model of P loading, Ecological Modeling, 4, 1978.
8. Carpenter, P.: Cost-effectiveness as an aid to making decisions in education. P-4517, The Rand Corporation, Santa Monica, California, 1970.
9. Chaemsaitong, K, Duckstein, L, Kisiel, C.C.: Hydrologic and social inputs into a costeffectiveness design of a water resources system, Proceedings, International Association of Hydraulic Research, XV. th Congress, Istanbul, Turkey, 1973.
10. Kazanowski, H.D.: A standardised approach to cost-effectiveness evaluations. Edited by J.Morley, John Wiley Sons, New-York, 1968.
11. Dávid, László-Duckstein, Lucien: Vizgyűjtőfejlesztési alternatívák értékelése költség-hatékonyság elemzéssel. Vízügyi Közlemények, Budapest, 1976/3.
12. Dávid László: Vizgyűjtőfejlesztés, VIZDOK, Budapest, 1978.
13. Bogárdi I., Schmießer A. és Szidarovszky F.: Bányászat, vízellátás és környezetvédelem együttes figyelembe vétele többcélú döntési modellel. Rendszerelvezés alkalmazása a vízgazdálkodásban. Hidr.Társaság, Nov. 1978.
14. Bogárdi István, Szidarovszky Ferenc: Eutrofizálódás csökkentése a Balatonon: többtényezős matematikai modell szerepe. Magyar Hidrológiai Társaság, 1979. évi Vándorgyűlés. Keszthely.
15. I.Bogárdi and L.Duckstein: A stochastic model of Phosphorus loading from non-point sources, Research Memorandum RM-78-33 Int. Institute for Applied Systems Analysis, June, 1978.
16. Bogárdi István: Multicriteria control model of P loading reduction. IIASA Research Report, 1979.
17. Kindler József, Papp Ottó: Komplex rendszerek vizsgálata. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.

A Balaton nyílt vizének és üledékének ökológiai rendszer-  
elemzése

Csáki Péter<sup>1</sup>, Herodek Sándor<sup>2</sup>, Hoffmann György<sup>1</sup>, Kutas  
Tibor<sup>1</sup>, Wittmann Imre<sup>1</sup>

Bevezetés

Az utóbbi években a Balatont is utolérte sok tónak a gazdaságilag fejlettebb országokban már korábban bekövetkezett sorsa, az intenzív eutrofizálódás. Ez a folyamat komolyan veszélyezteti a tó legfontosabb tulajdonságát: a fürdőzésre, üdülésre való alkalmasságát. Ezért sürgetővé vált a megfelelő intézkedések megtervezése és végrehajtása. Ennek felismerése után az első lépések megtörténtek az eutrofizálódási folyamat lassítására. A mindenre kiterjedő és hosszabb távon is helyesnek bizonyuló döntésekhez azonban ismerni kell a Balaton ökológiai rendszerének belső törvényszerűségeit, valamint reakcióit a külső hatásokra.

Sok összefüggés azonban még nem kellően tisztázott, ezért fontos szerepe van a Balaton-kutatásnak, amely az utóbbi években egyre intenzívebbé vált. A kutatás kiterjed - többek között - a Balaton biológiai, kémiai és hidrológiai vizsgálatára, a tápanyagterhelés forrásainak, különösen a nem-pontszerű forrásoknak meghatározására, a növényi tápanyag, különösen a foszfor forgalmának és kémiai átalakulásának vizsgálatára, mind a Bala-

---

1) MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet

2) MTA Biológiai Kutató Intézet

tonban, mind a vizgyűjtőn. A vizsgálatok során a mennyiségi viszonyok feltárása döntően fontos; ehhez sok mérés szükséges, ezért tervszerűen biztosítani kell a megfelelő gyakoriságú és sűrűségű adatgyűjtést.

Ezen túlmenően szükség van az ökoszisztéma rendszerszemléletű vizsgálatára, amelynek során lehetőleg minél több öszszefűzést egyidejűleg veszünk figyelembe. Az ilyen típusú vizsgálat az ökológiai rendszer matematikai modelljének kidolgozását teszi szükségessé.

Az alapprobléma, amelynek következtében a rendszerszemléletű vizsgálatok szükségessé váltak, a következő:

Természetes körülmények között egy ökoszisztémára a tápanyag körforgása jellemző; a szervesanyag-termelés,- fogyasztás és - lebontás többé-kevésbé zárt folyamat. A gazdasági-társadalmi fejlődés, az egyre intenzívebb mezőgazdasági termelés, az egyre nagyobb települések létesítése ezt a körfolyamatot megváltoztatja: a termőföldeken megtermelt szervesanyag nem a földre jut vissza, hanem a városok és állattartó telepek szennyvizeiben, és általában a vizekben bomlik le. Ezt tetézi, hogy a mezőgazdaságban használt műtrágyák egy része is a vizekbe kerül. Ezáltal a vizekben, főleg a lassú átfolyású tavakban a növényi tápanyag felhalmozódik, amelynek következtében ezek növénytermő képessége megnövekszik. Az így kialakuló folyamatot nevezzük eutrofizálódásnak.

A Balaton vizgyűjtőjén is érvényesül az itt vázolt folyamat. Az utóbbi 15 év alatt a terület mezőgazdasága hátszerezre növelte a műtrágya-felhasználást, az állattartó telepek nagymértékben megszorodtak. A tó körül az idegenforgalom is kétszerezére emelkedett. Ezek következtében a környező vízfolyásokba és a szennyvizekbe jut a műtrágya, a hígtrágya jelentős része, valamint más szerves anyagok. A Balatonba A VITUKI 1975. évre vonatkozó becslései szerint 692 kg foszfor folyik naponta. Ebből 215 kg (32%) a Zalaán keresztül, 170-170 kg (25-25%) az északi és déli vízfolyásokból, 132 kg (18%) pedig a parti településekből folyik a tóba. Ez a mennyiség messze meghaladja az eutróf

tavaknál tapasztalt foszfor-terhelés értékeket. (További részletes adatok találhatóak pl. Jolánkai G. [5] tanulmányában.)

Az ökoszisztéma válaszát erre a tápanyagterhelésre jól mutatja az algák tömegének és elsődleges termelésének emelkedése (ld. [4], [10] és az utóbbi dolgozathól átvett 1. ábrát), a hinár szaporodása a parti övben [11], a baktériumszám emelkedése [8] és más jelenségek.

Az eutrofizálódás a Balatonban nem egyenletes: a Keszthelyi-öbölben előrehaladottabb, mint a keletebbre eső részekben, de az említett adatok szerint az elsődleges termelés itt is növekszik.

Az eutrofizálódást nemcsak a Balaton tápanyagterhelése és az ennek következtében megnövekedő elsődleges termelés határozza meg. Ezek kölcsönhatásban vannak a vízben és az üledékben lejátszódó más folyamatokkal, beleértve a tó élővilágának történéseit is. Másszóval, az eutrofizálódás a Balaton egész ökológiai rendszerét (ökoszisztémáját) érinti. A tanulmány ezen rendszer modell-vizsgálatával foglalkozik.

### 1. Az eutrofizálódás modellezése

Mint említettük, az eutrofizálódás az eredeti anyagforgalom zavara: a tóban a tápanyag mennyisége és ennek következtében bizonyos élőlények mennyisége növekszik. A fő kérdés tehát: mekkora tápanyagmennyiség mellett mekkora élőtömeg alakul ki, vagy: mekkora tápanyagterhelés mellett mekkora az élőtömeg szaporodása. Ezért az eutrofizálódás modellezése elsősorban az anyagforgalom modellezését jelenti, vagyis a modellnek anyagmérleg-egyenleteket kell tartalmaznia. Az egyenletekben mindazon élő és élettelen anyagoknak szerepelni kell, amelyek ebben a forgalomban részt vesznek. A fő anyagformák: a szervetlen tápanyagok, a holt szerves anyagok különféle formái, valamint az egyes élőlények megfelelő csoportjai.

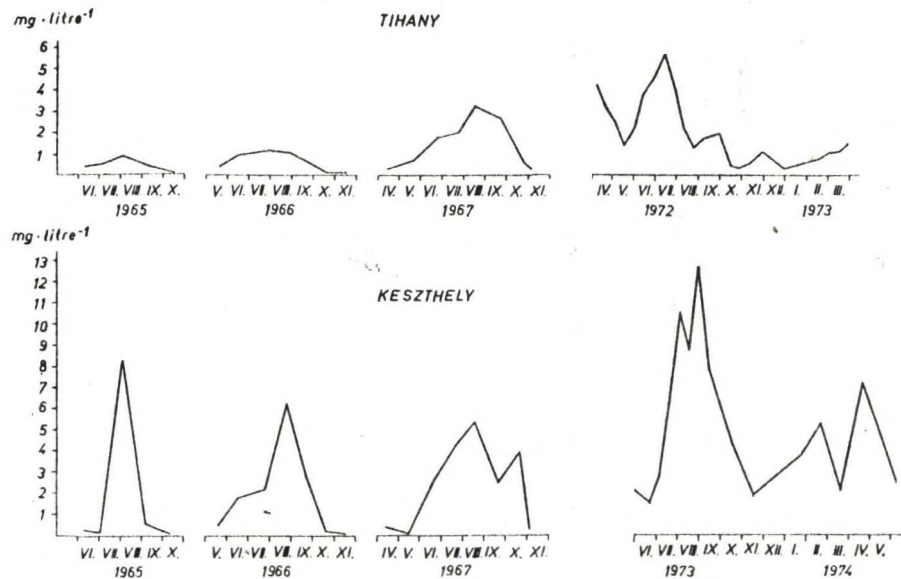


Fig. 3. The rise of the biomass of phytoplankton since 1965 at Tihany and at Keszthely

Az anyagforgalomban szerepet játszó folyamatok alapvető formái pedig egyrészt a szervesanyag termelése, átalakítása (fogyasztása, asszimilálása) és lebontása, másrészt az anyagáramlás a vizgyűjtőről a tóba, a tó egyes medencéi között, valamint a víz és az üledék között. A modell folyamatábráját a 2. ábra mutatja.

Modellünkben a tavat négy viztestre osztjuk:

Keszthelyi-öböl;

Szigligeti-öböl;

Szemesi medence;

Siófoki medence.

A viztestekben és az üledékekben az egyes anyagformák és élőlény-csoportok adják meg a modell komponenseit. A komponensek állapotváltozói ezek mennyisége (sűrűsége) a vízben, illetve üledékekben. Az állapotváltozók közötti dinamikussági összefüggéseket differenciálegyenletek írják le.

Külső tényezőként a modellben

- a vizgyűjtőről jövő foszfor és nitrogén terhelést,
- a víz hőmérsékletet (amely től minden biológiai folyamat függ),
- a globál-sugárzást (amely az elsődleges termelést befolyásolja),
- a szél hatását (a felkevert iszap mennyisége hatással van a víz alatti fényviszonyokra)

vesszük figyelembe.

Megjegyezzük, hogy modellünk, bár hasonló típusú az irodalomban található tó modellekéhez (ld. többek között [1], [2], [3], [6], [9]), azoktól lényegesen eltér, figyelembe véve a Balaton specifikus tulajdonságait. Ezek közül a legfontosabbak:

- a tó nagy kiterjedése (különböző trofitási szintek);
- a tó sekélyisége (felkeveredés);
- a tó alapvetően detritus-képző (alga-fogyasztó élőlények csökély százalékban fordulnak elő);
- magas mésztartalom (amely kicsapja a vízből az oldott

foszfort),

- gyakori és erős szélhatás (gyakori felkeveredés).

A modellezés céljának a következő fontosabb feladatokat jelölhetjük meg:

- a modellezett rendszer működésének, nevezetesen az eutrofizálódás folyamatának a kvantitatív leírása (részenként és egészben egyaránt),
- a rendszer működésének, elsősorban a trofitási szinteknek az előrejelzése,
- az eutrofizálódást csökkentő beavatkozások hatásának előrejelzése,
- a rendszer működésének szabályozása, illetve szabályozási alternatívák kidolgozása az eutrofizálódás csökkentésére.

A Balaton ökológiai modelljének több - egyszerűbb és összetettebb - változatát is kidolgoztuk, mivel egy részletesebb modell nem okvetlenül képes leírni a vizsgált rendszert. Egyrészt azért nem, mert több változó és több paraméter helyes kalibrálása nehézségekbe ütközik, másrészt, mert sok adat és biológiai, kémiai stb. szakismeret hiányzik a pontos leíráshoz. A célnak megfelelő, jól használható modell kidolgozásához ezért fontos, hogy a tő további kutatásával a szaktudományok újabb ismereteket nyújtsanak és újabb mérésekkel több adat álljon rendelkezésre. Ezért a modell fejlesztésének üteme erősen függ a szaktudományok előrehaladásától.

A jelen tanulmányban a BEM-4-nek elnevezett, a víz- és üledék eddigi viszonylag legteljesebb modelljét ismertetjük.



## 2. A viztest-modell

A viztestek a következő komponenseket tartalmazzák:

SA	melegkedvelő algák
WA	hidegkedvelő algák
D	lebontó baktériumok
OM	holt szerves anyag
P	foszfortartalmú növényi tápanyagok (ortofoszfát)
N	nitrogéntartalmú növényi tápanyagok
CA	biogén mész

A viztest modell állapotváltozói az élőlény-csoportok (SA, WA, D) biomasszája (mg szárazsúly/l) és az egyes anyagformák (OM, P, N, CA) koncentrációja a vízben (mg/l). A biomasszát a továbbiakban B-vel, a koncentrációt C-vel fogjuk jelölni a megfelelő indexekkel ellátva.

A modell dinamikájában a következő folyamatok játszanak szerepet:

Az algák foszfor- és nitrogéntartalmú tápanyagokat vesznek fel és fotoszintézis útján szervesanyagot termelnek, amellyel saját biomasszájukat növelik. Ennek során a vízben  $CaCO_3$  keletkezik (ezt nevezzük biogén mésznek). A vízben levő foszfor egy része ehhez a mészhez kötődik és ha a víz nyugalmi állapotban van, leülepszik a fenékre. Az élők pusztulásából keletkező lebegtő szervesanyagot a lebontó baktériumok elbontják, amelynek során újra növényi tápanyagok (P és N) jutnak a vízbe.

Megfelelő erősségű szél esetén az üledékből a vízbe jutnak az algák, a foszfor és a  $CaCO_3$ . Foszfor nyugalmi állapotban diffúzió útján is feljön az üledékből.

Az egyes viztestek közötti átfolyást, a párologást és a csapadékot a vízügyi intézmények méréseiből származó idősorok alapján számítjuk. A vízgyűjtőről jövő foszfor-terhelést a vízgyűjtő-modell szolgáltatja.

A fenti folyamatokat differenciálegyenletek írják le. Bemű-

tatjuk az alga-biomassza és a foszfor-koncentráció egyenletét, amelyek a legfontosabb összefüggéseket tartalmazzák. A többi egyenlet hasonló felépítésű, ezért itt nem részletezzük.

Az alga-biomassza változását a következő differenciál egyenlet írja le (a betű feletti pont az idő szerinti differenciálást jelenti):

$$\dot{B} = \text{PROD} - \text{MORT} - \text{SED} + \text{INFLOW} - \text{OUTFLOW}$$

ahol

PROD a szervesanyagtermelés sebessége

$$= \text{P}_{\text{MAX}} \cdot f(U_L, U_P, U_N) \cdot \text{TEMP} \cdot B$$

MORT a természetes mortalitás sebessége (a vízhőmérséklet exponenciális függvénye)

SED az algák ülepedési sebessége nyugalmi vízben  
 $= \text{SR} \cdot B$  (SR arányossági tényező)

INFLOW a befolyás a vizgyűjtőről, illetve a szomszéd víztestből

OUTFLOW kifolyás a szomszéd víztestbe

A PROD képletében  $\text{P}_{\text{MAX}}$  az optimális szervesanyagtermelés,  $U_L, U_P, U_N$  és TEMP pedig a fény, a vízbeli foszfor, nitrogén illetve a vízhőmérséklet által okozott limitáló faktor (0 és 1 közötti értékekkel),  $f$  pedig alkalmasan választott függvény.

$$U_L = \left[ \exp \left( 1 - \frac{L_Z}{L_{\text{OPT}}} \right) - \exp \left( 1 - \frac{L_0}{L_{\text{OPT}}} \right) \right] / \beta Z$$

ahol

Z a víztest mélysége

$L_0$  fényintenzitás a víz felszínén

$L_Z$  " a Z mélységben

$$= L_0 \cdot \exp(-\beta Z)$$

$L_{\text{OPT}}$  az algák számára optimális fényintenzitás

$\beta$  a víz fénykioltási együtthatója;

$$U_P = C_P / (HC_P + C_P), U_N = C_N / (HC_N + C_N)$$

ahol

$HC_P$  és  $HC_N$  féltelítettségi állandók;

$$TEMP = \frac{T_{crit} - T}{T_{crit} - T_{opt}} \cdot \exp \left( 1 - \frac{T_{crit} - T}{T_{crit} - T_{opt}} \right)$$

ha  $T_{crit} > T$ , egyébként 0,

ahol

$T$  a víz hőmérséklete  
 $T_{crit}$  az algák számára kritikusan magas víz hőmérséklet  
 $T_{opt}$  " " " optimális víz hőmérséklet.

A foszforkoncentráció egyenlete pedig a következő:

$$\dot{C}_P = EX - UPT - PREC + DIFFU + INFLOW - OUTFLOW$$

ahol

EX a lebontók által exkretált foszfor  
 UPT az algák foszfor-felvétele  
 $= PR \cdot (PROD_{SA} + PROD_{WA})$   
 (PR a szervesanyag foszfor-hányada)  
 PREC a  $CaCO_3$ -hoz kicsapódó foszfor  
 $= PRECR \cdot C_{CA} \cdot C_P$   
 DIFFU az üledékből diffúzió útján vízbe jutó foszfor  
 $= DR \cdot C_{SP}$   
 (DR arányossági tényező,  $C_{SP}$  az üledékben levő foszfor koncentrációja)  
 INFLOW, OUTFLOW a foszfor be- és kiáramlását jelenti.

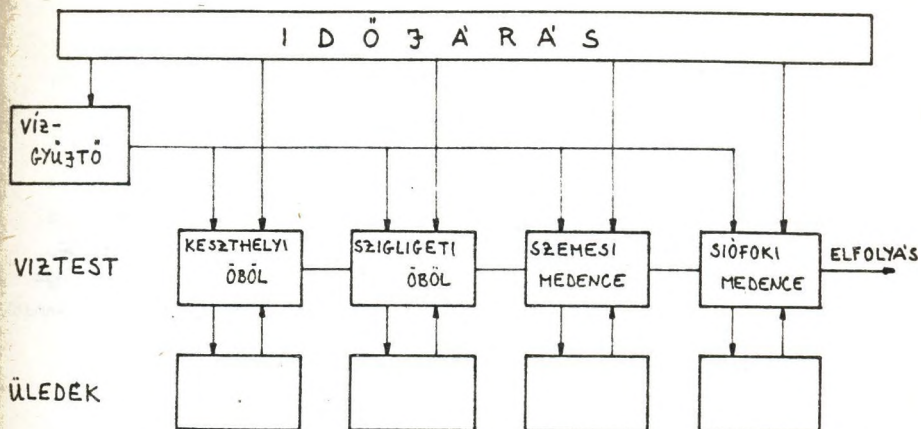
### 3. Az üledék modell

Az üledék-modell komponenseinek azonosítói megkülönböztetésül S(sediment) betűvel kezdődnek.

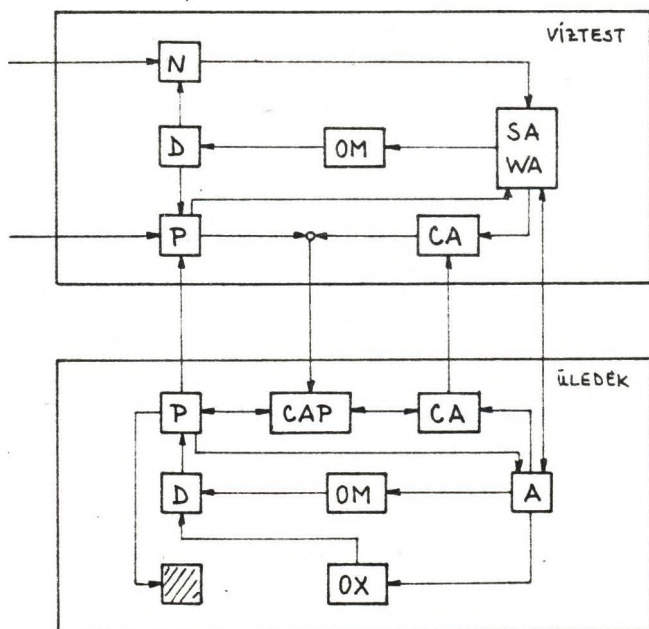
SA	algák
SOM	holt szerves anyag
SD	lebontók
SP	intersticiális ortofoszfát
SCA	CaCo <sub>3</sub> ,
SCAP	a foszfort megkötött CaCo <sub>3</sub> ,
SOX	oxigén.

A víztest komponenseivel és egymás közötti kapcsolataikat a 1. ábrán láthatjuk. (Az üledékben a nitrogén körforgalmát jelenleg nem vesszük figyelembe, mivel ennek szerepe nem kellően tisztázott.) Az SA → SOM → SD → SP → komponensek egy ugyanolyan kört alkotnak, mint a víztestben. SP kivételével a komponensek egyenletei lényegében azonosak néhány értelemeszerű változástól eltekintve, mint pl. a PROD lépésben csak a hőmérséklet és fény limitáló hatása szerepel, hiányoznak az INFLOW, OUTFLOW tagok. A víztestben a fenti kör az anyag körforgalmának fő iránya. Ezzel szemben az üledékben - az idő túlnyomó részében -- a kör nem zárul be az SP → SA lépés keresztül, mert a planktonesővel érkező algák fény hiányában rövid időn belül elpusztulnak. Kivétel ezalól csak az az időszak, amikor a víz átlátszó, vagyis hosszabb nyugalmi periódus után illetve jég alatt.

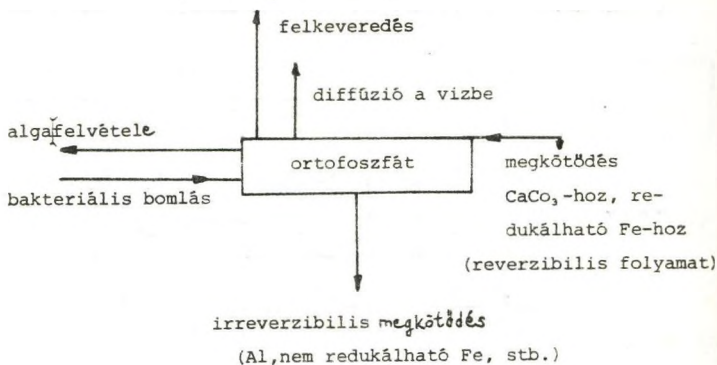
Az üledékben központi szerepet játszik az ortofoszfát koncentráció alakulása. Az erre ható folyamatok a következők:



a.) A RÉSZMODELLEK KAPCSOLATA



b.) A VÍZTEST ÉS ÜLEDEK - MODELL KOMPONENSEI



Nyugalmi időszakban az intersticiális ortofoszfát koncentráció változását leíró egyenlet a következő:

$$\dot{C}_{SP} = EX_{SP} - UPT_{SP} - DIFFU - ADS_{SP} - PREC_{SP} + DES_{SP}$$

Az első három tag jelenti a viztest részből már ismert,

$$\left. \begin{aligned} ADS_{SP} &\sim C_{SP} \text{ az irreverzibilis megkötődés} \\ PREC_{SP} &\sim C_{SP} - C_{SCA} \\ DES_{SP} &\sim C_{SCAP} \end{aligned} \right\} \text{ a reverzibilis folyamat két iránya.}$$

A jobb áttekinthetőség kedvéért együtt megadjuk a három  $CaCO_3$  komponens egyenletét:

$$\begin{aligned} \text{a vízben:} \quad \dot{C}_{CA} &= E_{CA} - SED_{CA} - h \cdot PREC_P \\ \text{az üledékben:} \quad \dot{C}_{SCA} &= E_{SCA} + SED_{SCA} - h \cdot PREC_{SP} + DES_{SP} \\ \text{ill.:} \quad C_{SCAP} &= (1+h) (PREC_P + PREC_{SP} - DES_{SP}) \end{aligned}$$

ahol az E tagok az elsődleges termeléskor keletkező biogén mészhányosok a megfelelő PROD tagokkal, h pedig a SCAP-ban a

mész/foszfor arány.

A  $PREC_{SP}$  és  $DES_{SP}$  folyamatok függenek az oxigénkoncentrációtól. Anaerob körülmények között a precipitáció erősen lelassul, míg aerob körülmények között a foszfát kioldódása egyáltalán nem megy végbe. Ezért szükséges az oxigénkoncentráció változásainak nyomonkövetése. Modellünkben oxigén az elsődleges termeléssel arányosan keletkezik és a bakteriális bontással arányosan fogy:

$$C_{SOX} = h_1 \cdot PROD_{SA} - h_2 \cdot RES_{SD}.$$

Figyelembe véve modellezési lépésközünket (fél nap), az aerob-anaerob váltást pillanatszerűen bekövetkezőnek képzeljük: ha az oxigénkoncentráció egy adott szint alá kerül, a  $PREC_{SP}$  és  $DES_{SP}$  folyamatok paraméterei megváltoznak.

Végül - elegendő információ hiányában - egyelőre a felkeveredést is diszkrét eseményként szimuláljuk. Ha a szélerősség egy adott küszöböt meghalad, a következő változtatásokat hajtjuk végre :

- az intersticiális foszfor teljes egészében a víztest foszforkomponenséhez adódik.
- a fenékalgák a víztestbeli algákhoz adódnak.
- a szélerősségtől függő mennyiségű CaCo<sub>3</sub> kerül SCA-ből CA-ba.
- az oxigénkoncentrációt egy adott értékre állítjuk.
- a  $PREC_{SP}$  és  $DES_{SP}$  folyamatok ismét az aerob esetnek megfelelő paraméterekkel számolnak.

#### 4. A víztestek kapcsolata

A Balatonban a víz fő áramlási iránya Ny-K-i, ezért a víztestek közötti átfolyást ebben az irányban vettük figyelembe (ld. 2. ábra). Ennek megfelelően a vízátfolyás egyenlete a következő:

$$\dot{V}_i = \text{INFLOW}_i + \text{OUTFLOW}_{i-1} - \text{OUTFLOW}_i + P_i - E_i$$

$$i = 1, 2, 3, 4$$

ahol

$V_i$	az i-edik víztest térfogata
$\text{INFLOW}_i$	" " " " vizgyűjtőjéről lefolyó víz
$\text{OUTFLOW}_i$	" " " "-be az i+1-ik víztestbe átfolyó víz
$P_i$	" " " "-be hulló csapadék
$E_i$	" " " " párolgása

(a Keszthelyi öbölbe víz csak a vizgyűjtőről folyik be, a Siófoki medencéből kifolyó vízmennyiség a Sión folyik le.) Az egyenleteket és a szimulációhoz szükséges adatokat Jolánkai G. [5] tanulmányából vettük át.

Az egyes anyagformák áramlását leíró tagok ezek egyenletében a fenti vízáramlási egyenleteken alapulnak. Az x anyag átfolyása az i-edik víztestből az i+1-edikbe:

$$\text{OUTFLOW}_x = C_x \cdot \text{OUTFLOW}_i / V_i$$

mennyiséggel csökken az x anyag koncentrációja az i-edik víztestben és

$$C_x \cdot \text{OUTFLOW}_i / V_{i+1}$$

mennyiséggel nő az i+1-edik víztestben.



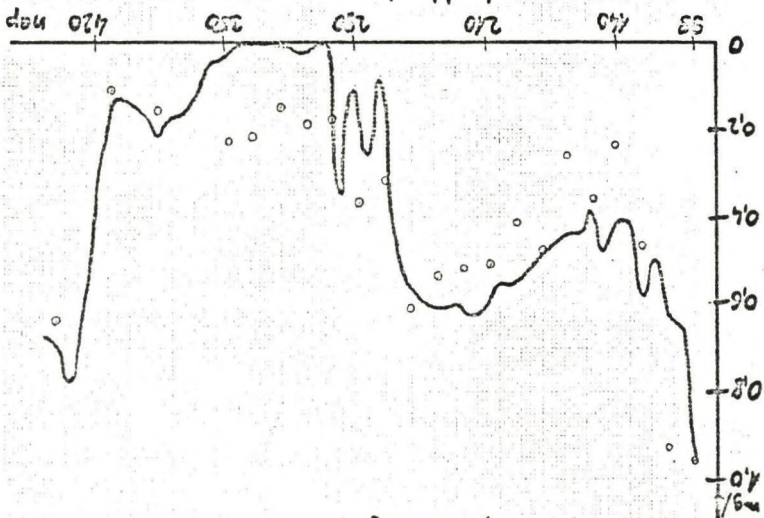
## 5. A BEM modell szimulációs vizsgálata

AZ ismertetett modell viselkedését egyéves időintervallumon számítógépes szimulációval vizsgáltuk. Erre a célra egy folytonos és diszkrét kombinált szimulációra alkalmas eszközt fejlesztettük ki (DISCOS). Az anyagáramlás folytonos folyamatait bizonyos időpontokban a szél által keltett felkeveredés szakítja meg (diszkrét időpontokban bekövetkező események). A program a megfelelő adatokat (kezdeti értékek, hőmérsékleti és fényerő ég idősorok, szél-események, stb.) beolvassa, a számított eredményeket numerikus és grafikus úton kijelzi.

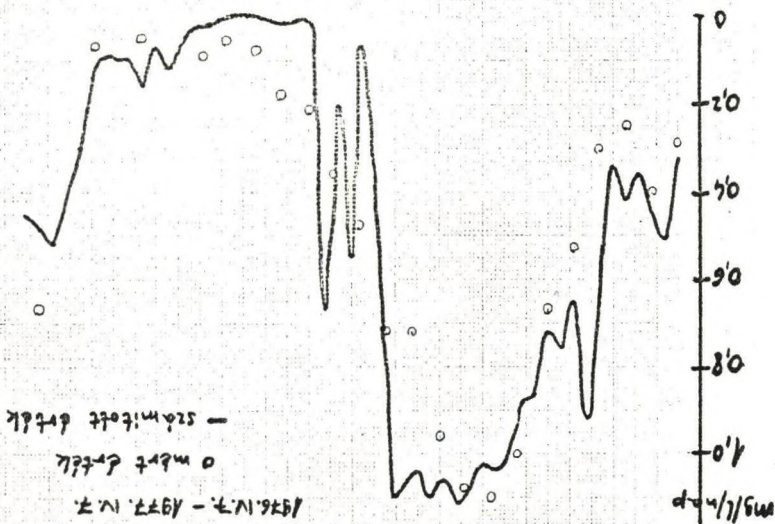
Példaként a 3. ábrán bemutatjuk a Szemesi-medencére az 1976-77. évi adatokkal kapott eredményt.

3. 4. 1974

b) Algalblossen



a) Eisdielenfarnblätter



— stamm: tott & f&llk

o m&rt & f&llk

1976. IV. 7. - 1977. IV. 7.

Irodalom

- [1] C.W.Chen,G.T.Orlob: Ecologic simulation for Aquatic Environments, In: Systems Analysis and Simulation in Ecology.Vol. .Ed.B.C.Patten,Acad.Press 1975. 476-588.
- [2] D.M.DiToro,D.J.O'Connor,R.N.Thomann,J.L.Mancini:Phytoplankton-Zooplankton-Nutrient interaction model for Western Lake Erie.In:Systems Analysis and Simulation in Ecology.Vol.3.Ed.C.Patten.Acad.Press 1975. 424-475.
- [3] R.Haimes,D.K.Lung: MS.CLEANER Documentation,Version 2, 15., 1975.
- [4] S.Herodek,G.Tamás: The primary production phytoplankton in the Keszthely basin of Lake Balaton in 1973-74. Annal. Biol.Tihany,1975.175-190.
- [5] G.Jolánkai: The water quality and eutrophication problems of Lake Balaton.IIASA Report 1979.
- [6] S.E.Jorgensen,H.Mejer,M.Triis: Examination of a lake model. Ecological Modelling 4,1978.253-278.
- [7] L.Kamp-Nielsen: A kinetic approach to the aerobic sediment water exchange of phosphorus in Lake Esrom. Ecological Modelling 1,1975.153-160.
- [8] Oláh J.: A bakterioplankton biomaszája és produkciója a Balatonban.Hidrológiai Közlöny,53.1973.348-356.
- [9] R.A.Park et al.: A generalized model for simulating lake ecosystems,Simulation,1974.33-50.
- [10] G.Tamás: Horizontally occurring quantitative phytoplankton investigations in Lake Balaton in 1974. Annal. Biol.Tihany,1975.219-279.
- [11] Tóth L.: A Balaton hinároso dásának jelenlegi állapotáról. VITUKI Eredmények 2.1972.16-25.

Dávid László<sup>1</sup>, Telegdi László<sup>2</sup>, Bolla Marianna<sup>2</sup>Bevezetés

A Balaton eutrofizálódása a hatvanas évektől kezdődően jelentős mértékben felgyorsult. A jelenség oka nagyrészt a vízgyűjtőn végbement társadalmi-gazdasági fejlődésben, az ennek következtében a tavi ökoszisztémát érő káros hatásokban keresendő. Amit napjainkban tapasztalunk, nem más, mint az ökoszisztéma válasza ezekre a hatásokra. A folyamat feltárásához, további alakulásának előrejelzéséhez és a vízminőséget megővő intézkedések meghatározásához szükséges az eutrofizációs problémának a vizsgálata a vízgyűjtő oldaláról. Ennek a következő két megközelítésével foglalkozunk: 1) vízgyűjtőfejlesztési modellezés; 2) a tavat érő terhelés tápanyagforgalmi modellezése. Mindkét megközelítésnek fontos szerepe van a balatoni eutrofizáció problémaorientált modelljeinek családjában. Egy 2. típusú felmérési és extrapolációs vízgyűjtő-modell adaptálásáról [4] -ben beszámoltunk. Jelen dolgozatban ismertetjük a modell alapján végzett szimulációt, beszámolunk továbbá a csapadék, a vízbefolyás és a foszforkoncentráció auto- és keresztkovariancia-függvényeinek matematikai-statisztikai analiziséről.

Az 1. típusú megközelítési mód koncepcióját [2] -ben körvonalaztuk. A koncepció alkalmazását az indokolja, hogy a Balaton eutrofizálódásának aránya durván 8:4:2:1-re becsülhető a Keszthelyi öböl, a Szigligeti, a Szemesi és a Siófoki medence között. Gyakorlatilag azonos arány figyelhető meg a határos vízgyűjtők adatai alapján is. Az eutrofizálódás feltétlenül az utóbbi 20-30 év során

1 Országos Vízügyi Hivatal

2 MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete

a vízgyűjtőn végrehajtott regionális és vízgazdálkodási fejlesztés következményének tekinthető. Az egyes vízgyűjtők fejlesztésének mértéke különböző. A tó egyes víztestjei mind egymáshoz, mind pedig a szomszédos vízgyűjtőkhöz kapcsolódnak. Tehát tegyük fel, hogy szoros kapcsolat van az eutrofizálódás és az emberi tevékenységen alapuló vízgyűjtőfejlesztés között.

#### A Balaton-vízgyűjtő hierarchikus vízgyűjtőfejlesztési modellje

A Balatont a hozzá kapcsolódó rész-vízgyűjtőkkel együtt nevezzük Balaton-vízgyűjtőnek. Ez az elnevezés kifejezheti, hogy a tó maga is része a vízgyűjtőnek. A víz keresztülfolyik a tavon nyugatról keletre, így a tavat magát egy különleges "folyónak" tekinthetjük. (A vízgyűjtő mintegy 10%-át teszi ki a tó felszíne.) A "folyó" egyes szakaszait a víztestek (WB) képezik. A vízgyűjtők (WS) a víztestekhez kapcsolódnak. A vízgyűjtő területi felbontásának megfelelően négy víztestet és hét részvízgyűjtőt kell figyelembevenni. (A négy víztest a már említett Keszthelyi öböl, Szigligeti, Szemesi és Siófoki medence. A Keszthelyi öbölhöz egy, a többi víztesthez két-két rész-vízgyűjtő tartozik.) A Balaton-vízgyűjtőn belüli folyásiránynak megfelelően az egyes víztesteknek és rész-vízgyűjtőknek más kapcsolata illetve szerepe van a rendszerben. Nem lehet azokat egymással kicserélni vagy helyettesíteni. Ennek megfelelően a rendszer hierarchikus jellegű. Négy hierarchikus vízgyűjtőszint ( $B_j$ ) jelölhető ki a megfelelő víztestek kifolyási szelvényeinél.

A Balaton-vízgyűjtő területének általános leírását az alábbi összefüggés adja:

$$B = \left( \bigcup_{j=1}^4 WB_j \right) \cup \left( \bigcup_{i=1}^7 WS_i \right), \quad (1)$$

ahol  $WB_j$  a j-edik víztest,  $WS_i$  —  $i=i(j)$  — az i-edik részvízgyűjtő, B pedig a teljes Balaton-vízgyűjtő. A hierarchikus jel-

lemzésnek megfelelően (1)-ből

$$B_j = B_{j-1} \cup WB_j \cup \left( \bigcup_{i \in I_j} WS_i \right)$$

adódik, ahol  $B_j$  a Balaton-vizgyűjtő  $j$ -edik hierarchikus szintjét jelöli. Az 1.szint kifolyása a Keszthelyi öböl keleti végén van, ... a 4. szintét Siófoknál.

Az eddig mondottakat figyelembe véve az eutrofizációt általános formában az alábbiak szerint írjuk le:

$$ET(B_j, t) = f \left[ \sum_{i \in I_j} NL(WS_i, t); ET(B_{j-1}, t); ET(B_j, t-1); \Delta^j ET(B_j, t); \Delta^t ET(B_j, t) \right], \quad (2)$$

ahol  $ET(B_j, t)$  az eutrofizáció a  $j$ -edik szinten a  $t$ -edik (diszkrét) időpontban,  $NL(WS_i, t)$  a tápanyagterhelés az  $i$ -edik rész-vizgyűjtőről a  $t$ -edik időpontban,  $\Delta^j ET(B_j, t)$  ill.  $\Delta^t ET(B_j, t)$  az eutrofizáció térbeli megváltozása  $WB_j$ -ben a  $t$ -edik időpontban ill. időbeli megváltozása ugyanott az előző időponthoz képest, a viztestben lejátszódó folyamatoknak megfelelően. Az eutrofizálódás folyamatát hosszú távon akarjuk jellemezni, ezért a  $t$  időváltozót években mérjük.

Alkalmazva alapfeltevéseinket, az  $i$ -edik vizgyűjtőről jövő tápanyagterhelést a következőképpen írjuk le:

$$NL(WS_i, t) = g[F_{\mu\mu}(WS_i, t), F_{dv}(WS_i, t), F_{wp}(WS_i, t)], \quad (3)$$

ahol  $F_{\mu\mu}(WS_i, t)$  az  $\mu$ -edik természeti alaptényező,  $F_{dv}(WS_i, t)$  ill.  $F_{wp}(WS_i, t)$  a területi fejlesztés  $\nu$ -edik ill. a vízgazdálkodási fejlesztés  $\rho$ -edik alaptényezője, amely  $WS_i$ -re hat. Összesen 52 alaptényezőt javasolunk a Balaton-vizgyűjtőnek a hosszútávú fejlesztési folyamat során a tápanyagterhelés szempontjából való állapota jellemzésére.

A (3) egyenletnek megfelelően a Balaton-vizgyűjtő hierarchikus rendszerében az  $i$ -edik rész-vizgyűjtő tápanyagterhelése az alábbiak

szerint jellemezhető:

$$NL(WS_i, t) = h[D_i(F_v, t); H_i(F_{nm}, t)], \quad (4)$$

ahol  $F_v$  a  $v$ -edik — természeti, területi, vagy vízgazdálkodási — alaptényező,  $D_i$  az  $i$ -edik rész-vízgyűjtő fejlesztési mutatója, amely  $WS_i$  területi és vízgazdálkodási fejlettségét tükrözi a tápanyagterhelés szemszögéből a  $t$ -edik időpontban,  $H_i$  pedig  $WS_i$  természeti jellegét jellemző, csak az  $F_{nm}$  természeti alaptényezőktől függő, időben állandónak tekintett, azonos víztesthez tartozó részvízgyűjtőkre egyelőre azonosnak megadott értékek.

A  $D_i$  mutatók bevezetésének célja, hogy segítségével integrált formában fejezzük ki azt a területi és vízgazdálkodási tevékenységet a  $WS_i$  részvízgyűjtőn a  $t$ -edik időpontban, amely befolyásolja a  $WS_i$ -ről származó tápanyagterhelést. A következőképpen írhatók le:

$$D_i = D_i(F_v, t; v=1, 2, \dots, 52) = D_i(J'_k), \quad (5)$$

ahol  $J'_k$ -k olyan időben változó, részben rövid, részben hosszú távon szabályozható mutatók, amelyek kifejezik a tápanyagterhelés lehetséges hatását, az  $F_v$ -k szemléletes jelentéssel bíró egyszerű függvényei és növekedésük a tápanyagterhelés növekedését eredményezi. (Pl.  $F_2$  a talajfelszín területa,  $F_{17}$  a települések,  $F_{18}$  az ipari üzemek,  $F_{19}$  a nagyobb állattartó telepek száma,  $J'_9$  pedig, az utóbbi három összegének és  $F_2$ -nek a hányadosa, a lehetséges pontszerű szennyező források sűrűsége a részvízgyűjtőn.)

Az (5) összefüggés az alaptényezők transzformációját jelenti. A  $J'_k$  mutatókat az alábbiak szerint továbbalakítjuk:

$$J'_k = \frac{J_k - J_{0,k}}{J_{100,k} - J_{0,k}} \cdot 100, \quad (6)$$

ahol  $J'_{0,k} \geq 0$  ill.  $J'_{100,k}$  jelentik  $J_k$  legalacsonyabb ill. legmagasabb lehetséges értékét. Előbbi a fejlettség természetes állapotára, az emberi beavatkozás nélküli tápanyagterhelésre vonatkozik, utóbbi egy maximális fejlettségi fokra, maximális mérvű emberi beavatkozásra, a  $J_k$  mutatók tényleges jelenlegi és történelmi értéke, valamint várható fejlesztési feltételei alapján adtuk meg őket. A  $J_{0,k}$  és  $J_{100,k}$  közötti értékeket veheti fel  $J_k$  a vízgyűjtőfejlesztés során.

A (6) összefüggés által meghatározott  $J_k$  dimenzió nélküli mutatókat indikátor indexeknek nevezzük. Definíciójukból következik, hogy értékük 0 és 100 közé esik.  $J_k = 0$  esetén nincs hatás,  $J_k = 100$  esetén maximális hatás érvényesül. Az 52 alaptényező alapján meghatároztuk az indikátor indexek egy rendszerét, amely 25 indexből áll, valamint ~~ez~~ indexek azonos víztesthez tartozó rész vízgyűjtőkre egyelőre azonosnak vett értékét. A továbbiakban, ez a rendszer szolgál alapul bővebb információ és adatok birtokában kisebb módosításai természetesen elképzelhetők.

A fejlesztési mutatók és az indikátor indexek között a következő összefüggés fennállását tesszük fel:

$$D_i = \sum_{k=1}^{25} W_k J_k = \sum_{k=1}^{25} W_k J_k^{(i)}(t), \quad (7)$$

ahol a  $W_k$  rész-vízgyűjtőtől és időtől független súlyozó tényezőkről feltesszük, hogy összegük 1. Ebből következik, hogy a fejlesztési mutatók értéke 0 és 100 közé esik, továbbá időben a rész-vízgyűjtő fejlettségével egy irányban változik. Különböző súlyrendszereket alakítottunk ki részben interjú-módszerrel, gyakorlati vízgyűjtő ismeretek alapján, részben matematikai-statisztikai úton, lényegében korreláció-arányosan. Értékelésük - amelybe az egyenlő súlyozói tényezőkből álló súlyrendszert is bevontuk - korrelációanalízissel történt.



Az eutrofizáció és a fejlesztési mutatók korrelációanalízise

A korrelációanalízis elvégzéséhez a (2) összefüggésből indulunk ki. Ez azt az alapvető feltevést tükrözi, hogy valamely víztest adott (diszkrét) időpontbeli eutrofizációja a következő tényezőktől függ: 1) a víztesthez tartozó rész-vizgyűjtő(k)ről jövő tápanyagterhelés; 2) az előző víztest eutrofizációja az adott időpontban; 3) az adott víztest eutrofizációja a megelőző időpontban; 4) az eutrofizáció térbeli megváltozása a víztestben; 5) a víztest eutrofizációjának időbeli megváltozása. Az utóbbi tényező elhagyható, ha - amint ezt tesszük - a víztestet a benne lejátszódó, az eutrofizáció megváltozására vezető folyamatokkal fekete doboznak tekintjük. Megfelelő idősorok hiányában egyelőre a 3) tényezőt sem vesszük figyelembe. A (4) összefüggés szerint a tápanyagterhelés figyelembevételéhez feltételezzük, hogy a rész-vizgyűjtő fejlesztési mutatójától és természeti jellegétől függ; előbbi időben változó, a természeti, területi és vizgazdálkodási feltételeket tükröző alaptényezők függvénye, utóbbi időben állandó és csak a természeti alaptényezőktől függ. A megfelelő idősorok birtokában majd a természeti jelleg vagy elhagyható lesz, vagy elég lesz őt a fejlesztési mutató szorzójaként figyelembe venni. A jelenlegi "helysoros" vizsgálatban azonban külön tényezőként szerepel. Eszerint valamely víztest eutrofizációja a rész-vizgyűjtő(k) fejlesztési mutatójától és természeti jellegétől, valamint az előző víztest eutrofizációjától függ.

A modell első numerikus alkalmazását a rendelkezésünkre álló 1975-ös vizgyűjtő-fejlesztési és 1976-os eutrofizációs adatokkal végeztük. A két év adatainak kombinálása elfogadható, mert egyrészt az alaptényezők értékei lassan változnak, másrészt a területi és vizgazdálkodási fejlesztésnek amúgy is meg kell előznie az eutrofizáció megváltozását.

Az eutrofizáció jellemzésére Vörös Lajos tudományos munkatárstól (Tihanyi Biológiai Kutató Intézet) kaptunk adatokat. Ezek fitoplankton-biomasszára vonatkozó havi mérési eredmények voltak. Eutrofizációs indexnek átlagos, nyári maximum és éves maximum értékeit vettük, melyeket először a mintavételi pontokra számítottunk ki. E szám adatoknak a Balaton hossz-szelvénye mentén végzett inter-és extrapolációval <sup>ja</sup> becsültük az eutrofizációs indexek értékeit az egyes víztestek kifolyási szelvényeire.

Jelölje  $ET_{\mu j}$  a  $\mu$ -edik típusú eutrofizációs index ( $\mu = 1, 2$  vagy  $3$  aszerint, hogy az átlagról, a nyári vagy az éves maximumról van szó) értékét a  $j$ -edik víztest kifolyási szelvényénél,  $D_{\nu j}$  a  $j$ -edik víztesthez tartozó rész-vizgyűjtő(k) (7) szerint számolt fejlesztési mutatóját a  $\nu$ -edik súlyrendszer szerint és  $H_j$  a  $j$ -edik víztesthez tartozó rész-vizgyűjtő(k) természeti jellegének megfelelő értéket. Ertelemszerűen tegyük fel, hogy  $ET_{\mu 0} = 0$ . Rögzített  $\mu$  és  $\nu$  mellett határozzuk meg a  $C_1, C_2, C_3$  számokat úgy, hogy a

$$\sum_{j=1}^4 [ET_{\mu j} - (C_1 ET_{\mu j-1} + C_2 D_{\nu j} + C_3 H_j)]^2$$

négyzetösszeg minimális legyen (ez csupán parciális deriválást és lineáris egyenletrendszer-megoldást igényel). Legyen:

$$E_{\mu j}^1 = \begin{cases} 0, & \text{ha } j=0; \\ ET_{\mu j} - C_3 H_j, & \text{ha } j=1, \dots, 4. \end{cases}$$

Legyen továbbá

$$a = \frac{(\sum_{j=1}^4 ET_{\mu j}^1 ET_{\mu j-1}^1) (\sum_{j=1}^4 D_{\nu j}^2) - (\sum_{j=1}^4 ET_{\mu j}^1 D_{\nu j}) (\sum_{j=1}^4 D_{\nu j} ET_{\mu j-1}^1)}{(\sum_{j=1}^4 D_{\nu j}^2) (\sum_{j=1}^4 ET_{\mu j-1}^2) - (\sum_{j=1}^4 D_{\nu j} ET_{\mu j-1}^1)^2}$$

$$b = \frac{(\sum_{j=1}^4 ET_{\mu j}^1 D_{\nu j}) (\sum_{j=1}^4 D_{\nu j} ET_{\mu j-1}^1) - a (\sum_{j=1}^4 D_{\nu j} ET_{\mu j-1}^1)^2}{(\sum_{j=1}^4 D_{\nu j}^2) (\sum_{j=1}^4 D_{\nu j} ET_{\mu j-1}^1)}$$

és

$$X_{\mu\nu j} = a ET'_{\mu, j-1} + b D_{\nu j}$$

Rögzített  $\mu$  és  $\nu$  mellett jelölje  $\rho$   $ET'_{\mu j}$  többszörös korrelációs együtthatóját  $ET'_{\mu, j-1}$ -gyel és  $D_{\nu j}$ -vel, akkor (lásd pl. [2])  $\rho$   $ET'_{\mu j}$  és  $X_{\mu\nu j}$  (közönséges) korrelációs együtthatója. A különböző súlyrendszerek hatékonyságát rögzített eutrofizációs index mellett első lépésként a korrelációs együtthatókkal jellemeztük, amelyek  $ET_{\mu j}$  kapcsolatát tükrözik  $D_{\nu j}$ -vel és  $ET_{\mu, j-1}$ -gyel,  $H_j$  hatásától megtisztítva.

#### Következtetések

i) az 1975-76-ra végzett korrelációanalízis alapján megállapítható, hogy a vízgyűjtőfejlesztési megközelítési mód alapfeltevéseit, az eutrofizáció és a vízgyűjtőfejlesztés közti közeli kapcsolatot az első numerikus eredmények megerősítik.

ii) a rész-vízgyűjtők jelenlegi fejlesztési mutatójára kapott értékek azt mutatják, hogy a Keszthelyi öbölhöz, valamint tartozó részvízgyűjtő, a Szigligeti és a Szemesi medencéhez tartozó észak és déli rész-vízgyűjtők együtt gyakorlatilag ugyanazon a fejlődési szinten, 41-46%-on állnak. A Siófoki medence vízgyűjtője közel másfélszer fejlettebb, 60%-os fejlődési szinten áll. Ugyanakkor a rész-vízgyűjtők szerepe nyugatról kelet felé fokozatosan csökken, elhelyezkedésük és természeti jellegük miatt.

iii) a súlyrendszerek különbözősége egyelőre csak kis különbségeket eredményezett a korrelációs együtthatók értékei között. Az optimális súlyrendszert később, idősoranalízissel lehet kiválasztani.

iv) idősorok hiányában szükséges volt a vízgyűjtők természeti jellegének hatását becsülni. Több adat birtokában ettől el fogunk tekinteni.

v) az indikátor indexek ill. az eutrofizációs indexek megha-

tározásához szükséges történeti adatok összegyűjtésére megbízást kellene kapniuk a VITUKI-nak és az illetékes VIZIG-eknek, ill. a tihanyi Biológiai Kutató Intézetnek. Az adatok birtokában a közölt metodológia alkalmazandó az idősorok és általában a vizgyűjtőfejlesztési folyamat analizisére.

vi) az eutrofizáció vázolt vizgyűjtőfejlesztési modellezése lényeges eleme lehet az az eutrofizáció hosszútávú management-célú modellezésének, ezért használatát javasoljuk mind beruházási, mind irányításelméleti, mind ad hoc jellegű folyamat-szabályozási modellek előkészítésénél.

#### A tápanyagforgalmi modell tesztelése és szimulációja

A balatoni eutrofizációs problémának a vizgyűjtő oldaláról történő másik megközelítése a tavat érő terhelés tápanyagforgalmi modellezése. A szervesanyagok felépítéséhez szükséges elemek közül egyesek korlátlan mennyiségben rendelkezésre állnak, míg a többiek mennyisége meghatározza, illetve korlátozza a szervesanyag-termelést. Mivel a Balatonban a foszfor tekinthető ilyen limitáló faktornak (ld. pl. [1]), ezért a bevezetésben említett felmérési és extrapolációs vizgyűjtő-modell a foszforvegyületek formájára koncentrál.

A foszforforrásokat két csoportra osztjuk: pontszerű szennyezőforrásokra (ipari és állattartó telepek szennyvize, csatornázott kommunális szennyviz) és területi bemosódásra, ami egyrészt a mezőgazdasági művelésből, másrészt a nemcsatornázott településektől származik. Az előbbiekről általában kielégítő információ áll rendelkezésre, itt csupán a vizgyűjtőn való levonuláskor végbemenő folyamatok (ülepedés, feldúsulás) módosító hatását kell figyelembe venni. A továbbiakban csak a nem-pontszerű szennyeződésekkel foglalkozunk. Mivel a tó élővilága számára hozzáférhető foszforvegyületek pontos összetétele még nem ismertes, a modell egyelőre a tóba jutó oldott és adszorbeált összfoszfor mennyiségét méri.

A modell azon alapul, hogy a nem-pontszerű forrásokból bejutó

foszfor jelentős része (becslések szerint mintegy fele) az esőzéseket követő árhullámokkal kerül a tóba és z adódik hozzá az alaplefolyás viszonylag egyenletesebb terheléséhez. Az esőket azon feltétel mellett szimuláljuk, hogy két valószínűségi változóval, a csapadék mennyiségével és időtartamával jellemezhetők, ezek együttes eloszlása jól közelíthető el-oszlással (melynek paramétereit a hónapokkal változónak vesszük) továbbá az esők között eltelt idő exponenciális eloszlásúnak tekinthető. Ezek és a szóbanforgó részvizgyűjtő jellemző adatai (mint pl. a növényzettel való borítottság, átlagos lejtőszög, a talaj elnyelési képességét, a mezőgazdasági művelés jellegét jellemző állandók) alapján számítjuk az eső indukálta lefolyást és az erodeált talaj mennyiségét. Ezeket a megfelelő koncentrációkkal szorozva, majd egy adott időszakra, <sup>extrapolálva</sup> valamint hozzáadva az alaplefolyásból és pontszerű forrásokból származó mennyiséget, nyerjük a részvizgyűjtőről a tóba kerülő oldott ill. adszorbeált foszfor mennyiségét.

A modell tesztelését és számítógépes szimulációját egyelőre a Szemesi medencéhez tartozó déli rész-vizgyűjtőn belül a Tetves patak vizgyűjtőjén végeztük el; egyrészt mert itt álltak megfelelő adatsorok rendelkezésre, másrészt jelentősebb pontszerű szennyezőforrás nincs ebben a körzetben és a vizgyűjtő terület is viszonylag kicsi ahhoz, hogy a modell feltételei jó közelítéssel teljesüljenek. A következő adatokat használtuk:

1) napi csapadékmennyiség, napi vízhozam és az össz-foszfor koncentrációja 1975. VIII.1-től XII.31-ig /utóbbi kettő 1976-XII.31-ig) a Tetves völgyben;

2) csapadékiró ill. a téli hónapokra hóadatok 1975. VIII.1-től 1976. VII.31-ig (esőzést ill. havazást megelőző száraz időszak hossza, esőzés ill. havazás időtartama, a lehullott csapadék mennyisége);

3) napi csapadékmennyiség 1970.I.-1-től 1975.XII.31-ig.

Az adatok feldolgozását végző program kirajzolja az összetartozó vízhozam-foszfor-csapadékidősorok grafikonját és sü-

rűség-hisztogramjait, átlagokat, szórásokat, auto- és keresztkovariánciákat számol. A vízhozam és foszforkoncentráció eloszlásának illesztése a bővebb adatsor alapján történik. A program kirajzolja asűrűség-hisztogramokat ill. a változók logaritmusának sűrűség-hisztogramját,  $\chi^2$ -próbával vizsgálja a koncentráció lognormalitását, vizsgálataink szerint ugyanis a foszforkoncentráció eloszlása elég jó közelítéssel lognormálisnak vehető.

Ezután az 1970-75.ös napi csapadékmennyiségek tesztelése következik havonként: azt vizsgáljuk, hogy a két eső között eltelt idő exponenciális eloszlású-e, továbbá a csapadék időtartama és mennyisége kétdimenziós  $\Gamma$ -eloszlással közelíthető-e. A paramétereket a mintából becsüljük maximum likelihood-módszerrel (havonként). - Hasonlóan történik az eloszlásvizsgálat a csapadékiró-adatokra is.

A tulajdonképpeni szimuláció lényeges eleme esők generálása. Ennek során a száraz időszak hosszának exponenciális eloszlás szerinti generálása triviális. Ha a szintén generálandó  $X_1$  csapadékmennyiséget és  $X_2$  csapadék-időtartamot együttesen két-paraméteres  $\Gamma$ -eloszlásúnak vesszük, akkor együttes sűrűségfüggvényük (ld. pl. [3])

$$f(x_1, x_2) = \begin{cases} \alpha \beta e^{-\alpha x_1} (1 - e^{-\alpha x_2}), & \text{ha } 0 \leq x_2 \leq \frac{\beta}{\alpha} x_1; \\ \alpha \beta e^{-\alpha x_2} (1 - e^{-\beta x_1}), & \text{ha } 0 \leq \frac{\beta}{\alpha} x_1 \leq x_2 \end{cases}$$

Altalában legyen  $f$  tetszőleges kétdimenziós sűrűségfüggvény,  $f_1$  pedig az első komponens peremeloszlása. A második komponens feltételes sűrűségfüggvénye

$$f_{x_2|x_1}(x_2) = \frac{f(x_1, x_2)}{f_1(x_1)}. \quad (8)$$

Először  $f_1$  alapján szimuláljuk  $X_1$  véletlen értékét, majd az ehhez az  $X_1$ -hez tartozó  $f_{x_2|x_1}$  sűrűségfüggvény segítségével  $X_2$  véletlen értékét. Így  $(X_1, X_2)$  éppen  $f(x_1, x_2)$

sűrűségfüggvényü lesz, továbbá

$$f_1(x_1) = \beta^2 x_1 e^{-\beta x_1}$$

és kis számolással kijön, hogy a (8)-hoz tartozó eloszlásfüggvény

$$F_{X_2|X_1}(x_2) = \begin{cases} \frac{\alpha x_2 + e^{-\alpha x_2} - 1}{\beta x_1}, & \text{ha } x_2 < \frac{\beta}{\alpha} x_1 \\ \frac{\beta x_1 + e^{-\alpha x_2} (1 - e^{-\beta x_1})}{\beta x_1}, & \text{ha } x_2 \geq \frac{\beta}{\alpha} x_1. \end{cases}$$

Esetünkben legyen  $\eta_1, \eta_2$  független, azonos  $\beta$  paraméterű exponenciális eloszlású valószínűségi változó. Ekkor  $\eta_1 + \eta_2$  sűrűségfüggvénye

$$\beta^2 x_1 e^{-\beta x_1}, \quad 0 \leq x_1 < \infty.$$

Generáljuk a  $\xi$  valószínűségi változót  $[0, 1]$ -ben egyenletes eloszlás szerint. Ha

$$\xi < \frac{\beta x_1 + e^{-\beta x_1} - 1}{\beta x_1},$$

akkor  $x_2$ -re oldjuk meg az

$$\frac{\alpha x_2 + e^{-\alpha x_2} - 1}{\beta x_1} = \xi \quad (9)$$

különben pedig a

$$\frac{\beta x_1 + e^{-\alpha x_2} (1 - e^{-\beta x_1})}{\beta x_1} = \xi \quad (10)$$

egyenletet. (10)-ből

$$x_2 = -\frac{1}{\alpha} \ln \left\{ \frac{\beta x_1 (1 - \xi)}{e^{-\beta x_1} - 1} \right\},$$

(9)-et viszont csak közelítően tudjuk megoldani. Legyen ehhez

$$\begin{aligned} t &= \alpha x_2, \\ A &= 1 + \beta x_1 \xi, \end{aligned}$$

akkor (9)

$$\mu(t) = t + e^{-t} = A$$

alakú, ahol

$$1 < A < \infty,$$

$$\mu(0) = 1,$$

$$\mu(\infty) = \infty,$$

$$\mu'(t) = 1 - e^{-t} \geq 0, \quad t \geq 0,$$

$$\mu''(t) = e^{-t} > 0, \quad t \geq 0,$$

ami pontosan egy pozitív megoldással rendelkezik és ez Newton-módszerrel pl. meghatározható. Elég jó kezdeti közelítés nyerhető, ha a baloldal második tagját másodfokú Taylor-polinomjával helyettesítjük:

$$t_0 + 1 - t_0 + \frac{t_0^2}{2} = A,$$

ahonnan

$$t_0 = \sqrt{2(A-1)}.$$



A Newton-módszer formulája

$$t_{n+1} = \frac{A - e^{-t_n} (1+t_n)}{1 - e^{-t_n}} .$$

Az iteráció addig végezzük, amíg

$$\left| \frac{t_{n+1} - t_n}{t_{n+1}} \right| < \varepsilon,$$

ahol  $\varepsilon$  előre adott hibakorlát. Ha az iterációt az M-edik lépésben hagyjuk abba, akkor

$$x_2 \sim \frac{t_M}{2} .$$

A szimulációs program minden esőre kiírja az előző eső óta eltelt száraz időszak hosszát, a csapadék mennyiségét és az időtartamát az oldott foszfor - lognormális eloszlás szerint generált - koncentrációját, a foszforbemosódást, az adszorbeált foszfor - ugyancsak lognormális eloszlás szerint generált - koncentrációját és mennyiségét. A program egymás után veszi a hónapokat. Egy hónapon belül az adott paraméterekkel generál egy száraz és egy esős periódust. Ezután nézi, hogy a kettő összhossza nem haladja-e meg a hónap hosszát. Ha ezt tapasztalja, a következő hónapot veszi, nézi az időbeli átnyúlást, kiírja ezt, valamint az ennek megfelelő bemosódást és abszorpciót. Újabb hónapot addig vesz, amíg a szimulált hónapok száma meg nem halad egy előre megadott természetes számot. Kiírja a Tetves vizgyűjtőjéről bekerülő havi oldott ill. a abszorbeált össz-foszfor mennyiségeket, ezeket a kívánt időszak<sup>ra</sup> összegezi és - az egész részvizgyűjtőre extrapolálándó - 94.1/534-gyel beszorozza.

Irodalom

- 1 Bolla M.,Csáki P.,Fischer J.,Herodek S.,Hoffmann Gy.,  
Kutas T.,Telegdi L.,Wittmann I.: A balatoni öko-  
szisztéma modellezése. MTA SzTAKI Tanulmányok 93  
(1979).
- 2 Dávid,L.: A watershed development approach to the eutrophication  
problem of Lake Balaton. Draft (1978).
- 3 Szidarovszky F.,Yakowitz,S.,Dávid L.: Tározók feliszapolódásának  
direkt szimulációs modellje. VIKÖZ-University of  
Arizona,Tanulmány.
- 4 Wittmann I.,Telegdi L.,Hoffmann Gy.,Bolla M.,Bogárdi I.:  
A balatoni vízgyűjtő és üledék eutrofizációs  
hatásának modellezése. A Neumann János Számítógép-  
tudományi Társaság 9. "Számítástechnikai és kiberne-  
tikai módszerek alkalmazása az orvostudományban és  
a biológiában" kollokviumának anyaga, Szeged,1979.

Szennyvíz-csatorna hálózat szennyezettségének  
ellenőrzése

Géczy László<sup>✱</sup>, Tóth János<sup>✱</sup>, Bodnár József<sup>✱</sup>, dr. Izsó Lajos<sup>✱</sup>  
Veres Sándor<sup>✱✱</sup>

A városiasodás folyamata magával hozza az infrastruktúra jelentős fejlődését, a különböző szolgáltatások fokozott igénybevételét. Az ipari létesítmények ezekre a szolgáltatásokra kisebb mértékben tartanak igényt, de nem nélkülözhetik egyes ágazatainak közvetlen kapcsolódását a napi feladataik megoldásához.

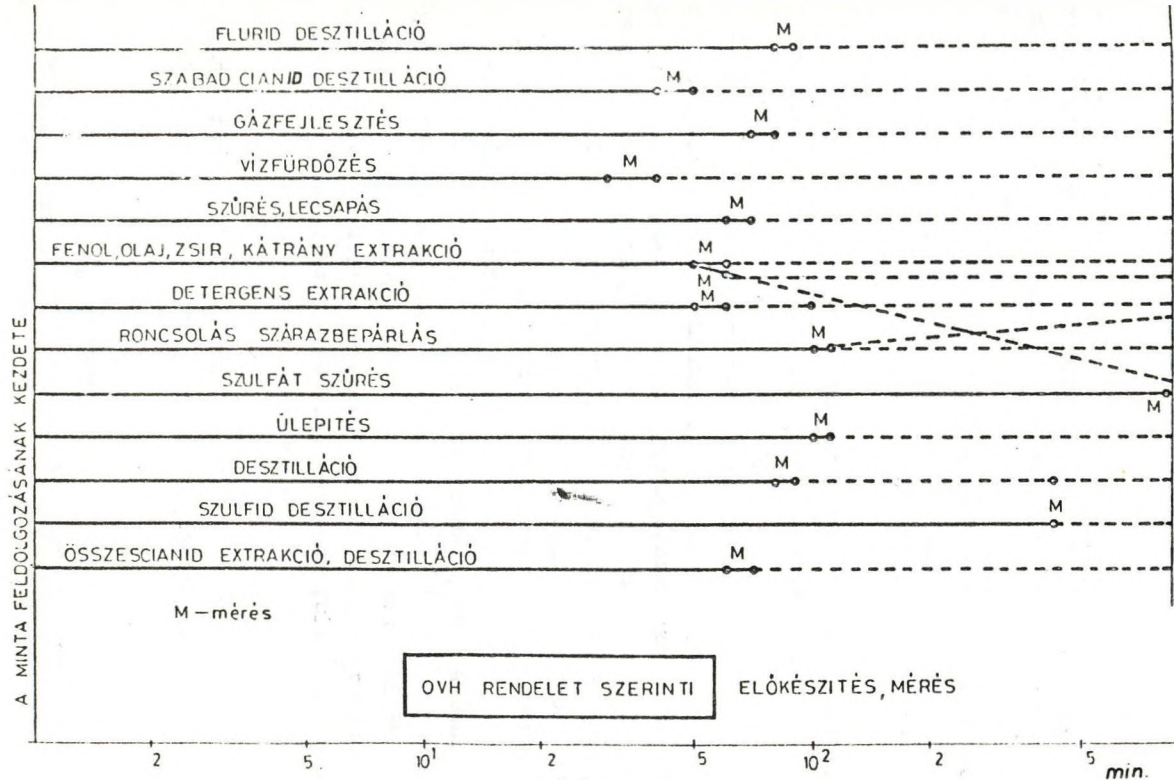
A városi életmód és az ipar jelentős szennyvíz kibocsátása a környezetre veszélyes tényező. Az élővizek fokozottabb védelme megköveteli a szennyvizek tisztításának eredményesebb megoldását, esetlegesen többlépcsős megoldásban. Ma már kivánalom a nagyobb vízfelhasználó üzemekkel szemben, hogy a szennyezők fő komponenseit az üzem területén kiválasszák a szennyvízből mielőtt még az elhasznált vizet városi csatorna hálózatba vezetnék.

Budapesten a Fővárosi Csatornázási Művek feladata a csatorna hálózat kiépítése, fenntartása és a szennyvizek tisztítása.

Ezen összetett feladatot csak megfelelő szervezéssel, az ellenőrző munka automatizálásával, valamint az adatok számítógépes feldolgozásával lehet elérni. Az összetett rendszerben vizsgáltuk a jelenleg érvényben lévő Országos Vízügyi Hivatal előírásai szerint végzendő analízis időigényeit /l.ábra/, amelyek alapján a laboratórium fejlesztési terve kidolgozható.

✱ Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola

✱✱ Fővárosi Csatornázási Művek



4. ábra

A fejlesztést befolyásolja az is, hogy jelenleg évente 1-2 alkalommal csak kb. 300 üzemet képes ellenőrizni a Fővárosi Csatornázási Művek Vizvédelmi-laboratóriuma, de már a jelenlegi vizsgálati igény is jóval nagyobb. Fenti vizsgálati igény a fokozott ellenőrzési elírások miatt még tovább fog növekedni.

A komplex vizvizsgáló rendszer hatékonysági mutatójaként alkalmazhatjuk az 1 komponens egyszerű meghatározásához szükséges idők  $t_i$  összegét:

$$T = \sum t_i$$

$$t_i = t_{ie} + t_{im}$$

ahol

$t_{ie}$  a vizsgálathoz szükséges mintaelőkészítési idő

$t_{im}$  a tulajdonképpeni mérés ideje.

Az 1. ábrán látható, hogy az érvényes rendeletek szerint végzendő meghatározásoknál az időigény nagyobb részét az előkészítési idők jelentik, ezért a rendszer működésének optimalizálását / a T minimalizálását / több módon lehet elvégezni:

- Olyan új módszerek kidolgozásával és alkalmazásával, amelyek az előkészítési időt lényegesen lecsökkentik /extrakciós módszerek kiküszöbölése/ vagy esetleg teljesen feleslegessé teszik /röntgen spektrometria/.

- Számítógéppel vezérelt, több hasonló vagy különböző mérőberendezés szimultán működtetésével /folyamatos fotometriás vagy folyamatos atomabszorpciós mérő rendszer/.

- Olyan új mérési eljárások kidolgozásával, melyek a tényleges mérési időt csökkentik /ionszelektív elektródok/.

A T minimalizálása azonban nem független a költségtényezőktől, mivel a legegyszerűbb megoldás nagyteljesítményű /nagy költségkihatású/ célberendezések beszerzése lenne, amely rövid előkészítési idővel és nagy sebességgel üzemelne. A költségfüggvény vizsgálatát önmagában azért nem tartjuk elégségesnek, mert a vizsgálatok számának növekedése következtében a régi módszerek amúgysem feleltek meg a rohamosan növekvő követelményeknek és ez eleve új műszerek, berendezések beszerzését igényelte a laboratórium kapacitásának növelése mellett. A tényleges célfüggvény, amelyet vizsgálni célszerű, a ráfordítási idő és a ráfordítási költség lineáris kombinációja.

Vizellátás tervezéstechnológiai folyamatának  
rendszer szemléletű vizsgálata.

dr. Kocsondi Csaba - Pallós Gábor - Remetey F. Gábor

Az építéstervezési tevékenység, mint a beruházási-  
építési tevékenység hatékonyságát és átfutási idejét  
alapvetően meghatározó folyamatrész vizsgálata a  
népgazdaság fejlődésének jelen időszakában alapvető  
fontosságú.

Fejlesztése népgazdasági érdek, amely megköveteli  
az egész tervezési tevékenység átértékelését, fel-  
adat és tevékenységi körének vizsgálatát.

A korszerű rendszerelmélet alkalmazása fontos segít-  
ség ebben a munkában.

Tanulmányunkban a vizgazdálkodási tervezés területén  
megindult rendszer szemléletű vizsgálatok egy konkrét  
eredményét ismertetjük, remélve, hogy a közölt ered-  
mények hozzájárulnak az országszerte kibontakozó munka  
módszertani tapasztalatainak elmélyítéséhez.

Az ismertetés a VIZITERV-nek a magyar-szovjet műszaki-  
tudományos együttműködés keretében a regionális viz-  
ellátó rendszerek és települések vizellátásának terve-





zési tevékenysége vizsgálatánál magyar részről végzett munka első részének-a települések vizellátás-tervezési folyamatának-elemzési módszerét ismerteti.

A vizsgálat alapvető célja a tervezési folyamat rendszerének és fő összefüggéseinek megismerése és a számítógép alkalmazási lehetőségeinek rendszerszemléltető vizsgálata.

Az alkalmazott tervezéstechnológiát a tervezési folyamat szerkezete, kapcsolatrendszere és az alkalmazott műszaki információs anyagok és eszközök színvonala együttesen jellemzik.

A települések tervezési folyamatainak vázlatos szerkezetét és kapcsolatrendszerét az 1. ábra szemlélteti.

A folyamat szerkezetét vizsgálva megállapítható, hogy az tervezési munkafázisokra, a munkafázisok tervezési műveletekre és a műveletek számos elemi műveletre bonthatók.

A fő munkafázisok:

- a tervezési alapadatok értékelése
- kiegészítő tervezési adatok gyűjtése, értékelése
- általános terv kidolgozása /konceptióalkotás, méretezés/
- részlettervek kidolgozása
- dokumentálás.

A folyamat kapcsolatrendszerét a tervezést végrehajtó szakembercsoport és az általuk végzett tevékenységek

funkcionális kapcsolata jellemzi.

A tervezési művelet szintű vizsgálat a vizsgált tervezési tevékenység hálótervének összeállításával válik teljessé.

A hálós ábrázolás lehetőséget biztosít a tervezési folyamat áttekinthető bemutatására és az ésszerűsítések jól érzékelhető megjelenítésére.

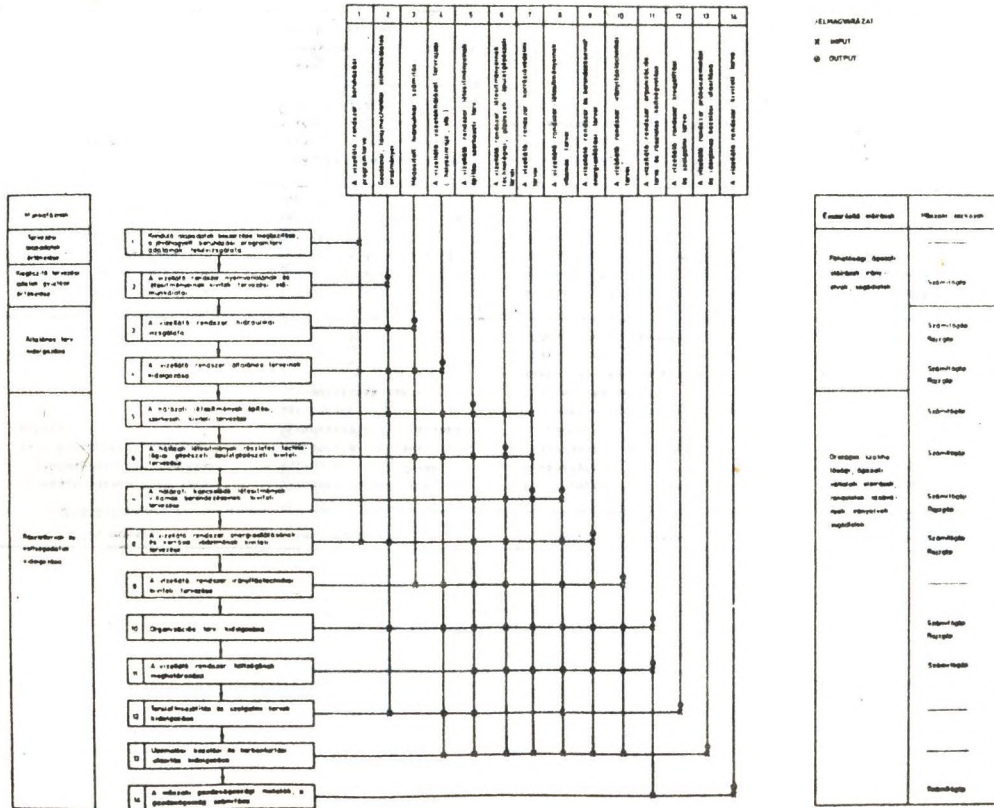
A számítógép alkalmazásának vizsgálatára és a fejlesztési igények kijelölésére jó segítséget nyújtott a tervezési munkafázisok, tervezési információk és számítógépi alkalmazás grafikus és táblázatos áttekintése. A munka közbeni eredményeit a 2. sz. ábra és az 1. sz. táblázat részlete szemlélteti.

A közölt sémákhoz hasonló grafikus és táblázatos feldolgozások segítségével jól áttekinthetővé válik a tervezési munkafázisokhoz hozzárendelhető művelet, információs igény, segédeszköz és számítástechnikai alkalmazási lehetőség.

A rendszerszemléletű vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a jelenlegi tervezési technológiára jellemző

- az invencióra alapozott, az irányító tervező személye által erőteljesen meghatározott tervezés;
- a tervezési folyamat erőteljes tagoltsága és programozásának hiánya;

A LAJOTTI TELEPÜLÉSEK VÍZELLÁTÁSI TERVEZÉSTECHNOLÓGIÁJÁNAK VÁZLATOS INFORMÁCIÓS ÉS FUNKCIONÁLIS MODELLJE  
KIVITELI TERV



2. ábra

1. sz. táblázat  
/részelet/

Tervezési műveletek ÁTTP jellemzői  
kivitelezéssel

Sorsszám	Tervezési művelet megnevezése	Információ forrás	Művelet eredménye	Szükséglet az államháztartáson kívülről
1.	Kiinduló adatok beszerzése a jövőhez kötött ber. program-terv adatainak felülvizsgálata	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jövőhez kötött ber. program</li> <li>- települési vizsgálatok</li> <li>- regionális rendszer adatai</li> <li>- távközlési és energiatárolás adatai</li> <li>- előmunkálatok adatai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ber. program felülvizsgálati eredményei</li> <li>- vizsgálatok felülvizsgálati eredményei</li> <li>- regionális rendszerhez történő osztályozás adatai</li> <li>- távközlési és energiatárolás adatai</li> <li>- előmunkálatok eredményei</li> </ul>	Előmunkálati adatok felülvizsgálata.
2.	A vízellátó rendszer nyomonkövetésének és létszámbevételek kivitelezésének tervezési előmunkálati.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- belyszinuszok</li> <li>- részletes technikai felmérések és geodéziai felvételek</li> <li>- szaktanácsadói bejárások jegyzékben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a hálózat és a hálózati létesítmények helyi felmérése</li> <li>- hálózati előmunkálatok eredményei</li> </ul>	Előmunkálati adatok felülvizsgálata.
3.	A vízellátó rendszer hidraulikai vizsgálata.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a hálózat módosított helyszínrajza, hosszleírása</li> <li>- hálózati létesítmények helye, jellemző adatai</li> <li>- regionális rendszerrel kapcsolatos adatai</li> <li>- országos és berendezési jellemző adatai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a hálózat hidraulikai jellemzőinek adatai</li> <li>- a berendezések adatai</li> </ul>	A hálózat hidraulikai méretezési adatainak felülvizsgálata.

- a tipizált műszaki megoldások széleskörű alkalmazása;
- a mérnöki számításoknál a kézi, számítási eljárások széleskörű alkalmazása és a gépi számítási módszerek mérsékelt használata.

A vizsgálat adatai segítségével:

- kijelölhetők a tervezési folyamat továbbfejlesztésének irányai és feladatai;
- programozhatóvá, áttekinthetővé és ellenőrizhetővé tehető a tervezés;
- kijelölhetők és rendszerbe foglalhatók a számítógép alkalmazás feladatai és a fejlesztés programja.

A VIZITERV a vizsgálatok alapján megkezdte a tervezési folyamat egyidejű korszerűsítése mellett a hatékonyságot és termelékenységet jelentősen növelő számítógépi programrendszerek kidolgozását.





