Dávid László—Nagy Péterné—Stahl János

A Tiszalöki Öntözőrendszer vízkormányzási modelljei

A következő két modell az Országos Vízügyi Hivatal által elrendelt *Tisza-völgyi Vízgazdálkodási Rendszer vízkormányzásának számítógépi irányítása* c. fejlesztési terv már megvalósult része, amely arra a szervezési állapotra épült fel, hogy a csatornák mentén jelentkező vízigényeket a felhasználók már meghatározott tervek szerint igénylik.

A modellek a Tiszántúli Regionális Vízmű és Vízgazdálkodási Vállalat debreceni kirendeltségéhez tartozó Tiszalöki Öntözőrendszer (TÖR) működtetéséhez nyújtanak segítséget az eddigi, főként tapasztalatra alapozott működtetés helyett.

1. A modellezendő rendszer jellemzése

Az öntözőrendszer a Tiszántúlon kb. 3000 km² területet hálóz be. Alapelemei a csatornák és az egyes csatornaszakaszokat összekapcsoló zsilipek, illetve a csatornák találkozási pontjai. A zsilipek és a találkozási pontok között az a különbség, hogy a zsliipeknél az átbocsátott víz mennyiségét az üzemeltető határozza meg, a találkozási pontok pedig folyamatosan és bármikor továbbengedik a hozzájuk érkező vizet.

A fürtök egymáshoz csatlakozó csatornák meghatározott együttesei. A létesítményrendszer három fő ágból (két főcsatorna és közöttük egy főgyűjtő) és az ezek által határolt területeken fekvő fürtökből épül fel. Az öntözőrendszert (jelenleg) két főzsilipen keresztül a Tiszából látják el vízzel.

A TÖR-nek számos feladata van. El kell látnia vízzel kb. 65 000 ha-nyi mezőgazdasági területet. Ez a víz mezőgazdasági kultúrák öntözésére, halastavak vízigényének kielégítésére stb. szolgál. Ezen kívül a rendszer számos helyén vannak ipari- és ivóvíz igények, sőt az utóbbi időben üdülési célokat szolgáló vízfelhasználás is van. Ennek a csatornarendszernek feladata még meglehetősen nagy vízmennyiség átszállítása a Tiszából a Körösvölgybe. A Körösvölgy vízpótlásához szükséges vízmennyiség a rendszert két kivételi ponton terheli.

A Tisza vízhozamának, az időjárás változásának és az igények jelentkezésének együttes hatásaként a rendszerben háromféle üzemi állapotot különböztetünk meg.

Normál üzemi állapotról akkor beszélünk, ha a Tisza vízkészlete elég nagy az összes igények kielégítésére és a rendszer kiépítettsége nem gátolja sehol a szükséges mennyiség átvitelét. Tapasztalat szerint ez az összes üzemidőszak kb. 80%-ában így van.

Korlátozásos az az *üzemi állapot*, amikor vagy a Tiszából nem vehető ki az igények összegének megfelelő vízmennyiség, vagy a rendszeren nem lehet átszállítani annyi vizet, hogy minden igénylőhöz eljusson a megfelelő mennyiségű víz. A teljes üzemelési időszaknak — ez ma már gyakorlatilag az egész év — kb. 5%-a ilyen.

Az összes üzemidő kb. 15%-át az ún. *belvizes üzemi állapot* teszi ki, mely általában rendkívül csapadékos időszakokban fordul elő.

Matematikai modellt a normál- és a korlátozásos üzemi állapotokra dolgoztunk ki. A belvizes üzemi állapottal azért nem foglalkoztunk, mert ott az üzemeltetés feladatai lényegesen eltérnek a másik két üzemi állapot feladataitól. Normál- és korlátozásos állapotban a legfontosabb a jelentkező (viszonylag nagy) igények teljes vagy nagymértékű kielégítése. Ilyenkor a belvizek az igényeket legfeljebb csökkentik. Belvizes állapotban viszont a nagy károkat okozó belvizek gyors elvezetése a cél; egyébként is a jelentkező igények ilyenkor igen kicsik, legtöbbjük nulla.

2. A létesítményrendszer fizikai adottságainak modellje

Mindkét modellezett állapotnál a rendszer fizikai sajátosságaiból indulunk ki. Modelljeink a rendszer üzemelését egymást követő, egyenlő hosszúságú időszakokban írják le. Egy-egy ilyen időszak hossza T.

Egy időszakban egy csatornarészen különféle felhasználói igények kielégítésére, szivárgási veszteségek pótlására stb. kell vizet biztosítani. A víz elvonulásához bizonyos idő kell. T-t úgy választjuk meg, hogy a megfelelő vízmennyiség biztosításához a megelőző időszak egy időpontjában kell a csatornák beeresztő zsilipjét beállítani. Egy-egy számítás mindig egy meghatározott időszakban biztosítandó vízmennyiségekre vonatkozik majd, de a normál üzemi állapot esetében két időszakra — a szóbanforgó és az azt megelőző időszakra — adódnak operatív üzemelési feladatok. A számítások sorozatát figyelembe véve azonban a rendszer egy meghatározott műtárgyára vagy mindig az aktuális időszakra, vagy mindig a megelőző időszakra eső tevékenységről van szó.

A csatornarendszernek egy $G = [N, A]$ irányított kör nélküli gráfot feleltetünk meg. A gráf N-beli csúcspontjai a rendszer bizonyos zsilipjeinek, illetve csatorna találkozási pontjainak, A-beli élei pedig ezek között a zsilipek között elhelyezkedő fürtöknek, vagy csatornaszakaszoknak felelnek meg. A modellezésnél figyelembe vett zsilipeket az üzemeltetés és nem a modellezés szempontjából választottuk ki; kidolgozott modelljeinkkel sokkal több csúccsal, illetve éllel rendelkező hálózatot is lehet kezelni.

Az élek irányítását a víz lefolyásának iránya adja meg. Az él x-nek megfelelő zsilipjét felső zsilipnek, y-nak megfelelő zsilipjét pedig alsó zsilipnek fogjuk nevezni. S-sel jelöljük azon zsilipeknek megfelelő pontok halmazát, ahol a víz beléphet a rendszerbe.

Minden (x, y) élhez megadható egy $c_1(x, y)$ és egy $c_2(x, y)$ szám, melyek az x-nek és y-nak megfelelő zsilipek, illetve az (x, y)-nak megfelelő fürt vagy csatorna műszaki állapotára együttesen jellemző, jól definiált értékek. $c_1(x, y)$ azt adja meg, hogy az x-nek megfelelő felső zsilipen keresztül maximum mennyi víz áramoltatható T idő alatt a rendszer (x, y)-nal reprezentált részébe; $c_2(x, y)$ pedig azt a legnagyobb vízmennyiséget jelenti, amennyi az y-nak megfelelő alsó zsilipen keresztül elhagyhatja a rendszer (x, y)-nak megfelelő részét T idő alatt.

A G gráfot úgy feleltetjük meg a rendszernek, hogy az igényeket mindig élekhez rendeljük, még akkor is, ha az eredeti rendszerben egy igény csomópontban (pl. a körösvölgyi vízleadási kötelezettségnél) jelentkezik. A rendszer (x, y)-nak megfelelő részében jelentkező vízigények összegét $F(x, y)$-nal fogjuk jelölni. Megjegyezzük, hogy minden programozott T időintervallumra, illetve minden (x, y)-ra $F(x, y) > 0$, mert a rendszer üzemelése közben fellépő szivárgási veszteséget pótolni kell. A szivárgási veszteséget minden (x, y) élhez előre meghatározott értéknek tekintjük. Ez a feltevés a tenyészidőszak (április 1.—szeptember 30.) kezdetétől számított rövid ún. telítődési idő után jogosnak látszik.

3. A rendszer működtetésének legfontosabb szempontjai

Az eddigiek szerint adva van az öntözőrendszer, melynek bizonyos helyein vízigényeket kell kiszolgálni. A víz a Tiszában — részben, vagy teljesen — rendelkezésre áll, de a vízkészlettel mindig takarékoskodnunk kell. Maga a vízáramlás az öntözőrendszerben a zsilipekkel irányítható.

Feladatunk elsősorban az, hogy a rendszer működtetésére olyan modelleket készítsünk, amelyekből megadhatjuk azokat a vízmennyiségeket, melyeket az egyes zsilipeken át kell bocsátani ahhoz, hogy a rendszer vízszállító kapacitását sehol ne lépjük túl. Mindezt úgy kell megoldanunk, hogy minden igénylőhöz eljusson a teljes, vagy a maximálisan eljuttatható mennyiségű víz; és a Tiszából csak valamilyen felhasználói igényt kielégítő vizet vegyünk ki. A rendszer (x, y) élekkel reprezentált részeihez tartozó ilyen vízmennyiségek együttesét *lehetséges folyamnak* fogjuk nevezni. Az üzemeltetés jelenlegi, tapasztalati alapon folyó rendszerében a most megfogalmazott feladat megoldása nem mindig lehetséges.

Az öntözőrendszer két fő vízkivételi pontjából kb. 40 igénypontba kell vizet juttatnunk. Az igénypontok legtöbbje úgy helyezkedik el a rendszerben, hogy nem egyetlen (csatornák alkotta) úton juttatható el hozzá a megfelelő vízmennyiség. Ha azokat az utakat, vagy azon utak egy részét, melyekenaz egyes igénylőkhöz el akarjuk juttatni a vizet, előre meg is határoznánk, akkor (egy időperiódus alatt) az utak közös szakaszain (sok ilyen lenne) gyakran kapacitáskorlátokba ütköznénk, mert a különböző utakon adódó vízmennyiségek összege meghaladná az átbocsátóképességet. Az eddigi üzemeltetésnél ez azt jelentette, hogy időnként nem tudtak kielégíteni olyan igényeket, melyek a lehetőségek jobb megvizsgálása esetén kielégíthetők lettek volna.

A tapasztalati alapon történő működtetés egy másik, az előbbivel azonos eredetű hibája volt, az hogy gyakran nagy vízveszteséggel dolgozott. Jóval nagyobb mennyiségű vizet emeltek ki a Tiszából, mint a vízigények összege és a felesleges vízmennyiség szükségtelenül folyt át a Körösvölgybe. Kidolgozott modelljeinknél ennek kiküszöbölését is célul tűztük ki: megköveteljük, hogy a Tiszából kivett vizet valahol felhasználják.

4. A normál üzemi állapotra kidolgozott modell

Az előző pontban leírtuk azokat a szempontokat, amelyek a modellalkotásnál elsődleges szerepet játszottak. Ezek a felhasználók igényeinek kielégítését és a vízkészlettel való takarékosságot célozzák, az üzemeltetés szempontjai közül pedig csak azt veszik figyelembe, hogy a korábban említett feltételek és fizikai jellemzők szerint az öntözőrendszerben le lehessen bonyolítani a víz elszállítását a Tiszából az igénylőkhöz. A normál üzemi állapot modellje azonban még más üzemeltetési szempontot is figyelembe vesz.

A hálózat bizonyos (x, y) éleire megadható egy $t_{(x,y)}$ (V) függvény, mely azt mutatja, hogy mennyi idővel kell a vizsgált T hosszúságú időszak kezdete előtt az x-nek megfelelő zsilipet kinyitni, ha a zsilipen az élen jelentkező felhasználói igények ,szivárgási veszteségek és a továbbítandó mennyiségek összegének megfelelő V mennyiségű vizet kell átbocsátani. Minthogy egy nagyobb vízmennyiség rövidebb idő alatt vonul le, mint egy kisebb, $t_{(x,y)}(V)$, $V > 0$-ra V-nek monoton csökkenő függvénye. A T időintervallumot úgy választjuk meg, hogy $t_{(x,y)}(V) \leq T$ az (x, y)-on szóbajövő V-kre. Olyan lehetséges folyamot akarunk most meghatározni, melyre az időszak kezdete előtti legkorábbi beavatkozási, azaz zsilipállási időpont a lehető legkésőbbi. Ugyanakkor, amikor a legkorábbi zsilipállítási időpont a legkésőbbre kerül (a szóbanforgó időszak kezdetéhez képest) a zsilipterhelések is egyenletesebbé válnak.

4.1. *A feladat matematikai modellje*

Minden $(x, y) \in A$-ra meg kell határozni azokat az $f(x, y) \geqslant 0$ számokat, [mely az (x, y) él saját vízigényeinek és az élen továbbítandó vízmennyiségeknek az összegét reprezentálja], melyek kielégítik az alábbi feltételeket:

$$(4.1) \qquad f(x, y) \geqslant F(x, y), \qquad (x, y) \in A$$

$$(4.2) \qquad f(x, y) \leq c_1(x, y), \qquad (x, y) \in A$$

$$(4.3) \qquad f(x, y) - F(x, y) \leq c_2(x, y), \qquad (x, y) \in A$$

$$(4.4) \qquad \sum_{y \in N^-(x)} [f(y, x) - F(y, x)] = \sum_{y \in N^+(x)} f(x, y) \qquad x \notin S$$

$$N^-(x) = \{y | (y, x) \in A\}, \quad N^+(x) = \{y | (x, y) \in A\}$$

$$(4.5) \qquad \sum_{S \in S} f(s, y) = \sum_{(x,y) \in A} F(x, y)$$

$$(4.6) \qquad \max_{(x,y)} t_{(x,y)} [f(x, y)] \to \min.$$

A (4.1)–(4.4) feltételek azt fejezik ki, hogy az $f(x, y)$ számok egy lehetséges folyamot határozzanak meg. (4.1) szerint az (x, y) élre legalább annyi víz érkezik, mint az él saját igénye. (4.2) biztosítja, hogy az élre legfeljebb annyi víz érkezhet, mint a felső zsilip átbocsátóképessége. (4.3) teljesülése esetén az (x, y) él alsó zsilipjéhez nem érkezik több víz, mint amennyit kapacitása T idő alatt megenged. A (4.4) feltétel szerint a csomópontoknál nincs vízkivétel, vagyis a zsilipekhez érkező összes vizet tovább engedjük. (4.5) felel meg annak a célkitűzésünknek, hogy a Tiszából feleslegesen ne vegyünk ki vizet. (4.6) szerint a lehetséges folyamok közül egy olyat választunk, mely a rendszerben a lehető legkésőbbi beavatkozást teszi lehetővé.

A (4.1)—(4.6) feltételrendszert megoldva a kapott $f(x, y)$ értékek adják az (x, y) él felső zsilipjénél bebocsátandó vízmennyiséget, a $t_{(x,y)}\,[f(x, y)]$ értékek pedig a T intervallum kezdete előtt szükséges beavatkozási időket.

4.2. *A „normál modell" megoldása*

A leírásban már eddig is Ford és Fulkerson ismert terminológiájához [L. R. Ford jr. and D. R. Fulkerson: *Flows in networks,* Princeton University Press, 1962] alkalmazkodtunk, mivel a megoldáshoz az ott található *out-of-kilter* algoritmust használjuk fel.

A megoldáshoz a $G = [N, A]$ hálózatot a következőképpen alakítjuk át. Minden (x, y) élt helyettesítünk egy (x, y_1), (y_1, y) élpárral. Jelöljük R^*-gal az y_1 típusú pontok halmazát, S^*-gal pedig az eredeti S halmazt. Egészítsük ki hálózatunkat a r^* és s^* pontokkal. Legyen $N^* = N \cup R^* \cup r^* \cup s^*$. Vezessünk s^*-ból $\forall s \in S^*$ pontba $\forall r \in R^*$-ból r^*-hoz és r^*-ból pedig s^*-ba egy-egy élt. A *-gal jelöljük az új hálózat éleinek halmazát.

A $G^* = [N^*, A^*]$ hálózat élein a kapacitást definiáljuk a következő módon:

$$c^*(x^*, y^*) = \begin{cases} c_1(x, y), & \text{ha az } (x^*, y^*) \text{ él } (x, y_1) \text{ típusú} \\ c_2(x, y), & \text{ha az } (x^*, x^*) \text{ él } (y_1, y) \text{ típusú} \\ F(x, y), & \text{ha az } (x^*, y^*) \text{ él } (y_1, r^*) \text{ típusú.} \end{cases}$$

Értelmezzünk alsó korlátokat is az élekhez. (Alsó korlát megadása egy élen azt jelenti, hogy T idő alatt legalább annyi vizet át kell bocsátanunk rajta, mint az alsó korlát értéke).

$$l^*(x^*, y^*) = \begin{cases} 0 & , \text{ ha } (x^*, y^*) \neq (r^*, s^*) \\ \sum\limits_{(x,y)\in A} F(x, y), & \text{ha } (x^*, y^*) = (r^*, s^*). \end{cases}$$

Ebben a hálózatban egy lehetséges folyam nyilvánvaló módon feleltethető meg a 4.1.—4.5. rendszer egy megoldásának.

A célfüggvény minimalizálása az alsó-korlát feltételek módosításával történik, mivel a $t_{(x,y)}(V)$ függvények monotonitása következtében egy $t_{(x,y)}(V) \leq \leq \tau$ feltétel ekvivalens egy $f(x, y) \geq l$ alakú feltétellel. A $t_{(x,y)}$ függvény monoton csökkenő voltából következik, hogy l a τ-nak monoton nem növekvő függvénye. Ez azt jelenti, hogy ha egy él felső zsilipjénél csökkenteni akarjuk a szükséges beavatkozási időt, akkor egyre nagyobb mennyiségű vizet kell erre az élre „kényszerítenünk" [természetesen $f(x, y)$ értékét felülről a $c_1(x, y)$ mindenképpen korlátozza].

A megoldást a következő algoritmussal kapjuk:

4.a Adott a $G^* = [N^*, A^*]$ hálózat, a $c^*(x^*, y^*)$ kapacitások. Az $l^*(x^*,y^*) = 0$, ha $(x^*, y^*) \neq (r^*, s^*)$, $l^*(r^*, s^*) = \sum\limits_{(x^*,y^*)\in A} F(x^*, y^*)$.

Bizonyos élekre adottak a $t_{(x^*,y^*)}(V)$ függvények. Δt adott érték, $I = 1$.

4.b Az out-of-kilter algoritmus segítségével lehetséges folyamot keresünk. — Ha nincs ilyen: 4.d. Ha van: 4.c.

4.c $I = I + 1$

Megkeressük azt az $(x^*, y^*) \in A^*$ élt, amire

$$\tau = \max_{x^* \in N^*} \max_{y^* \in N^*(x^*)} t_{(x^*, y^*)}[f(x^*, y^*)]$$

$\tau^* = \tau - \Delta\tau$. $l(x, y)$ legyen az a V, amire $t_{(x,y)}(V) = \tau^*$. Folytassuk 4.b-től.

4.d Ha $I = 1$, akkor az aodtt igényeket nem lehet kielégíteni (korlátozásos üzemi állapot).

Ha $I > 1$, akkor az I-ik lépésben kapott $f(x, y)$ rendszerből megkaphatjuk a zsilipeken átbocsátandó vízmennyiségeket, illetve a zsilipnyitási időpontokat.

5. A „normál modell" számítógépes futtatási tapasztalatai

Az első kísérleti üzem 1973-ban egy hétig tartott. Az ennek tapasztalatai alapján 1974-ben végrehajtott többhetes próbaüzem sikeres volt.

Az algoritmust IBM 360/40 gépre FORTRAN-4 nyelven programoztuk. A kibővített G^* hálózat pontjainak száma kb. 60, éleinek száma pedig kb. 120. A $t_{(x,y)}(V)$ függvény kb. 20 élre van adva; (4.6)-ban a maximalizálás ezekre az (x, y)-okra szól. A 4.b pontnak megfelelő lehetséges folyamkereső eljárás maximális futási ideje 50 sec volt; $I > 1$-re általában 10 sec-nél kevesebb. I maximális értéke 5–6 volt, így az egész algoritmus, tehát a közel optimális (τ értékeit Δt-vel csökkentettük) beavatkozási idő megkeresése nem tartott tovább 120 sec-nál. $T = 6$ órára programoztunk, $I = 1$ és az optimumot adó I között a célfüggvény értéke általában 2 órával (5 óráról 3-ra) csökkent. Megjegyezzük, hogy a számításoknál Δt értékét 6 percre választottuk.

6. A korlátozásos üzemi állapotra kidolgozott modell

A korábbiak szerint korlátozásos üzemi állapotról akkor beszélünk, ha vagy a Tisza vízkészlete nem elég az igények összegének kielégítésére, vagy a rendszer kiépítettsége (vízszállító kapacitása) szab határt annak, hogy a rendszer minden részébe eljusson az igényelt mennyiségű víz. Nem nehéz észrevenni, hogy ez a két lehetőség a mi szempontunkból tulajdonképpen nem különbözik egymástól, mert azt, hogy a Tisza vízkészlete kicsi, értelmezhetjük úgy, hogy a S beli zsilipek kapacitása kicsi.

Ennek a modellnek a kidolgozásánál is azt tekintettük feladatunknak, hogy lehetséges folyamot határozzunk meg úgy, hogy takarékoskodjunk a vízzel. Itt azonban a lehetséges folyam értelmezésénél el kellett tekintenünk attól a követelménytől, hogy az összes igénylő megkapjon minden szükséges vizet. Abból az általános gyakorlatból indultunk ki, hogy vízszegény időszakokban a vízhasználók igényeit a felhasználás jellege szerint kategóriákba sorolják és ezek között a kategóriák között a kielégítés szempontjából fontossági sorrendet állapítanak meg. A vízfelhasználást úgy korlátozzák, hogy a fontossági sorrend szerint egyre több fajta vízkivételt tiltanak meg.

Rendszerünkben ez azt jelenti, hogy az igényeket 8 kategóriába soroltuk: szivárgási veszteség pótlása, ivóvíz, ipari víz, kertészeti igények, szántóföld öntözése, rizs, halastó, üdülés céljait szolgáló igények. Minden kategórián belül (a szivárgási veszteség kivételével) az igényeket két alkategóriába soroltuk. A kategóriák között a fontossági sorrend a felsorolás sorrendjével esik egybe, a legfontosabb a szivárgási veszteség kategóriája. A kategóriákon belüli megosztás is olyan, hogy az egyik csoportba tartozó igények kielégítése fontosabb a másik csoportba tartozó kielégítésénél. A kategóriák és alkategóriák között megállapított fontossági sorrend segítségével minden igényhez egy-egy prioritási számot (0—14) rendeltünk. A legnagyobb prioritási számot abba a kategóriába tartozó vízigények kapták, amelyek kielégítésétől legelőször tekinthettünk el.

Megjegyezzük, hogy egy-egy élen általában többfajta vízigény is van, de természetesen nem szükséges az, hogy minden élen minden kategóriába tartozó igény jelentkezzen.

Feladatunk ekkor úgy fogalmazható meg, hogy határozzunk meg a zsilipeken átbocsátandó olyan vízmennyiségeket, melyekből a rendszer minden részében, a 0 prioritási szintből indulva, a prioritási sorrend szigorú figyelembevételével a lehető legmagasabb szintig ki lehet venni az igényelt vízmennyiséget, és a rendszerbe csak olyan víz jut be, amit valahol felhasználnak.

A korábbiakhoz képest a következő új jelöléseket vezetjük be:

M — a Tiszából kivehető vízkészletek, illetve az a meghatározható maximális vízmennyiség, amit a rendszer kapacitása megenged

$0, 1 \ldots, n$ — az összes pioritási szám

$K_{(x,y)}$ — megadja, hogy az (x, y) élen hányféle igény van. (A legfontosabb a legkisebb prioritású számú, a $K_{(x,y)}$-odik a kielégítés szempontjából a legkevésbé fontos)

$F^i_j(x,y)$ — az (x, y) élen jelentkező i-ik igény nagysága; a j index azt jelöli, hogy ez az igény a j-ik prioritási szinthez tartozik

$$i = 0, \ldots, K_{(x,y)}$$

$$j \in \{0, \ldots, n\}$$

[minden $i_{(x,y)}$-nak egyértelműen megfelel egy j].

Meg kell határoznunk azokat az

$$l_{(x,y)} \leq K_{(x,y)} \qquad (x, y) \in A$$

$$f^i_j(x, y) \qquad i = 0, \ldots, l_{(x,y)}, \quad j \in \{0, \ldots n\}, \quad (x, y) \in A$$

$$f(x, y), \qquad (x, y) \in A$$

értékeket, amelyekre:

$$f^i_j(x, y) \leq F^i_j(x, y) \qquad i = 0, \ldots l_{(x,y)}, \quad j \in \{0, \ldots n\}, \quad (x, y) \in A \tag{6.1}$$

$$f(x, y) \leq c_1(x, y) \qquad (x, y) \in A \tag{6.2}$$

(6.3) $$f(x, y) - \sum_{i=0}^{l(x,y)} f_j^i(x, y) \leq c_2(x, y) \qquad (x, y) \in A$$

(6.4) $$\sum_{y \in N^-(x)} [f(x, y) - \sum_{i=0}^{l(x,y)} f_j^i(x, y)] = \sum_{y \in N^+(x)} f(x, y) \qquad x \notin S$$

$$(x, y) \in A$$

(6.5) $$\sum_{(x,y) \in A} \sum_{l_{(x,y)}}^{i=0} f_j^i(x, y) = M$$

(6.6) $$\sum_{(x,y) \in A} \sum_{i=0}^{l(x,y)} j f_j^i(x, y) \to \text{minimális.}$$

$f_j^i(x, y)$ megadja, hogy az (x, y) élen a j prioritási számú igényből mennyit elégítünk ki. $f(x, y)$ pedig az a vízmennyiség, amit az x csomópontnak megfelelő zsilipen a rendszer (x, y)-nal reprezentált részébe be kell bocsátani.

A 6.2.–6.4. feltételek biztosítják, hogy az f_j^i és f értékek lehetséges folyamot reprezentáljanak, 6.5. pedig azt írja elő, hogy az összes rendelkezésre álló vizet felhasználjuk. 6.1.–6.5. és a célfüggvény együtt biztosítják, hogy az összes rendelkezésre álló víz felhasználásával a rendszer minden részében a 0 prioritási szinttől kezdve a lehető legmagasabb szintig elégítsük ki az igényeket.

Azáltal, hogy a prioritási számot egységnyi igény „kielégítési költsége"-ként kezeljük és az összes rendelkezésre álló víz felhasználását megköveteljük, a célfüggvényt minimalizáló megoldás olyan lesz, hogy minden élen minden kielégíthető szinten, (esetleg a legmagasabb kivételével) teljesen kielégíti az igényeket és az igények prioritását szigorúan figyelembe veszi. A meghatározott $l_{(x,y)}$ $(x, y) \in A$ azt mutatja, hogy az (x, y) élen hány prioritási szint van (esetleg a legmagasabb szint kivételével) teljesen kielégítve.

7. A korlátozásos modell megoldása

A $G = [N, A]$ hálózatot a megoldáshoz most is átalakítjuk. A különbség az előzőkhöz képest az, hogy a $r \in R^*$ pontok és az r^* pont körött nem egy, hanem annyi él van, ahány féle igény az eredeti (x, y) élen jelentkezik. Ezekre az élekre a kapcitás értéke $F_j^i(x, y)$. Minden ilyen élhez, az egységnyi folyam mennyiség átszállítási költségeként hozzárendeljük a megfelelő igény prioritási számát; az összes többi élen az átszállítás költségét 0-nak vesszük. Ekkor az *out-of-kilter* algoritmussal minimális költségű lehetséges folyamot keresve, feladatunk egy megoldáshoz jutunk.

A korlátozásos modell üzemi próbájára 1975-ben kerül sor.

(Beérkezett: 1974. október 14.)

WATER CONTROL MODELS FOR THE TISZALÖK IRRIGATION SYSTEM

We have elaborated models facilitating the operation of the irrigation system at „Tiszalök" under the normal and the constrained operating mode.

In the first part of the paper the structure of the system, its physical characteristics and duties are outlined. We write about the problems of the empirically controlled opera-

tion till now, and about the aspects which were important in the model building. We outline the mathematical models elaborated for the normal and the constrained operating mode and also their solutions, more-over the experiences gathered from runs of the normal model.

МОДЕЛИ ВОДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ТИСАЛЭКЕ

Нами разработаны модели, способствующие функционированию оросительной системы в Тисалэке, для нормального и ограниченного рабочего состаяния этой системы.

В первой части статьи мы рассказываем о структуре системы, её физических параметрах и задачах. Описываем проблемы функционирования, возникшие на основе опыта практического пользования, и о тех аспектах, которые были важны при моделировании. Описываем математические модели, разработанные на нормальные и ограниченные рабочие состояния системы, и решение этих моделей, а также опыт, приобретенный при введении нормальной модели.