

A HAJDÚHÁTSÁGI TÖBBCÉLÚ VÍZGAZDÁLKODÁSI RENDSZER KIÉPÍTÉSÉNEK GAZDASÁGILAG INDOKOLT ÜTEMEZÉSE

BOGÁRDI ISTVÁN* és SZIDAROVSKY FERENC**

[Beérkezett 1976. április 16-án]

A Hajdúhátasági Többcélu Vízgazdálkodási Rendszer Debrecen és a Hajdúhátaság társadalmi-gazdasági fejlődése érdekében javasolt megoldás. Feladata kielégíteni Debrecen ivó és ipari vízigényét, öntöző vízzel ellátni a hajdúhátasági löszhát területeket, megteremteni az alapot a vízparti üdülésre, valamint segíteni a süllyedő felszín alatti vízszint miatt előforduló környezeti problémákon. A rendszer gazdaságilag indokolt megvalósítási ütemezését dinamikus programozással állapítják meg. A célfüggvény minimálja tetszőleges hosszúságú időszakra a beruházási és üzemeltetési költségek, valamint a vízhiányokból származó károk várható értékének összegét. Az érzékenység vizsgálat elemzi a megváltoztatott bemenő adatok hatását az optimális ütemezésre

1. Bevezetés

A tanulmány célja, hogy a rendszerelemzés módszereinek segítségével javaslatot adjon a Hajdúhátasági Többcélu Vízgazdálkodási Rendszer (HTVR) kiépítésének gazdaságilag indokolt ütemezésére. A HTVR Debrecen és a Hajdúhátaság vízgazdálkodásának fejlesztése szempontjából javasolt megoldás. Feladata kielégíteni Debrecen ivó- és ipari vízigényét, öntöző vízzel ellátni a hajdúhátasági löszhát területeket, megteremteni az alapot a vízparti üdülésre, valamint segíteni a süllyedő felszín alatti vízszint miatt előforduló környezeti problémákon.

A javasolt teljes rendszer kiépítése kereken félmilliárd forintba kerül. Nyilvánvaló, hogy az ország teherbíróképességének megfelelően valószínűleg nem indokolt a rendszer egy lépésben történő kiépítése, de ugyanakkor nem célszerű az egyre növekvő problémák miatt a fejlesztés hosszú ideig történő elhalasztása sem.

Alapvető népgazdasági érdek, hogy csak olyan fejlesztéseket valósítsunk meg, amelyek népgazdasági szinten gazdaságosak és a fejlesztés ütemezését szintén gazdasági szempontból mérlegeljük. A tanulmány témája azért időszerű, mert a különböző jellegű ki nem elégített vízigények és a fejlesztési költségek együttes mérlegelése alapján elemzi, hogy gazdasági szempontból mennyi idő alatt és milyen ütemezéssel célszerű a HTVR-t létrehozni.

* Dr. Bogárdi István, 1055 Budapest, Markó u. 1.

** Dr. Szidarovszky Ferenc

A tanulmány a HTVR leírásával kezdődik, majd részletesen ismertetik a beruházások optimális ütemezéséhez alkalmazható dinamikus programozás módszerét. Számos külföldi és hazai példa mutatja, hogy ez a módszer előnyösen alkalmazható a kitűzött feladat megoldására. *Cél a rendszer kiválasztott hosszú időszakára a legkisebbre szorítani a beruházási és üzemelési költségek, valamint a vízhiányokból származó károk várható értékének összegét.* Bemutatjuk, hogy a célszerű ütemezést milyen lehetséges alternatívák közötti választással állapítja meg a dinamikus programozás módszere. Rámutatunk arra, hogy a numerikus megoldás a gyakorlatban számos esetben — a dinamikus programozás elvi alapjait megtartva — viszonylag egyszerű programozási feladat.

A tanulmány alapvető része az *érzékenység vizsgálata*, amelynek során elemezzük a megváltoztatott vízigények, kamatláb, valamint a vízhiányból származó fajlagos károk hatását. Az érzékenység vizsgálat lényeges segítséget nyújt a valóban célszerű ütemezés kiválasztásához.

Előljáróban szeretnénk lerögzíteni, hogy a tanulmányt egyidejűleg módszertani jellegűnek és gyakorlati alkalmazásnak tekintjük, hiszen a rendszer-elemzés ismert módszerét újszerű felfogásban alkalmazzuk fontos gyakorlati feladat megoldására.

Hangsúlyozni kell, hogy ilyen nagy volumenű regionális feladat megoldása számos műszaki, gazdasági és társadalmi szempont körültekintő vizsgálata révén lehetséges csak. Éppen ezért ezt a tanulmányt első lépésként kell tekinteni a HTVR megvalósítását előkészítő rendszer-elemzések szélesebb körében. Ebben az első közelítésben a rendszer különböző céljait gazdasági alapon fogalmazzuk meg. Tudatában vagyunk a jelentős társadalmi céloknak is és ezeket az optimalizálásba közvetett módon vonjuk be úgy, hogy gazdasági veszteséget, tehát kárt tételezünk fel bizonyos társadalmi célok ki nem elégítettsége következtében (például üdülési igény).

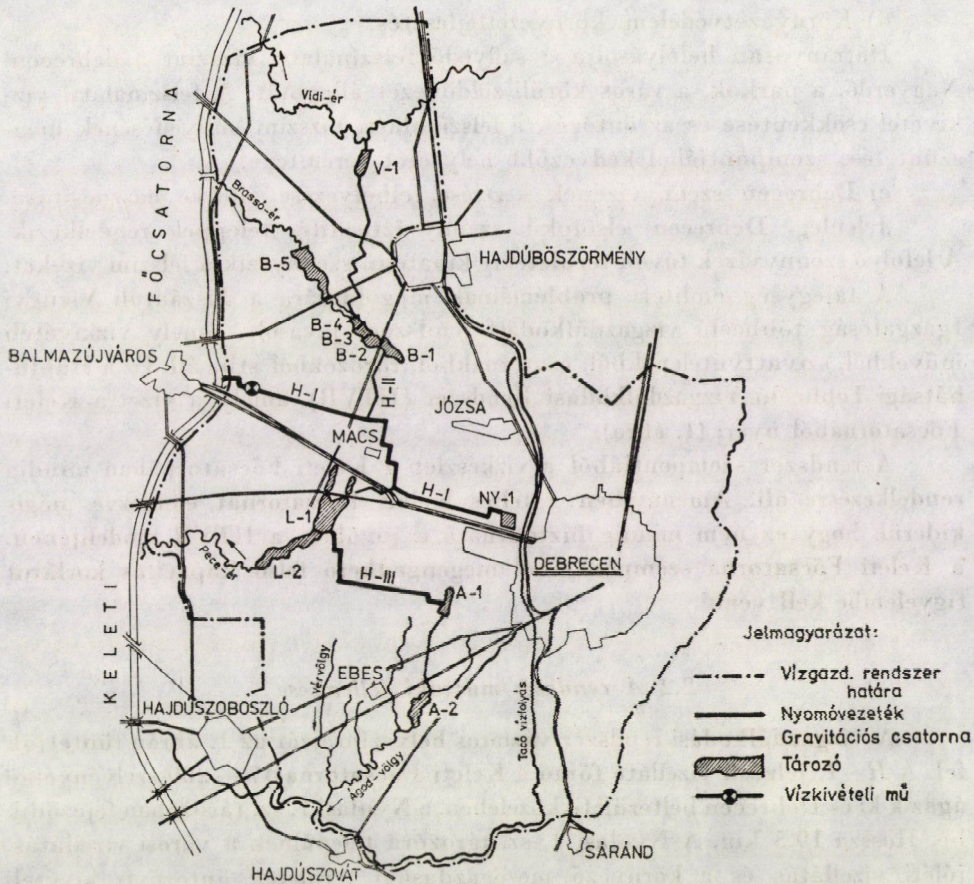
2. A HTVR ismertetése

2.1 Általános ismertetés

A HTVR-rel foglalkozó tanulmányok [1, 2] egybehangzó megállapítása, hogy a Hajdúháttság területén sürgős és fontos feladat a vízgazdálkodás fejlesztése. Vízgazdálkodási szempontból ugyanis Debrecen térségét és a Hajdúháttság területét az alábbi problémák jellemzik:

a) Debrecen ivó- és ipari vízigényének jelenlegi és távlati kielégítése.

Debrecen jelenleg az ivó- és ipari vízigényét felszínalatti vízkészletből elégíti ki. Mivel a vízadó rétegből kitermelt víz mennyisége már jelenleg is lényegesen több, mint a talajvíz természetes utánpótlódása, a felszínalatti vízszint folyamatosan csökken. 1913-ban a terepszint alatt 2—3 méterre volt,



1. ábra. A hajdúhátasági vízgazdálkodási rendszer helyszínrajza

ma már 20–32 méterre. A jelenlegi kitermelés mellett ez az érték 1990-ig várhatóan 65–60 méter lesz.

b) A hajdúhátasági löszháti területek öntözésének fejlesztése.

A Debrecenről nyugatra eső hajdúhátasági területek talaja, éghajlati viszonyai kedvezőek a hatékony öntözéses mezőgazdaság kialakítására. Jelenleg az öntözésben rejlő lehetőségek kihasználása kismértékű. Az eddigi tapasztalatok szerint az öntözés gazdasági eredményei az öntözéses gazdálkodás fejlesztését indokolják.

c) Vízparti üdülés fejlesztése.

Debrecenben és a Hajdúhátaság területén kevés a vízparti üdülésre alkalmas vízfelület. A vízparti üdüléshez fűződő jelentős társadalmi előny indokolja, hogy erre a célra is további felszíni vízből származó vízkészlet álljon rendelkezésre.

d) Környezetvédelem, környezetfejlesztés.

Hátrányosan befolyásolja a süllyedő felszínalatti vízszint a debreceni Nagyerdő, a parkok, a város körüli zöldövezet állapotát. A felszínalatti vízkivétel csökkentése és az öntözés, a felszínalatti vízszint süllyedésének megszüntetése szempontjából kedvezőbb helyzetet teremtene.

e) Debrecen szennyvizének kezelése, elhelyezése, illetve hasznosítása.

Jelenleg Debrecen elsőfokú szennyvíztisztító teleppel rendelkezik. A lefolyó szennyvizek távoli területekre kihatóan szennyezik a felszíni vizeket.

A tájegység említett problémáinak megoldására a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság többcélú vízgazdálkodási rendszert javasolt, amely vízkivételi művekből, szivattyútelepekből, csatornákból, tározókból stb. áll. Ez a Hajdúhásági Többcélú Vízgazdálkodási Rendszer (HTVR), amely a vizet a Keleti Főcsatornából nyeri (1. ábra).

A rendszer szempontjából a vízkészlet a Keleti Főcsatornában mindig rendelkezésre áll. Amennyiben a teljes Keleti Főcsatornát elemezve mégis kiderül, hogy ez nem mindig biztosítható a jövőben, a HTVR modelljében, a Keleti Főcsatorna szempontjából megengedhető felső kapacitás korlátot figyelembe kell venni.

2.2 A rendszer műszaki jellemzése

A vízgazdálkodási rendszer vázlatos helyszínrajzát az 1. ábrán tüntetjük fel. A $H-I$. jelzésű vízellátó főmű a Keleti Főcsatorna $47 + 200$ szelvényéből ágazik ki és Debrecen belterülete közelében, a Nyulasi 1. sz. tározóban fejeződik be. Hossza 19,5 km. A Nyulasi 1. sz. tározóra települnek a városi vízellátás, jóléti vízellátás és a környező mezőgazdasági területek öntözővíz kivételi művei. A $H-I$. vízellátó főműből két öntözési főmű ágazik le, észak felé a Brassó-ér, Vidi-ér területét érinti $H-II$., dél felé a Pece-ér, Ágod-völgyi területet átszelő $H-III$. csatorna. Ez a két vízvezető útvonal és a hozzákapcsolódó tározórendszer jelenti az öntözési főműveket. A $H-II$. csatorna hossza 16,7 km. A kiágazás után szerkezetileg nyílt gravitációs vasbetoncsatorna, amely a $B-1$, $B-2$, $B-3$, $B-4$ tározókban folytatódik, majd ismét vasbeton csatornaszelvényvel éri el a $V-1$ jelű tározót. A $H-III$. csatorna hossza 22,1 km. A kiágazás után fenéklépcsőkkel kialakított vasbeton csatorna, majd az $L-1$ tározón halad keresztül és innen kilépve ismét nyílt vasbeton csatorna szelvényben csatlakozik az $A-1$ tározóhoz. A csatorna egy közbenső, 1,5 km hosszúságú szakaszon a nagy bevágás miatt zárt-szelvényű, az $A-1$ és $A-2$ tározók között földmedrű csatorna. A $H-I$, $H-II$. és $H-III$. vízvezető útvonalakhoz kapcsolódó tározók főbb adatait az I. táblázatban foglaltuk össze.

A terv szerint a HTVR-ből nyernek vizet a Nyulasi tározók és a Nagyerdei tórendszer. A Tóócó völgyben, illetve Kondoros-Cserei-ág völgyében ter-

I. táblázat

A HTVR tározóinak főbb adatai

Tározó jele	Hasznos térfogat m ³	Tározó felület ha
B-1	0,44	24,0
B-2	0,40	19,5
B-3	0,20	13,5
B-4	0,30	18,5
B-5	2,74	164,0
V-1	0,44	29,0
L-1	4,00	214,0
L-2	3,30	165,0
A-1	0,50	29,0
A-2	1,10	64,5
Összesen	13,42	741,0
Ny-1	1,50	49,0
Mindösszesen	14,92	790,0

vezett tározók feltöltése és részben a vízpótlás is természetes vízkészletből történik, de vízfrissítést, aszályos időben a vízpótlást a többcélú vízellátó rendszerből végzik.

2.3 Jövőbeni vízigények

A jövőben várható lakossági, ipari, mezőgazdasági (öntöző) és környezeti (vízparti üdülés) vízigényeket a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság (TIVIZIG) adatai alapján vettük figyelembe. A vízigényeket két fajta *bizonytalanság* terheli:

a) A vízigény jellegéből eredő *természeti bizonytalanság* abból származik, hogy az egyik évben kisebb, a másik évben nagyobb a vízigény. Öntöző vízigény esetén pl. csapadékmennyiségtől, hőmérséklettől, párolgástól és más természeti tényezőktől függően az egyes években más és más a növények tényleges öntözővíz igénye. Az ivó- és ipari vízigények esetén ez a természeti bizonytalanság igen kismértékű, mert az éves igények többé-kevésbé állandók.

b) A másik fajta bizonytalanság a vízigények *előrejelzési bizonytalansága*. Minél hosszabb távra jelzünk előre, a vízigényt befolyásoló társadalmi-gazdasági tényezők nem kellő ismerete miatt a becsült vízigények egyre bizonytalanabbak.

A korábbi rendszerelemzési módszerek több esetben figyelembe vették a vízigények említett természeti bizonytalanságát, de az előrejelzésből származó bizonytalanságot legtöbbször elhanyagolták és csupán egyetlen, vagy legfeljebb egy lehető legnagyobb és legkisebbnek tekintett értéket vettek figyelembe. *Ebben a tanulmányban a jövőben várható vízigényeket valószínűségi*

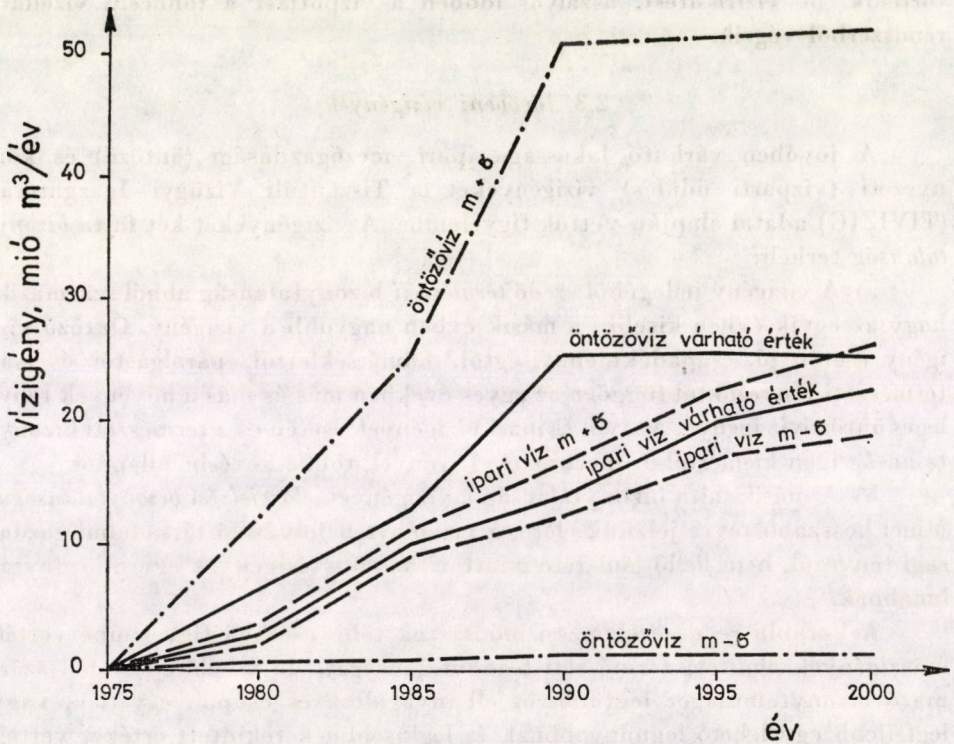
II. táblázat

Vízigények várható értékei és szórása, mió m³/év 1975–2000

Év	Ivóvíz		Ipari víz		Öntöző víz		Környezeti víz	
	m ₁	δ ₁	m ₂	δ ₂	m ₃	δ ₃	m ₄	δ ₄
1975	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	2,7	0,3	6,5	6,0	1,2	0,1
1985	0	0	10,3	1,0	13,0	2,3	3,6	0,2
1990	5,2	1,2	13,7	1,7	26,0	24,2	3,6	0,3
1995	8,3	1,5	20,0	2,5	26,0	24,7	3,6	0,7
2000	14,6	2,4	22,6	3,2	26,0	25,1	3,6	1,0

változóként vesszük figyelembe. Ez a valószínűségi változó egyaránt tükrözi a vízigeny természeti bizonytalanságát, valamint az előrejelzésből származó bizonytalanságokat. A korábbi elemzésekkel összhangban feltételezzük, hogy a vízigenyek normális eloszlást követnek [3]. A vízigenyek 1975–2000 közötti időszakra érvényes várható értékeit és szórásait a II. táblázatban tüntetjük fel (2. ábra).

Előrebocsátjuk, hogy az érzékenység vizsgálat során a II. táblázatban levő szórásokat megváltoztattuk.



2. ábra. Az öntöző- és ipari vízigenyek előrejelzése 2000-ig

A II. táblázatban feltüntetett adatokhoz az alábbi megjegyzéseket fűzzük: Debrecen ivó-, ipari és környezeti vízigényét a TIVIZIG tervezői úgy számították, hogy a teljes igényből levonták a rétegvízből és a különálló vízműből ($40\,000\text{ m}^3/\text{nap}$ csúcsidei kapacitás) kiszolgáltatható vízmennyiségeket. A lakossági, ipari és környezeti vízigényekre a TIVIZIG adatai alapján csupán az m várható értékek álltak rendelkezésünkre. Az ezekhez tartozó szórásokat, amelyek a becsült távlati értékek bizonytalanságait jellemzik, az irodalomban található adatok és a helyi tapasztalatok alapján becsültük. Mivel a szórások viszonylag kis értékek, a becslés azt mutatja, hogy a vízigény előrejelzést viszonylag megbízhatónak tekintjük és így a vízigény sűrűségfüggvénye meredek. Az öntözés esetében éghajlati változókból (csapadék, hőmérséklet, stb.) álló 50 éves adatsort használtak az évi lehetséges öntözési vízigények becslésére. Ebből az adatsorból számítottuk az m és σ értékeket.

2.3. A kiépítési és üzemelési költségek, valamint a vízhiány okozta károk

A HTVR-rel kapcsolatos gazdasági adatokat a TIVIZIG költségbecslése alapján vettük figyelembe.

Az előzetes becslés szerint a HTVR teljes kiépítési költsége 466 millió forint.

Hasonló rendszerek üzemköltsége $0,5-1,8\text{ Ft/m}^3$ között változik. Kiseb az üzemköltség az öntözővízellátásnál és nagyobb az ivó- és ipari vízellátásnál.

A ki nem elégített vízigény, tehát a vízhiány gazdasági károkat okoz, amely a HTVR esetén a vizsgálatok szerint $3-8\text{ Ft/m}^3$ között változhatik. Természetesen a gazdasági adatok az időben módosulhatnak: növekedhet az üzemköltség, vagy pl. az anyagár változás miatt a beruházási költség, illetve a társadalmi-gazdasági fejlődés miatt a jövőben nagyobbak lehetnek a vízhiányból származó károk. Ebből következik, hogy az optimális ütemezés megállapítására szolgáló modellnek időben változó gazdasági adatok esetében is megoldást kell adnia.

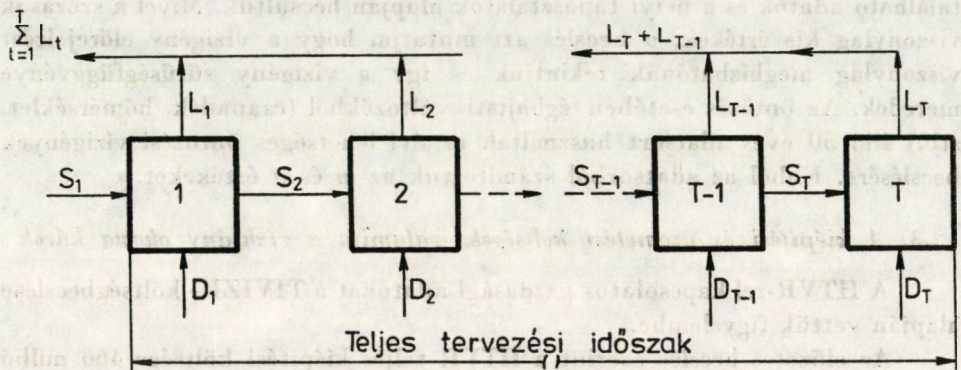
3. A gazdaságilag optimális kiépítési ütemezés megállapításának módszere

Az időben növekedő vízigények kielégítése fokozatos kapacitásbővítéseket igényel. Ha a hosszútávú tervezési időszak végén felmerülő igényeknek megfelelő kapacitásra a fejlesztési időszak elején építenénk ki, akkor ki nem használt kapacitásokkal kellene számolni, ami gazdasági kárt jelent. Ha a bővítést egyetlen lépcsőben, a fejlesztési időszak végén végeznék el, akkor a teljes időszak alatt a ki nem elégített vízigények következtében szintén gazdasági károkkal számolhatnánk. *Az ellentétes érdekek közti optimális megoldás keresésére a dinamikus programozás módszere nyújt lehetőséget.*

3.1 A dinamikus programozás

A dinamikus programozás alapjával ezen a helyen részletesen nem foglalkozunk, de hivatkozunk arra, hogy a módszer a rendszerelemzés területén ma már klasszikusnak tekinthető [4, 5, 15].

A dinamikus programozás egyik fontos előnye, hogy segítségével bonyolult, nem lineáris célfüggvények egyaránt — más programozási eljárásoknál



3. ábra. A dinamikus programozás elvi vázlata

sokkal gyorsabban megoldhatók. Ugyanakkor a gyakorlati alkalmazás során bebizonyosodott, hogy a változók és alternatívák számának növekedésével a dinamikus programozás számológép memória igénye annyira megnő, hogy gyakran lehetetlenné teszi gyakorlati alkalmazását. Ezzel a nehézséggel gyakran találkozhatunk a vízgazdálkodási és környezetvédelmi alkalmazás során. Az utóbbi időben a kutatások arra irányultak, hogy különböző közelítő módszerek segítségével sikerüljön ezt az ún. „többdimenzióság átkát” [4] kiküszöbölni. Ezekre a módszerekre még visszatérünk.

Vizsgáljuk meg ezután a rendszer kiépítési ütemezésének meghatározására szolgáló dinamikus programozási modellt. Ennek sematikus vázlatát a 3. ábrán tüntetjük fel. Az egyes négyzetek: 1, 2, ..., T - 1, T a lehetséges fejlesztési időpontokat jelzik. Az S állapotváltozó, valamely fejlesztési időpont kezdetén a rendszer kiépítési mértékét jelzi. A D döntési változó a fejlesztési időpontban bekövetkező kiépítés növelést méri. Valamelyik t fejlesztési időpontban az S_t állapotváltozó és a D_t döntési változó függvényében L_t gazdasági jellegű kiadások (költségek + károk) lépnek fel, amelyeket a következő $t + 1$ időpontig vesszük figyelembe. A teljes időszak végén a rendszer S_T állapotban van, ez tehát a végső kiépítés mértéke. A teljes időszak alatt fellépő kiadások az egyes időpontokban figyelembe vett kiadásokból tevődnek össze:

$$L = \sum_{t=1}^T L_t(S_t, D_t). \quad (1)$$

Célunk olyan döntési sorozat, D_1, D_2, \dots, D_T meghatározása, amelynek révén a teljes időszak alatt fellépő kiadások a lehető legkisebbek:

$$L^* = \min_{D_1, D_2, \dots, D_T} \sum_{t=1}^T L_t(S_t, D_t). \quad (2)$$

Ennek a célfüggvénynek a megoldása a dinamikus programozás elvének felhasználása nélkül hosszadalmas és gyakran, ha az L_t függvények nem lineárisak, klasszikus programozási módszerrel nem végezhető el.

A dinamikus programozás terminológiája szerint attól függően, hogy a kezdeti (S_1) vagy a végső (S_T) állapot ismert, megkülönböztetünk kezdeti vagy végső helyzetű feladatot. Például, ha egy tározó vagy tó optimális szabályozási rendjét akarjuk megállapítani, akkor nyilvánvalóan kezdeti problémával állunk szemben, mivel a kezdeti időszak elején adott a tó vagy tározó vízszintje [6]. A beruházás optimális ütemezésének vizsgálatakor hasonló az eset, hiszen az első időszak elején a rendszer kiépítése zérus, tehát $S_1 = 0$. A Bellman-féle optimalizációs elv [4, 5] lehetővé teszi, hogy ilyen feladatoknál a (2) célfüggvényt az alábbi rekurzív egyenlet ismételt alkalmazásával oldjuk meg:

$$f_{t-1}(S_{t-1}) = \min_{D_{t-1}} [L_{t-1}(D_{t-1}, S_{t-1}) + f_t(D_{t-1}, S_{t-1})]. \quad (3)$$

Ha a kezdeti időpontra vonatkozó állapot (S_1) adott, akkor a dinamikus programozás rekurzíóját a teljes időszak végétől *visszafelé* kell végeznünk. Nyilvánvalóan $f_1 = L^*$, azaz megkapjuk a keresett (2) célfüggvény értékét. Ezután visszahelyettesítve a célfüggvény értékét az S_1 állapotváltozó függvényében, mivel ez esetünkben ismert $S_1 = 0$, visszafelé most már kikereshetjük a D_1, D_2, \dots, D_T döntési változók optimumhoz tartozó értékét. A (3) egyenletből látható, hogy minden egyes időpontra ki kell számítani a $[t-1, t]$ időszakra érvényes L_{t-1} kiadás értékét az S_{t-1} állapotváltozó és D_{t-1} döntési változó valamennyi lehetséges értékére. Ezen túlmenően minden egyes időszakra meg kell oldani a (3) rekurzív egyenletben kijelölt minimálást. Ezért a dinamikus programozás klasszikus módszere szerint a (3) kifejezés kapcsos zárójelben levő részét valamennyi lehetséges állapotváltozó és döntési változó értékre meghatározzák, tehát az ún. teljes végigszámolást hajtják végre és ebből választják ki a legkisebb értéket. Ha az egyes időpontokban az állapotváltozók, illetve döntési változók dimenziója egynél nagyobb, a számítás időszükséglete gyorsan növekszik. A tapasztalatok szerint *kettőnél több állapotváltozó esetében a dinamikus programozás a gyakorlatban a klasszikus módon ritkán alkalmazható*. A vízgazdálkodásban gyakran találkozunk ezzel a problémával, és a kutatás eljutott odáig, hogy bizonyos közelítő módszerek révén programozási eljárást is alkalmazhatunk az egyes időpontokra kijelölt minimalizálás végrehajtására. Így a dinamikus programozást *lineáris programozással* szokták kombinálni [7, 8, 9]. Az ún. *véges különbségeken alapuló dinamikus programozás*

III. táblázat

A lehetséges fejlesztési ütemek- és a többlet-

D_t döntés \ S_t állapot	0	1+7	1+9	1+10	3+11	3+13	3+14	3+7+ +11	3+10+ +14	4+10
1+ 7	75									
1+ 9	106	31								
1+10	156	81	50							
3+11	126									
3+13	158				32					
3+14	229				103	71				
3+ 7+11	146	71			20					
3+10+14	330	255	224	174	204	172	101	184		
4+10	219	144	113	63						
4+10+14	372	297	266	216	246	214	143	226	42	153
5+ 7	180	105								
5+ 9	211	136	105							
5+10	261	186	155	105						42
5+11	210				84					
5+13	242				116	84				
5+14	313				187	155	84			
5+7 +11	230	155			104			84		
5+9 +13	293	218	187		167	135		147		
5+10+13	343	268	237	187	217	185		197		124
6+ 7+11	276	201			150			130		
6+10+13	389	314	283	233	263	231		243		170
6+10+14	460	385	354	304	334	302	231	314	130	241
6+10+14+15	466	391	360	310	340	308	237	320	136	247

(DDDP) fokozatos közelítések segítségével keresi az optimális megoldást [10, 11].

Újszerű közelítő módszer az is, amikor a belső optimalizálásra külön, egy kisebb terjedelmű dinamikus programozási módszert alkalmaznak, tehát ez valamilyen din + din programozási módszer [12].

3.2. Az egyes időszakokra vonatkozó kárfüggvények meghatározása

Mint a (3) egyenlet mutatja, a dinamikus programozás során mindegyik időpontra meg kell állapítani a teljes kiadás értékét valamennyi lehetséges döntésre és állapotra. Nézzük meg, hogy feladatunk, a HTVR kiépítésének optimális ütemezésének keresésekor hogyan határozható meg ez az $L(S, D)$ függvény. Az egyszerűség kedvéért az időszak indexét elhagytuk, de tudatában vagyunk, hogy a függvényt ténylegesen minden időpontra meg kell állapítani.

Az időszakra vonatkozó teljes kiadás az időszakban felmerülő *beruházási költségből*, az időszak alatti *üzemeltetési költségből*, valamint az időszak alatt előforduló vízhiányok okozta *károkból* tevődik össze. A következőkben nézzük meg a *három költségössztevő kiszámítását*.

A t időpontban felmerülő *beruházási költség* jelenre diszkontált értékét a $d_t B_t(S_t, D_t)$ függvény értéke adja. A beruházási költség egyaránt függ tehát

bővítés költségei 10⁶ Ft-ban B(S, D) értékek

4+10+ +14	5+7	5+9	5+10	5+11	5+13	5+14	5+7+ +11	5+9+ +13	5+10+ +13	6+7+ +11	6+10+ +13	6+10+ +14
	31											
	81	50										
				32								
				103	71							
	50			20								
	113	82		83	51							
	163	132	82	133	101		113	50				
	36			66			46					
	209	178	128	179	147		159	96	46	113		
88	280	249	199	250	218	147	230	167	117	184	71	
94	286	255	205	256	224	153	236	173	123	190	77	7

az időponttól (a d_t diszkont tényező veszi figyelembe), az időpontot megelőző kiépítés mértékétől (S_t), valamint a tényleges D_t fejlesztéstől. A HTVR esetén a III. táblázatban tüntetjük fel S , illetve D függvényében a beruházási költségadatokat a TIVIZIG költségbecslései alapján. A B_t költségfüggvényt esetünkben az időben állandónak tekintjük. A költségfüggvény természetesen nem lineáris, hanem általában a mérnöki létesítményekre jellemzően, az egyszeri nagyobb kiépítés viszonylag olcsóbb, tehát a költségfüggvény konkáv. A III. táblázatban csupán a vizsgált lehetséges állapotokhoz és döntésekhez adtuk meg a költségeket. A lehetséges alternatívákra a későbbiek során visszatérünk.

Az időszak alatt felmerülő üzemelési költségek, valamint a vízhiányból származó károk meghatározása bonyolultabb. Ennek a két költségtényezőnek a kiszámítását együttesen elemezzük. Tételezzük fel elsőként, hogy csupán egyfajta vízigénnyel kell számolni. Jelölje \dot{U} az üzemköltséget, V a vízhiányból származó kárt, ekkor a h együttes üzemköltség és kár:

$$h(S, R) = \begin{cases} \dot{U}(S) + V(S - R), & S < R, \\ \dot{U}(R), & S \geq R, \end{cases} \quad (4)$$

ahol az ismert jelöléseken kívül R a vízigény.

Az előzőekben rámutattunk arra, hogy az R vízigényt valószínűségi változónak tekintjük, hiszen egyaránt mutathat természeti bizonytalanságot és véletlen jellegű előrejelzési bizonytalanságot. A HTVR esetén a vízigények várható értékeit és szórásait 1975 ÷ 2000 között, 5 éves időszakokra a II. táblázat mutatja. Mivel az R érték valószínűségi változó, az egyes időszakokban ténylegesen felmerülő üzemköltséget és kárt nem tudjuk megállapítani, ezért ezek várható értékeivel dolgozunk a továbbiakban. Ekkor a $H(S)$ várható együttes kár és üzemköltség csak az S teljes kiépítéstől függ:

$$H(S) = \int_{-\infty}^R h(S, R) f(R) dR. \quad (5)$$

Felhasználva h definícióját [(4) egyenlet], az (5) kifejezés átalakítható:

$$H(S) = \int_{-\infty}^S \dot{U}(R) f(R) dR + \int_S^{\infty} [\dot{U}(S) + V(R - S)] f(R) dR. \quad (6)$$

A HTVR esetén a vízhiányból származó kárfüggvény és az üzemelési költség lineárisnak tekinthető, vagyis a két függvényt az alábbiakban fejezhetjük ki:

$$\dot{U}(R) = c \cdot R,$$

ahol c a fajlagos üzemköltség, Ft/m³/év.

A Tiszántúli VIZIG költségbecslése alapján egyébként a lakossági és ipari vízellátás esetén 1,8 Ft/m³/év, a mezőgazdasági vízellátás és a környezeti vízellátás esetén 0,5 Ft/m³/év a fajlagos üzemköltség.

A lineáris kárfüggvény az alábbi alakú:

$$V(R - S) = v \cdot (R - S)$$

ahol v a fajlagos kár, Ft/m³/év.

A HTVR esetén a vízhiányból származó fajlagos károkat

- lakossági vízellátás és ipari vízellátás esetén a 8 Ft/m³/év,
- mezőgazdasági és környezeti vízellátás esetén 3 Ft/m³/év

értékkel vettük számításba.

A II. táblázatban megadott vízigény statisztikák alapján a különböző jellegű vízigények sűrűségfüggvényét normál vagy csonkított normál eloszlásnak tekintjük. A normál eloszlás csonkítását mezőgazdasági vízellátásnál a 0 alsó határnál (a vízigény zérusnál semmiképpen nem lehet kisebb), illetve egyéb esetben ± 3 szigma távolságban hajtottuk végre. A fenti alapadatok segítségével a (6) egyenletben kijelölt várható értéket számítógépen határoztuk meg.

A (6) egyenletet egyfajta vízigényre vezettük le. A HTVR esetén – mint a legtöbb vízgazdálkodási rendszerrel – többféle vízhasználó van és a kielégítetlen vízigényekből származó kár attól is függ, hogy a rendelkezésre álló vízmennyiséget hogy osztjuk fel az egyes igénylők között. Mindenesetre olyan felosztásra kell törekedni, hogy az együttes kár a lehető legkisebb legyen.

Írjuk fel most a (6) egyenletet tehát annak figyelembevételével, hogy m számú vízhasználatot kell kielégíteni: A t indexet most is elhagyjuk, de ismét hangsúlyozzuk, hogy minden t időpontban felmerül a feladat.

$$H(S) = \sum_{i=1}^m \left\{ \int_{-\infty}^{S_i} \dot{U}_i(R) f_i(R) dR + \int_{S_i}^{\infty} [\dot{U}_i(S_i) + V_i(R - S_i)] f_i(R) dR \right\}. \quad (7)$$

Ha a kapcsos zárójelben levő mennyiséget $H_i(S_i)$ -vel jelöljük, a (7) képlet az alábbi alakú lesz:

$$H(S) = \sum_{i=1}^m H_i(S_i). \quad (8)$$

Attól függően tehát, hogy a teljes S kapacitást hogyan osztjuk szét az m számú vízhasználó között, különböző H teljes költséget kapunk. Azt a stratégiát követjük, amikor az együttes költség és kár összege minimális lesz. Tehát feladatunk

$$H = \sum_{i=1}^m H_i(S_i) \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m S_i \leq S$$

feltételes szélső érték keresése.

Ilyen jellegű másodlagos optimum keresés szükségessége a dinamikus programozás esetében gyakran merül fel. A (9) feladat nemlineáris programozási feladat, amelyet gyakran közelítően lineáris programozási módszerrel oldanak meg. A kérdés azért lényeges, mivel a (9) *feladat optimális megoldását valamennyi lehetséges időpontra és valamennyi lehetséges állapotra (kiépítési szintre) meg kell határozni*. Tehát gyakran igen nagyszámú ilyen másodlagos optimalizálást kell végrehajtani. Ezért egyik lehetőség a közelítő lineáris programozás alkalmazása. Ezt a módszert alkalmazták egyébként hazánkban a Tiszai vízlépcsők üzemelési rendjének kidolgozása során, ahol a havi lehetséges tározott vízmennyiségeknek, mint állapotváltozónak optimális szétosztását kellett sorozatban megállapítani [13, 14].

A (9) célfüggvény a nemlineáris programozás módszerével és a célfüggvény additivitása alapján a dinamikus programozás módszerével is optimalizálható.

Jelölje tehát a (9) feladat optimális megoldását a $\min H(S)$ kifejezés. Nyilvánvalóan ezt kell visszahelyettesíteni a dinamikus programozás (3) egyenletébe, hogy megkapjuk az optimális ütemezés meghatározására szolgáló rekurziós egyenletet. A t időszakban fellépő teljes kiadásnak jelenre diszkontált értéke az alábbi:

$$L_t(S_t, D_t) = d_t [B_t(S_t, D_t) + \min H_t(S_t + D_t)]. \quad (10)$$

Az L_t érték tehát a $[t - 1, t]$ fejlesztési időszakban felmerülő összkiadásokat adja meg. A teljes fejlesztési időszak végén, a T időpontban azonban a költségeket (üzemeltetési költségek és vízhiányból származó károk) tovább kell számítani a létesítmény teljes élettartamára. Azzal a feltételezéssel éltünk, hogy a $T = 25$ éves fejlesztési időszak után tovább nem növekednek a víz-igények és a létesítmény élettartama végtelen. Egyébként ez az utóbbi feltételezés 50 éves tényleges élettartamot figyelembe véve, az ellenőrző számítások alapján nem jelent számottevő hibát. Az utolsó T fejlesztési időpontra az L_T értéket a fentiek figyelembevételével úgy állapítottuk meg, hogy a T időponthoz alkalmas diszkont tényezőt választottunk az alábbi módon:

Fejezze ki a d_T diszkont-tényező a T időpont és végtelen között évente figyelembe vehető diszkont tényezők összegét. Ily módon az alábbi eredményre jutottunk:

$$d_T \sum_{t=T}^{\infty} \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{1}{i(1+i)^{T-1}}, \quad (11)$$

ahol i az évi diszkontláb.

3.3 A HTVR fejlesztési lehetőségei (az állapotváltozó lehetséges értékei)

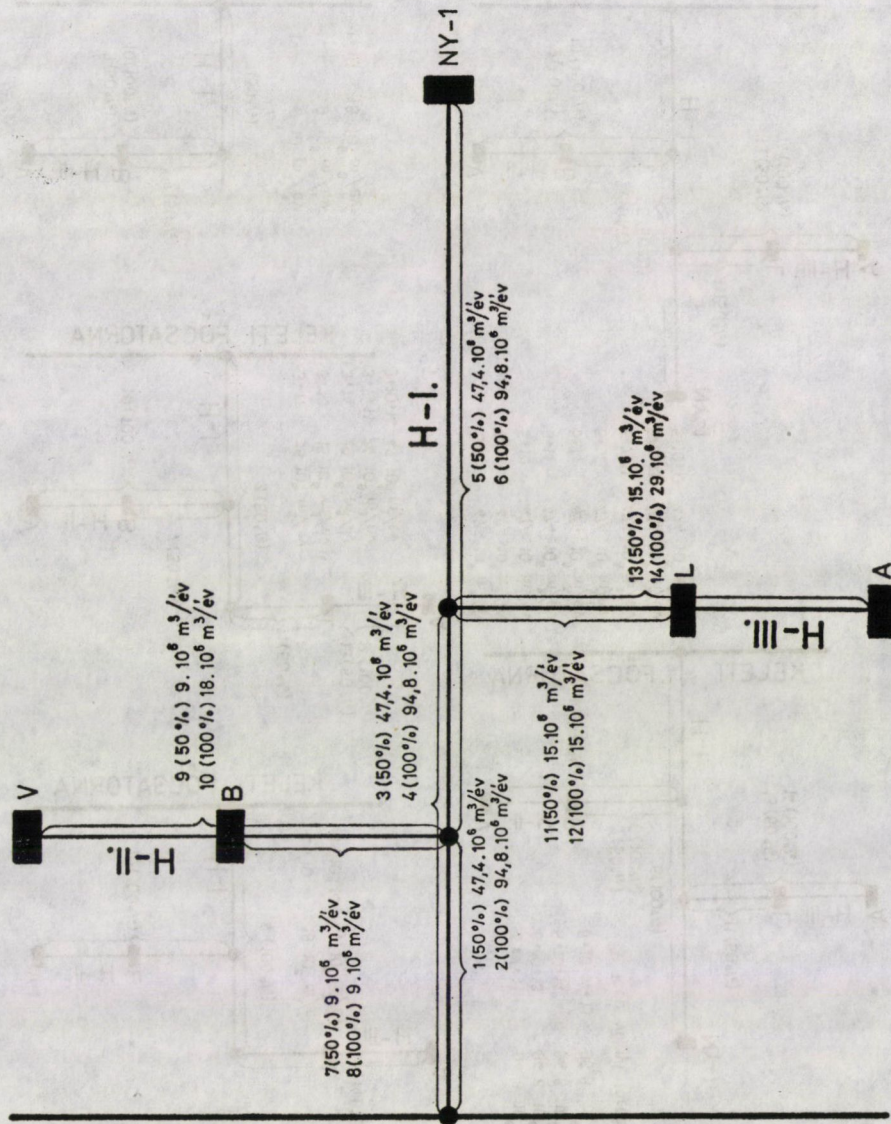
A dinamikus programozás módszerét a gyakorlatban, az esetek legnagyobb részében az állapotváltozók és döntési változók véges számú lehetséges értékeire alkalmazzák. A HTVR esetén sem végtelen a gyakorlatban figyelembe vehető lehetséges fejlesztési ütemek száma. Ezeket az alábbi három szempont alapján állapítottuk meg:

- a) Bármelyik fejlesztési lépcső önmagában is hasznosítható legyen, tehát alkalmas legyen vízigény kielégítésére.
- b) Új fejlesztési alternatívának olyat tekintünk, amely valamilyen korábbi fejlesztési alternatívához történő hozzáépítésből vagy bővítésből áll.
- c) Az alábbiakban ismertetett fejlesztési alternatívákat a beruházó Tiszántúli Vízügyi Igazgatósággal együttesen határoztuk meg.

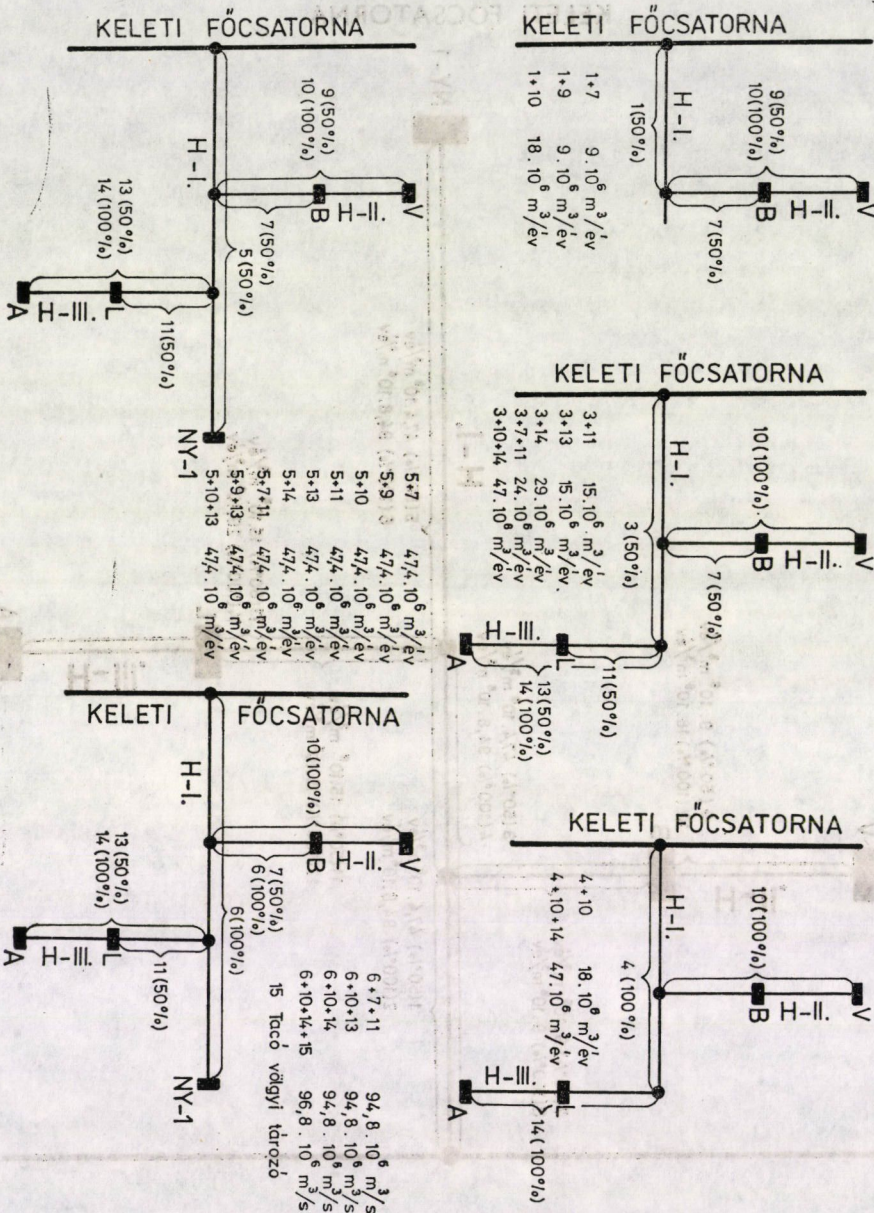
A jövőben várható vízigények kielégítése céljából a $H-I$. vízellátó főmű, valamint $H-II$. és $H-III$. öntözési főművek többféle módon fejleszthetők: a főművek hosszának szakaszos kiépítésével, a főművek kapacitásának növelésével és a kettő együttes variálásával. A főművek kapacitásának növelésére két esetet vettünk figyelembe, az 50%-os és 100%-os kapacitást. A főművek fejlesztési ütemeit a 4. ábrán tüntetjük fel. A vízellátó $H-I$. és az öntözési főművek $H-II$., $H-III$., 50%-os kapacitású lehetséges kiépítését 7 szakaszra, a 100%-os kapacitást ugyancsak 7 szakaszra osztottuk.

A 4. ábrán feltüntetjük a vízszolgáltató rendszer 50 és 100%-os kapacitásához tartozó vízmennyiség értékeket a 14 féle vízszolgáltató útvonal-szakaszra.

KELETI FŐCSATORNA



4. ábra. A HTVR lehetséges szakaszolása



5. ábra. A HVTR lehetséges fejlesztési lépései

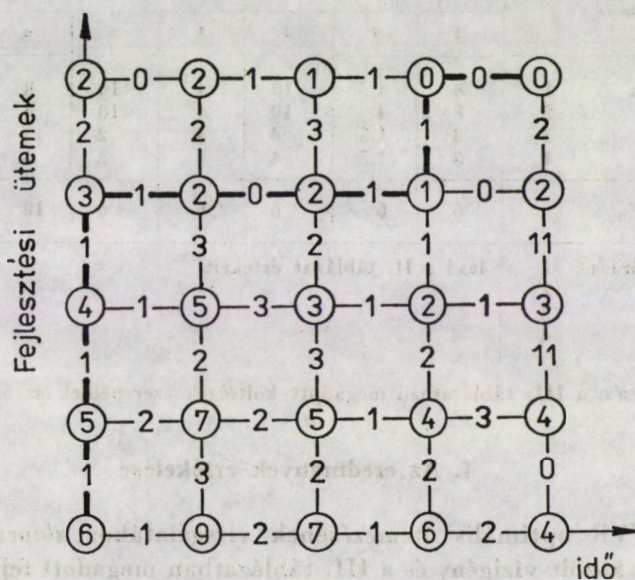
A HTVR fejlesztésére kiválasztott lehetséges 23 féle esetet az 5. ábrán tüntettük fel. Az ábrán bemutatott fejlesztési ütemeket és azok költségeit, illetve a többletbővítés (D döntés) egyszeri költségét a III. táblázatban foglaltuk össze.

3.4 A megoldás numerikus módszere

A numerikus megoldás érdekében a számológép meghatározta a:

$$d_t B_t(S_t, D_t) \text{ és } \min H_t(S_t + D_t)$$

függvényértékeket valamennyi lehetséges időpontra, t (25 db), kiépítési állapotra, S és fejlesztési döntésre, D . Ez összesen 1102 függvényérték kiszámítását igényelte. A dinamikus programozás (3) rekurzív egyenletének a megoldását ennek alapján a 6. ábrán vázolt feladatra vezetjük vissza. A 6. ábrán függőlegesen az egymást követő lehetséges kiépítési változatokat, vízszintesen az időt tüntetjük fel. Az így kapott beosztás vízszintes szakaszaihoz az adott időszakra kiszámított $d_t \min H_t(S_t + D_t)$ költségeket, míg a függőleges szakaszokhoz a kérdéses fejlesztés $d_t B_t(S_t, D_t)$ költségeit rendeljük hozzá. Feladat: *a T végső időpontban lehetséges állapotok közül valahonnan kiindulva úgy jussunk el a $t = 1$ kezdeti időpontban az $S_1 = 0$ kiépítéséhez, hogy a függőleges és vízszintes szakaszokból álló út mentén az utakhoz rendelt költségadatok összege a lehető legkisebb legyen.* A gépi számítás programja ezt a feladatot oldja meg. Az optimum kiszámítása 22 perc gépidőt igényel az ELTE TTK ODRA 1304-es típusú számítógépén.



6. ábra. A numerikus megoldás elvi vázlata

3.5 Érzékenység vizsgálat

A rendszerelemzési módszerek gyakorlati alkalmazásának egyik fontos feltétele, hogy a bemenő adatoknak az optimális megoldásra gyakorolt hatását érzékenységi vizsgálattal elemezzük. A HTVR fejlesztési ütemeinek meghatározása során az érzékenység vizsgálat alapvetően két célt szolgál:

a) Amennyiben befolyásolni tudunk valamilyen bemenő adatot, pl. diszkontlábat, vízigényeket, stb., akkor az érzékenység vizsgálat révén megállapíthatjuk, hogy bizonyos cél érdekében (a beruházás elhúzása vagy csökkentése) a befolyásolható input értékének milyen nagyságúnak kell lennie, hogy az általunk várt eredmény legyen gazdasági szempontból optimális.

b) A bemenő adatok gyakran bizonytalanok és ennek a bizonytalanságnak az optimális megoldásra gyakorolt hatását szintén érzékenység vizsgálat révén állapíthatjuk meg.

A HTVR ütemezésével kapcsolatban az érzékenység vizsgálat során háromfajta bemenő adatot változtattunk:

- a vízhiány miatti fajlagos károkat,
- a diszkontlábat és
- a különféle vízigényeknek, mint valószínűségi változóknak a szórását.

A figyelembe vett változatokat a IV. táblázat tünteti fel.

IV. táblázat

Az érzékenység vizsgálat jellemző input adatai

Input típusa		Változatok							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Fajlagos károk	1	8	4	10	4	10	8	8	8
	2	8	4	10	4	10	8	8	8
	3	3	1,5	4	4	2	3	3	3
	4	3	1,5	4	4	2	3	3	3
Diszkont láb %		6	6	6	6	6	10	4	6
Vízigények szórása	1	lásd a II. táblázat értékeit							$1/2 \delta_1$
	2								$1/2 \delta_2$
	3								$1/2 \delta_3$
	4								$1/2 \delta_4$

Megjegyzés: a III. táblázatban megadott költségek szerepelnek az összes változatban.

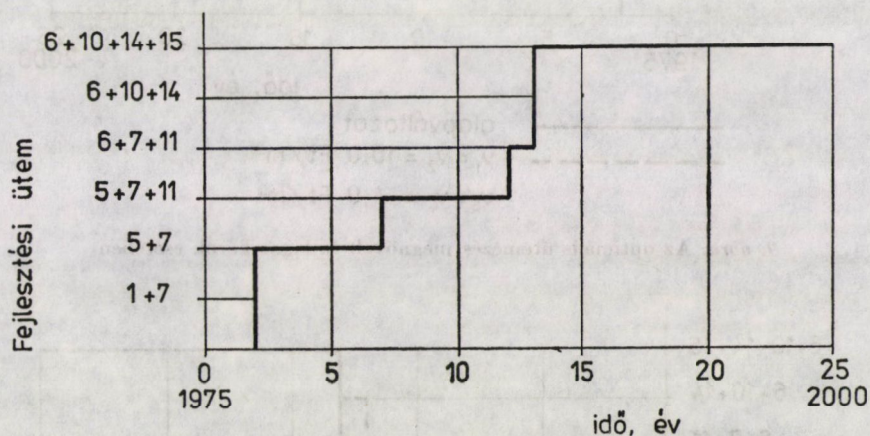
4. Az eredmények értékelése

A HTVR optimális ütemezésének vizsgálatához *alapesetenként* a II. táblázatban közölt vízigény és a III. táblázatban megadott fejlesztési költség adatokat, a 8, illetve 3 Ft/m³/év fajlagos károkat és az 1,8, illetve 0,5 Ft/m³/év

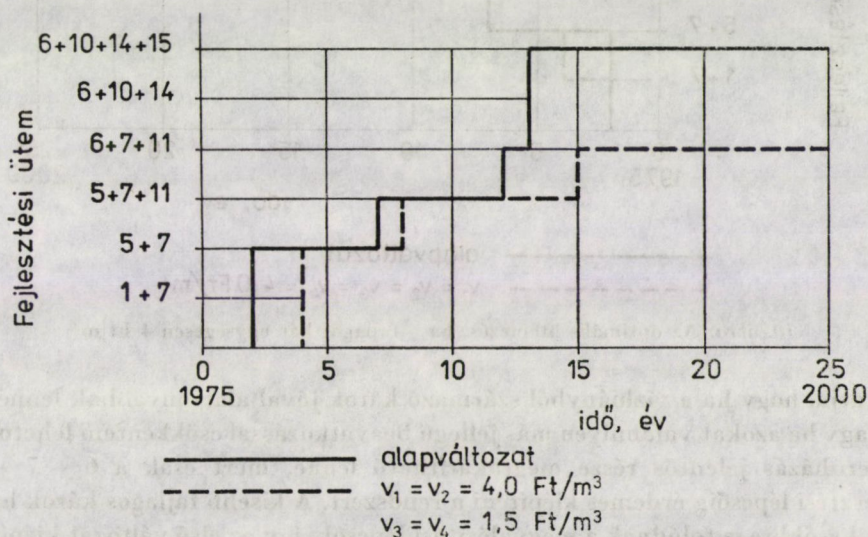
fajlagos üzemköltségeket, továbbá a 6% kamatlábat tekintettük. A víz-igénynek valószínűségi eloszlásfüggvényét csonkított normál típusúnak vettük.

A dinamikus programozás (3) rekurzív egyenletének számítógépes megoldása révén, az *alapesetnek megfelelő optimális kiépítés ütemezését* a 7. ábra tünteti fel. Látható, hogy célszerű a vízhiányból származó jelentős károk miatt, a kezdeti időponttól számított 13 éven belül a teljes rendszert kiépíteni.

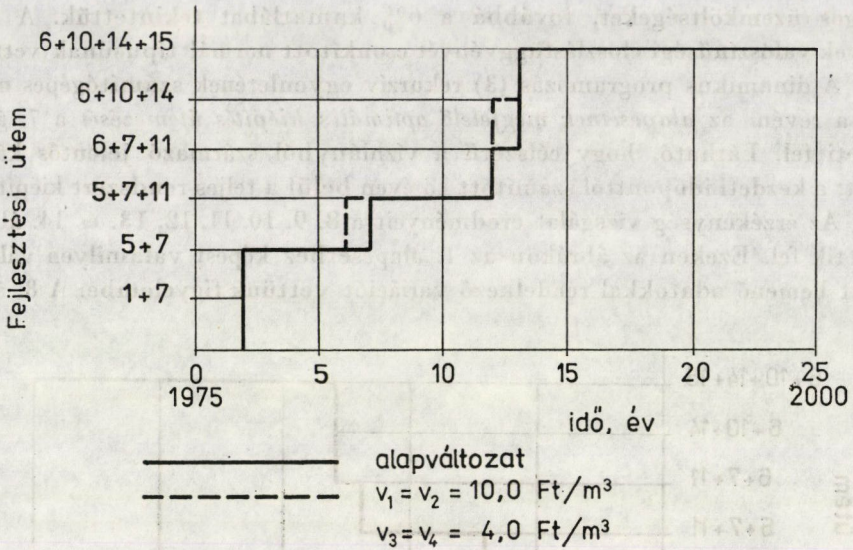
Az érzékenység vizsgálat eredményeit a 8, 9, 10, 11, 12, 13. és 14. ábrák tüntetik fel. Ezekon az ábrákon az 1. alapesethez képest valamilyen változtatott bemenő adatokkal rendelkező variációt vettünk figyelembe. A 8. ábra



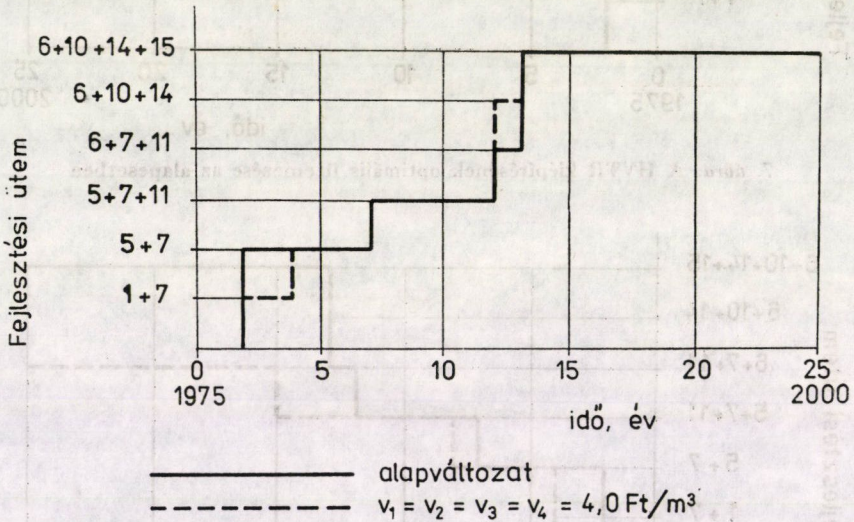
7. ábra. A HVTR kiépítésének optimális ütemezése az alapesetben



8. ábra. Az optimális ütemezés csökkentett fajlagos károk esetében



9. ábra. Az optimális ütemezés megnövelt fajlagos károk esetében

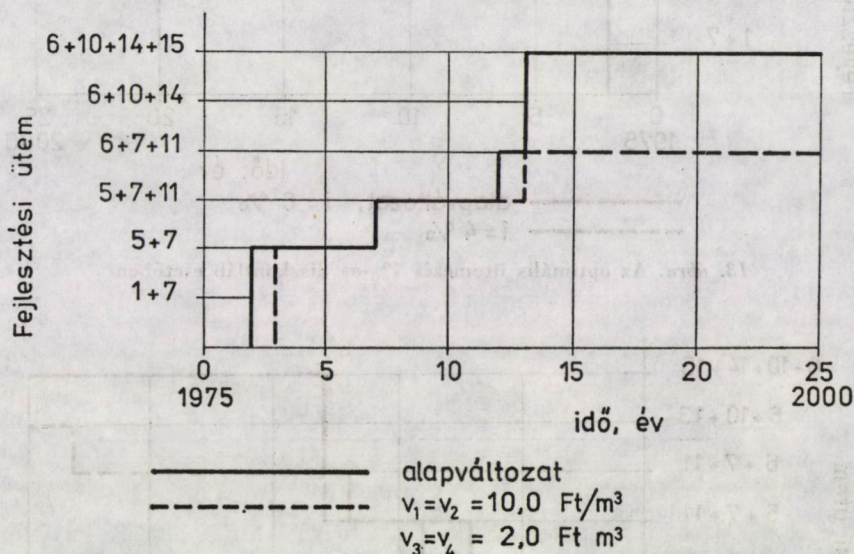


10. ábra. Az optimális ütemezés, ha a fajlagos kár egységeseen 4 Ft/m^3

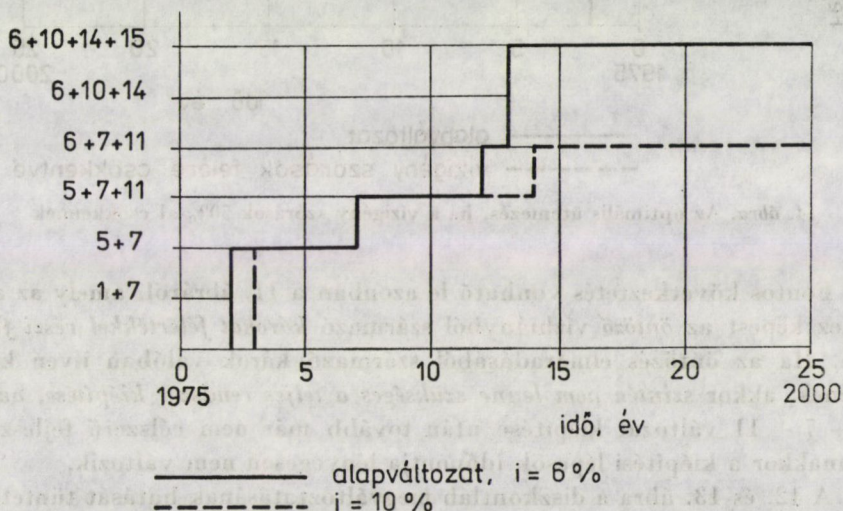
mutatja, hogy ha a vízhiányból származó károk jóval alacsonyabbak lennének — vagy ha azokat valamilyen más jellegű beavatkozással csökkenteni lehetne — a beruházás jelentős része megtakarítható lenne, mert csak a 6 + 7 + 11 fejlesztési lépcsőig érdemes kiépíteni a rendszert. A kisebb fajlagos károk hatására későbbre is tolnának a megvalósítási lépcsők, így az első változat kiépítése is, a második év helyett csupán a negyedik évben szükséges.

Igen érdekes a 9. ábrából levonható következtetés: amennyiben a vízhiányból származó károk az eredetinel nagyobbak (10 illetve 4 Ft/m³év), a teljes rendszert ugyanúgy ki kell építeni és a fejlesztési időpontok is csaknem ugyanazok (csupán két lépcsőnél célszerű egy-egy év gyorsítás).

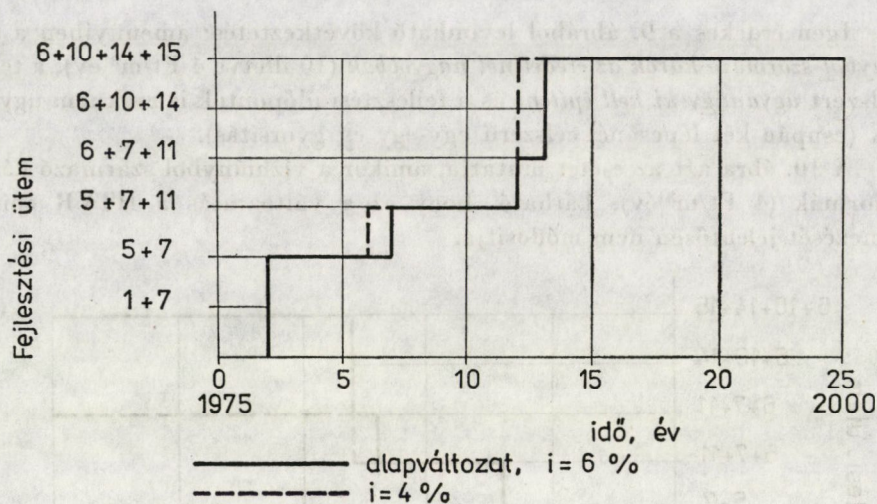
A 10. ábra azt az esetet mutatja, amikor a vízhiányból származó károk egyformák (4 Ft/m³év). Látható, hogy ez a változtatás a HTVR építési ütemezését jelentősen nem módosítja.



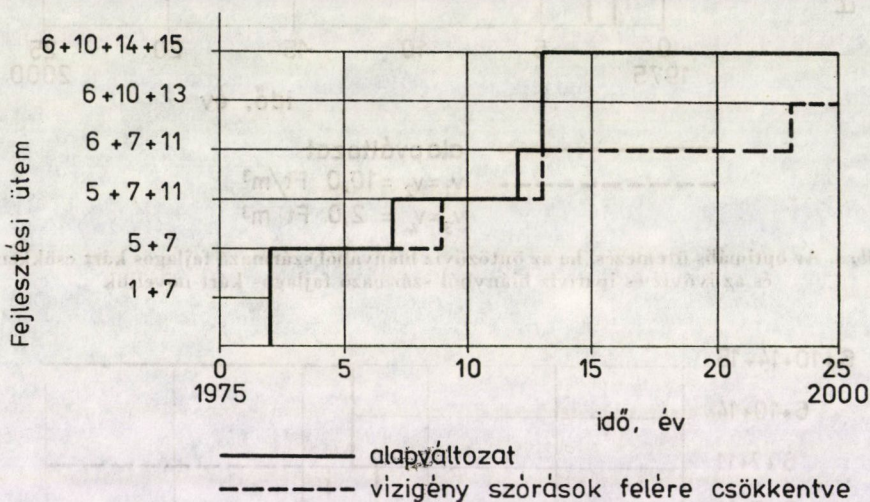
11. ábra. Az optimális ütemezés, ha az öntözővíz hiányából származó fajlagos kárt csökkentjük és az ivóvíz és iparvíz hiányból származó fajlagos kárt növeljük



12. ábra. Az optimális ütemezés 10%-os diszkontláb esetében



13. ábra. Az optimális ütemezés 4%-os diszkontláb esetében



14. ábra. Az optimális ütemezés, ha a vízigény szórások 50%-al csökkennek

Fontos következtetés vonható le azonban a 11. ábráról, amely az alapesethez képest az öntöző vízhiányból származó károkat féltértekkel veszi figyelembe. Ha az öntözés elmaradásából származó károk valóban ilyen kicsik lennének, akkor szintén nem lenne szükséges a teljes rendszer kiépítése, hanem a $6 + 7 + 11$ változat kiépítése után tovább már nem célszerű fejleszteni. Ugyanakkor a kiépítési lépcsők időpontja lényegesen nem változik.

A 12. és 13. ábra a diszkontláb megváltoztatásának hatását tünteti fel. Amennyiben a diszkontláb az eredeti 6% helyett 10%, akkor nem gazdaságos

a teljes beruházást megvalósítani, azaz a $6 + 7 + 11$ kiépítés után tovább nem célszerű fejleszteni a rendszert. Ez az eredmény összhangban van azzal a közgazdasági törvénnyel, hogy a magas diszkontláb a beruházások csökkentését idézi elő. Nyilvánvalóan ezzel ellentétes hatást vált ki a *diszkontláb csökkentése*. A 13. ábrából látható, hogy ha az eredeti 6%-ról 4%-ra csökken a diszkontláb — ha kismértékben is —, de néhány *fejlesztési lépcső 1–1 évvel előbbre kerül*. Mindenesetre a diszkontláb csökkenésének a hatása nem olyan jelentős, mint növekedéséé.

A 14. ábra azt mutatja, hogy a rendszer eredetileg tervezett teljes kiépítésének igényét a bizonytalan vízigények nagymértékben befolyásolják. Látható, hogy ha a *vízigények bizonytalansága felére csökkenne*, amelyet 50%-os szórás jellemez — akkor *kisebb rendszer kiépítés* lenne hosszú időszakon keresztül gazdaságilag optimális; csupán a 23. évben közelítenénk meg az eredeti teljes kiépítést.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a *HTVR kiépítések ütemezésére bőséges információt szereztünk*. A tényleges gazdasági helyzet (vízhiányból származó károk, beruházási költségek, diszkontláb, vízigény bizonytalanság) figyelembevételével a döntéshozó kiválaszthatja a többfajta optimális megoldásból a számára legkedvezőbb változatot. Ebben rejlik a rendszerelemzés módszereit alkalmazó döntéselőkészítő tanulmányok gyakorlati jelentősége.

5. Következtetések

A tanulmány alapján levonható következtetéseket két csoportba foglaljuk össze:

A. Módszertani következtetések

1. A *dinamikus programozás módszere* hatékony eljárás beruházások optimális ütemezésének meghatározásához [16, 17].

2. Az optimális kiépítést, a dinamikus programozás segítségével olyan célfüggvény minimálása révén határozzuk meg, amely a távlatban hosszú időszakra a *legkisebbre csökkenti a beruházási és üzemköltségekből, valamint a vízhiányból származó károk jelenlegi értékét*.

3. A módszer lehetővé teszi, hogy a jövőben várható vízigényeket, a vízigény természetéből eredő (pl. öntözés) és az előrejelzés miatti bizonytalansággal együttesen, *mint valószínűségi változókat vegyük figyelembe*.

4. A stochasztikus jellegű vízigények miatt az üzemköltség és a vízhiányból származó károk *várható értékét* számoljuk.

5. A módszer lehetővé teszi, hogy minden egyes időszakban a rendelkezésre álló *vízmennyiséget a lehető legcélszerűbben osszuk fel a különböző jellegű igények között* (lakossági, ipari, mezőgazdasági és környezeti vízigény).

6. Az eljárást hazánkban alkalmazott számológépre programoztuk és hasonló jellegű feladatok megoldására a számológép program közvetlenül alkalmazható.

7. Az eredmények alapján javasoljuk nagyobb tervezett vízgazdálkodási és környezetvédelmi beruházások kiépítésének ütemezésére hasonló, rendszer-
elemzési alapon nyugvó, műszaki-gazdasági elemzés végrehajtását.

B. A HTVR kiépítése

1. A dinamikus programozással megállapított kiépítési ütemezés megerősíti és pontosítja a korábbi vizsgálatok eredményeit, amelyek szerint az alapesetnek megfelelő gazdasági környezetben (fajlagos károk, üzemköltségek, beruházási költségek, kamatláb, vízigények) *érdemes a teljes HTVR-t viszonylag rövid idő (14 év) alatt, nagyjából 5 éves időszakonként, 3 lépcsőben kiépíteni.*

2. Az érzékenység vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a rendszer optimális kiépítési mértéke és ütemezése leginkább a vízhiányból származó károk nagyságára, valamint a népgazdasági szinten érvényes diszkontlábra érzékeny.

3. A vizsgálatok eredményei lehetőséget adnak arra, hogy a mindenkori gazdasági adottságok tükrében gazdaságos döntés szülessen a HTVR kiépítésének ütemezésére.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak PAPP Ferencnek, MOLNÁR Lászlónak és CSIPAI Imrénnek, akik a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság részéről hasznos gyakorlati tanácsokat adtak, és az alapadatokat bocsátották rendelkezésünkre. Ugyancsak köszönet illeti SZÉP Gabriellát a számológép program elkészítéséért és RUSZ Ervinnét a tanulmány összeállításában való közreműködéséért. Dr. JÁNDY Géza és Dr. IJJAS István lektorok részletes bírálata nagymértékben segítette a tanulmány végső formájának elkészítését.

IRODALOM

1. PAPP Ferenc: Debrecen térségének vízgazdálkodása, *Vízügyi Közlemények* (1974) 4
2. A Hajdúhátási Többcélú Vízgazdálkodási Rendszer, a TÍVIZIG tanulmányterve, Debrecen 1974
3. DÁVID László: Az öntözőrendszer vízigényének jellemzése és vízgazdálkodási vonatkozásai. *Hidrológiai Közöny*, (1971) 6
4. BELLMAN, R. E.—DREYFUS, S.: *Applied Dynamic Programming*, Princeton Univ., Princeton, N9Y 1962
5. WILDE, D. J.—BEIGHTLER, C. S.: *Foundations of Optimization*, Prentice-Hall, Inc. 1967
6. L. DUCKSTEIN—METLER, W. és BOGÁRDI, I.: Szél okozta vízszint és a tavak optimális vízszintszabályozása. *Hidrológiai Közöny* (1973) 12
7. BURAS, N.: *Scientific Allocation of Water Resources*, Elsevier, Publishing Comp. 1972
8. HALL, W. A.—SHEPARD, R. W.: „Optimum Operations for Planning of a Complex Water Resources System.” *Water Resources Center Contribution No. 122*, University of California, Los Angeles, Calif., 1967
9. BECKER, L.—YEH, W. W.-G.: Timing and Sizing of Complex Water Resources Systems. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, 100, No. HY10, October, 1974
10. HEIDARI, M., et al.: „Discrete Differential Dynamic Programming Approach to Water Resources Systems Optimization”, *Water Resources Research*, 7, No. 2, Apr., 1971

11. CHOW, V. T.—CORTES-RIVERA, G.: Application of DDDP in Water Resources Planning Univ. of Illinois, Research Report. No. 78, January, 1974
12. ISAILOVIC, D.: *Optimal operation of coupled surface-underground storage*. Doktori értekezés, Colorado, USA, 1975
13. IJJAS István: Tiszai vízkészletek optimális elosztása determinisztikus modellel. Együttműködő folyami vízlépcsők hidrológiai vizsgálata, különös tekintettel a tárolt víz többcélú optimális hasznosítására. BME. Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézet kutatási jelentése (Kézirat) V. fejezete. VSzSzI. 1974
14. BREINICH Miklós: A kiskörei vízlépcső tározójának optimális többcélú hasznosítása. Műszaki doktori értekezés. Budapest 1975
15. JÁNDY Géza: Bevezetés az operációkutatásba II, Egyetemi jegyzet
16. BUTCHER, W. S.—HAIMES, Y. Y.—HALL, W. A.: Dynamic Programming for the Optima Sequencing of Water-Supply Projects, Water Resources Res. 5, 1196—1204, 1969
17. ERLINKOTTER, D.: Sequencing Expansion Projects, Operations Research, 21, (1973) 542—553

An Economically Motivated Construction Program of a Multipurpose Water Management System for the Hajdúháttság (Hajdú table-land). The multipurpose water management system of the region Hajdúháttság is a project which should foster the socio-economical development of this region and of the town Debrecen. Its function will be to satisfy the drinking and industrial water demand of Debrecen, to supply water for the irrigation of the areas of the loess soil of the Hajdúháttság, to create a basis for the recreation open-air bath as well as to overcome the environmental problems caused by the sinking of the subsurface water level. The execution program of the project motivated economically should be established by dynamic programming. The object function minimizes the sum of the first costs, operating costs and that of the mean value of the damages caused by lack of water for an arbitrarily long period. The sensitivity investigation analyses the effect of the changed input data on the optimal operation.

Eine wirtschaftlich motivierte Festlegung des Termins für den Ausbau des Mehrzweck-Wasserwirtschaftssystems auf dem Gebiet Hajdúháttság. Das Mehrzweck-Wasserwirtschaftssystem für das Gebiet Hajdúháttság ist ein Projekt zur Förderung der sozial-wirtschaftlichen Entwicklung dieses Gebiets und der Stadt Debrecen. Das Projekt hat zum Zweck die Versorgung von Debrecen mit Trinkwasser und Industrierwasser sowie vom Bewässerungssystem für die Lößgebiete von Hajdúháttság und die Begründung einer Erholungsmöglichkeit am Badestrand, sowie die Bekämpfung der durch die Senkung des Grundwasserspiegels verursachten Umgebungsprobleme. Die wirtschaftlich motivierte Festlegung des Termins für die der Ausführung des Bauvorhabens erfolgt durch dynamische Programmierung. Die Zielfunktion minimalisiert die Summe der Investitions- und Betriebskosten und des Mittelwertes der aus dem Wassermangel herrührenden Schäden auf eine beliebig lange Zeitdauer. Die Empfindlichkeitsuntersuchung analysiert den Einfluß der veränderten Eingangswerte auf den optimalen Betrieb.