

AZ EVAPOTRANSPIRÁCIÓVAL KAPCSOLATOS MAGYARORSZÁGI VIZSGÁLATOK ÁTTEKINTÉSE ÉS JAVASLAT FOLYTATÁSUK MEGSZERVEZÉSÉRE¹

DOMOKOS MIKLÓS²

E tanulmány célja: az evapotranspirációra vonatkozó ismeretek vázlatos összefoglalása, a vele kapcsolatban Magyarországon folyó észlelési és kutatási tevékenység áttekintése, valamint javaslat adása a tevékenységek jövőbeli megszervezésére, különös tekintettel az evapotranspiráció *hidrológiai* vonatkozásaira.

1. Az evapotranspiráció (ET) mibenléte

1.1 Az ET mint a vízháztartási mérleg egyik eleme

Ebben a tanulmányban az ET-t a „területi párolgás” szinonimájaként értelmezzük. Laza fogalmazásban tehát az ET valamely meghatározott — kisebb vagy nagyobb — földfelszíndarabon adott időszak alatt a talaj-, víz-, hó-, jég-, növény-, út-, tető- stb. felületekről elpárolgó és a növényzet által elpárologtatott (transpirált) vízmennyiség összege. (A gyakorlati vízgazdálkodás elsősorban általában *nagyobb* — km²-t meghaladó nagyságrendű — területek ET-jának meghatározásában érdekelt.)

Az így értelmezett ET fogalmilag pontosabban a *vízháztartási mérleg* egyik elemeként határozható meg, ezért ebben a bevezető fejezetben ezzel foglalkozunk.

A vízháztartási mérleg adott hidrológiai egységre és adott tárgyidőszakra vonatkozik.

¹ A tanulmány 1977-ben készült első változatát az evapotranspirációval kapcsolatos magyarországi vizsgálatok mintegy 20 kiváló szakembere kézhez kapta, többségük írásban véleményezte és 1977 novemberében kerekasztal-beszélgetésen is megvitatta. Szerző a tanulmány jelen, második változatának összeállításához igyekezett az írásos vélemények és a kerekasztal-beszélgetés minél több megállapítását hasznosítani. Az első változat különösen mélyreható elemzéséért, helyesbítéséért és kiegészítéséért ezúton is köszönetét fejezi ki Kovács Györgynek, a műszaki tudományok doktorának, az Országos Vízügyi Hivatal főosztályvezetőjének, Szász Gábornak, a mezőgazdasági tudományok kandidátusának, a Debreceni Agrártudományi Egyetem professzorának és SZESZTAY Károlynak, a műszaki tudományok doktorának, a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ tud. tanácsadójának.

² Domokos Miklós, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ (VITUKI) Vizrajzi Intézete, 1095 Budapest, Kvassay Jenő út 1.

1.11 A hidrológiai egység

A vizsgált hidrológiai egység gyakran a földfelszín meghatározott darabjához (pl. egy vízgyűjtőterülethez) tartozó, általános henger alakú (vagy hasáb alakú) térrész, amelynek palástját a terület határvonalát metsző függőleges alkotók, alap- és fedőlapját pedig a felszín alatt és fölött meghatározott távolságban levő felületek képezik (TÄUMER, 1955).

A hidrológiai egységet tehát általában alul (hézagaiban levegőt és vizet tartalmazó) talaj, felül (vízpárát is tartalmazó) levegő, továbbá a mindkét részbe benyúló növényállomány tölti ki.

A hengerpalástot felül és alul elmetesző határfelületeket általában a palást által kimetszett földfelszíndarabot kiegyenlítő („sima”) felülettel nagyjából párhuzamosaknak képzeljük. A vizsgált földfelszíndarab (pl. vízgyűjtőterület) viszonylag kismértékű szintkülönbségei esetében tehát az egység alsó és felső (képzelt) határoló felületei síklapok vagy akár vízszintes síklapok is lehetnek. (Esésben levő alsó záróréteg esetében természetesen nem vízszintes, hanem a záróréteggel kb. párhuzamos határlapokat képzelünk.)

Az alsó és felső határoló felületnek (fedősíknak) a talajfelszíntől mért távolságára nem adhatók általános irányelvek; e távolságot mindig a vizsgált hidrológiai egység sajátosságainak és főképpen a vízháztartási mérleg céljának a figyelembevételével kell felvenni. Előfordulhat az is, hogy e távolság értékét célszerű tárgyidőszakról tárgyidőszakra (sőt, esetleg térbelileg is) változóznak venni.

A hidrológiai egység alsó és felső határoló felülete általános esetben a földfelszín alatt és fölött kellő távolságban (célszerűen a gyökérzóna alatt és a növényállomány fölött) helyezkedik el. (Alsó határfelületnek esetleg a talajvízszint is tekinthető.) Bizonyos különleges hidrológiai vizsgálatok esetében azonban az is előfordul, hogy a felső vagy alsó, vagy akár mindkét határoló lapot a földfelszíndarabbal majdnem-azonosnak (az utóbb említett esetben tehát majdnem-zérus vastagságúnak) tekintik. Ezekben a különleges esetekben tehát az — általánosabban értelmezett — hidrológiai egység egy-egy *szeletét* vizsgálják. Ez lehet például:

a) valamely terület fölötti, adott vastagságú légtér (alsó felület: terepfelület, felső felület: a tereppel kb. párhuzamos, adott magasságban levő képzelt felület),

b) valamely terület alatti, adott vastagságú — általában három- és kétfázisú zónát is tartalmazó — talajréteg (felső felület: terepfelület, alsó felület: a tereppel kb. párhuzamos, adott mélységben levő képzelt felület),

c) valamely terület alatti háromfázisú — vagyis levegőt és vizet is tartalmazó — talajréteg (felső felület: terepfelület, alsó felület: a legmagasabb talajvízszin),

d) valamely (vízgyűjtő) terület (felső és alsó felület: a terepfelület), mint elhanyagolható vastagságú hengerszelet, a felület mélyedéseit — vízfolyás- és állóvíz-medreket — kitöltő víztestekkel együtt.

A vizsgált hidrológiai egység kiterjedése nagyon tág határok között változhat. A befoglaló henger palástját meghatározó földfelszíndarab néhány dm²-től (liziméter) a hektár, ill. km² nagyságrenden keresztül (parcella, kis-vízgyűjtő) több ezer km²-ig (nagy folyó vízgyűjtője), sőt, akár a kontinens-méretig terjedhet. A henger magassága is tág határok közt változhatik kontinens-méretű vizsgálatnál — amikor a légtér páratömegmozgása is szerepet játszik — akár km nagyságrendű is lehet.

1.12 A tárgyidőszak

A vízháztartási mérleg tárgyidőszaka meghatározott naptári időszak (pl. év, hónap, dekád). Hossza — a vizsgálat céljától és a lehetőségektől függően — ugyancsak tág határok között változhat: elvileg másodperc vagy nap nagyságrendű is lehet (folyamatos vízmérleg, ill. részletes modellvizsgálatok esetében), de a gyakorlatban inkább dekád (mint. pl. az Országos Vízügyi Hivatal belvízi helyzetjelentései esetében), vagy akár nap, ill. év terjedelmű.

1.13 Az általános vízháztartási mérleg

A vízháztartási mérleg olyan egyenlet, amely a tárgyidőszak alatt a vizsgált hidrológiai egység határoló felületén keresztül az egységbe belépő és onnan távozó, valamint az egységben tárolódó vízmennyiség változásának mennyiségi egyensúlyát fejezi ki. Adott henger alakú hidrológiai egység adott T tárgyidőszakra vonatkozó vízháztartási mérlegének legáltalánosabb alakja tehát a következő:

$$\begin{aligned} \int_T [Q_{1,be}(t) - Q_{1,ki}(t) + Q_{2,be}(t) - Q_{2,ki}(t) + \\ + Q_{3,be}^{(l)}(t) - Q_{3,ki}^{(l)}(t) + Q_{3,be}^{(f)}(t) - Q_{3,ki}^{(f)}(t) + \\ + Q_{3,be}^{(t)}(t) - Q_{3,ki}^{(t)}(t)] dt = V_{vég}^{(l)} - V_{kezd}^{(l)} + \\ + V_{vég}^{(f)} - V_{kezd}^{(f)} + V_{vég}^{(t)} - V_{kezd}^{(t)}, \end{aligned} \quad (1)$$

ahol az egyes mérlegelemek értelmezése a következő:

- $Q_{1,be}$ és $Q_{1,ki}$ — a hidrológiai egységet határoló henger fedőfelületén át a tárgyidőszakban érkező és távozó vízmennyiség,
- $Q_{2,be}$ és $Q_{2,ki}$ — a henger alapfelületén át érkező és távozó vízmennyiség,
- $Q_{3,be}^{(l)}$ és $Q_{3,ki}^{(l)}$ — a hengerpalást felszín feletti részén át érkező és távozó vízmennyiség,
- $Q_{3,be}^{(f)}$ és $Q_{3,ki}^{(f)}$ — a hengerpalást és a földfelszín metszésvonalát tartalmazó keskeny sávot³ keressztevve érkező és távozó vízmennyiség,
- $Q_{3,be}^{(t)}$ és $Q_{3,ki}^{(t)}$ — a hengerpalást felszín alatti részén át érkező és távozó vízmennyiség,
- $V_{vég}^{(l)}$ és $V_{kezd}^{(l)}$ — a hengertest felszín feletti részében — a légtérben és a növényállomány felszín feletti részében — tárolódott vízmennyiség a tárgyidőszak végén és kezdetén,

³ Ebben az értelmezésben a „keskeny sáv” tartalmazza pl. az egységbe be- és onnan kilépő vízfolyások határkeresztzelvényeit.

- $V_{\text{vég}}^{(t)}$ és $V_{\text{kezd}}^{(t)}$ — a hengerben levő földfelszín-darabot tartalmazó keskeny övben (tavakban, mocsarakban, vízfolyásmedrekben, hó- és jégtakaróban stb.), továbbá a növények felületein tározódott vízmennyiség a tárgyidőszak végén és kezdetén,
- $V_{\text{vég}}^{(t)}$ és $V_{\text{kezd}}^{(t)}$ — a hengertest felszín alatti részében — a talaj rézagaiban és a gyökérállományban — tározódott vízmennyiség a tárgyidőszak végén és kezdetén, végül,
- t — az idő.

A Q jelű elemek mértékegysége vízhozam (pl. m^3/s), a V jelűeké pedig vízmennyiség (pl. m^3).

Az (1) egyenletben szereplő vízmennyiségek közül $Q_{1,ki}$, $Q_{3,be}^{(t)}$, $Q_{3,ki}^{(t)}$, $V_{\text{vég}}^{(t)}$ és $V_{\text{kezd}}^{(t)}$, $V_{\text{vég}}^{(t)}$ és $V_{\text{kezd}}^{(t)}$ általában részben légnemű (pára), részben cseppfolyós, vagy szilárd, a többi mennyiség pedig általában cseppfolyós (esetleg részben szilárd: jég és hó alakú) vízmennyiséget jelöl.

Az (1) típusú vízháztartási mérleg — meghatározásából következően — nem veszi figyelembe a hidrológiai egységen (hengeren) belül lezajló vízmozgást (pl. a felszíni beszívargást, a növények vízemelő tevékenységét, a kondenzációt), hanem csupán ezeknek a henger felületén keresztül jelentkező eredőivel számol. Az egységen belüli vízmozgás nyomon követésének módja: az egységet alkotó hengertérnek szeletekre bontása kb. párhuzamos felületekkel (pl. az 1.1 szakaszban említett a)—d) típusú szeletekre) s ezek mindegyikére az ugyanazon tárgyidőszak-sorozatra vonatkozó (1) típusú vízháztartási mérlegek felírása, aminek során a két-két szelet elválasztó felületén áthaladó vízmennyiségek mindkét szelet mérlegében (ellenkező előjellel) szerepelnek (Kovács, 1977). Az a) típusú hidrológiai egység esetében például az (1) egyenlet (t) felső indexű — talajtérre vonatkozó — tagjai nemlétezőnek tekintendők, $Q_{2,be}$ a talajból történő párolgást, a felszínre törő talajvizet és a növények vízemelését, $Q_{2,ki}$ pedig a felszínről történő beszívargást jelenti.

1.14 A vízháztartási mérleg egyszerűsített változatai

Az (1) szerinti általános vízháztartási mérleget — a benne szereplő egyes mérlegelemek meghatározásának nehézségei miatt — a gyakorlatban még közelítően sem lehet felállítani. Helyette a vízháztartási mérlegnek különböző elhanyagolásokkal és összevonásokkal kapott egyszerűsített változatait alkalmazzák.

Az egyik gyakran alkalmazott egyszerűsített mérlegváltozat a következő megfontolásokon, ill. közelítő feltevéseken alapul ($\Delta Q = \int_T [Q_{be}(t) - Q_{ki}(t)] dt$, $[\text{m}^3]$, ill. $\Delta V = V_{\text{vég}} - V_{\text{kezd}}$ $[\text{m}^3]$ jelölésekkel):

- A henger alatti térből feljutó vízmennyiség elhanyagolható: $\Delta Q_{2,be} \simeq 0$.
- A légtérben lezajló vízszintes irányú páraáramlás hatása — eléggé kis hidrológiai egységek esetében — elhanyagolható: $\Delta Q_3^{(1)} \simeq 0$.
- A vízszintes irányú talajvízmozgás mérlegre gyakorolt hatása elhanyagolható: $\Delta Q_3^{(t)} \simeq 0$.
- A légtérben tározódott páramennyiség-változás hatása — eléggé kis hidrológiai egységek esetében — elhanyagolható: $\Delta V^{(t)} \simeq 0$.

e) A növényállományba beépült vízmennyiség megváltozásának hatása $\Delta V^{(f)}$ -re és $\Delta V^{(t)}$ -re elhanyagolható.

Elfogadva az a)–e) szerinti feltevéseket, továbbá bevezetve a következő jelöléseket:

$$\begin{aligned} \int_T Q_{1,be}(t) dt &= P \text{ (csapadék)} \\ \int_T Q_{1,ki}(t) dt &= ET \text{ (evapotranspiráció vagy területi párolgás)} \\ \int_T Q_{2,ki}(t) dt &= S \text{ (az alsó határoló felületen keresztül távozó vízmennyiség, ill. általában a talajvízbe történő beszívargás),} \end{aligned}$$

továbbá zárt vízgyűjtőterülethez tartozó hidrológiai egységet vizsgálva, amelynek felszíni határvonalát egyetlen pontban metszi — éspedig kifelé irányulva — az

$$\int_T Q_{3,ki}^{(f)}(t) dt = R$$

lefolyás, az (1) egyenlet a következő egyszerűbb alakra hozható:

$$P - ET - S - R = \Delta V^{(f)} + \Delta V^{(t)}, \quad (2)$$

ahol tehát $\Delta V^{(f)}$ — a talajfelszínen és növényfelületen — víz, hó vagy jég alakjában — tározódott vízmennyiség megváltozása, $\Delta V^{(t)}$ pedig a talajban — részben talajnedvesség, részben talajvíz alakjában — tározódott vízmennyiség megváltozása.

$\Delta V^{(t)}$ -t sokszor célszerű összetevőire bontani:

$$\Delta V^{(t)} = \Delta V^{(t)'} + \Delta V^{(t)''}, \quad (3)$$

ahol $\Delta V^{(t)'}$ a talajnedvesség, $\Delta V^{(t)''}$ pedig a talajvíz alakjában tározódott vízmennyiség megváltozása. E jelöléssel a (2) egyszerűsített vízmérleg

$$P - ET - S - R = \Delta V^{(f)} + \Delta V^{(t)'} + \Delta V^{(t)''} \quad (4)$$

alakot ölt. További egyszerűsítési lehetőségekkel élve — vagy esetleg információhiány okozta kényszerűségből — a (2), ill. (4) szerinti mérleg esetenként még tovább is egyszerűsíthető.

Különleges körülmények és időtartományok esetében elhanyagolható lehet pl. az S beszívargás, vagy az R lefolyás, vagy a $\Delta V^{(t)'}$ talajnedvességtartalom-változás, vagy a $\Delta V^{(f)}$ felszíni tározódásváltozás értéke. Az is előfordul, hogy a (4) egyenlet egyes tagjait nem külön-külön, hanem egyeseket (pl. az S beszívargást és az ET evapotranspirációt) összevonva veszik figyelembe.

A (2) típusú — és egyéb — egyszerűsített vízmérlegek alkalmazásának elengedhetetlen feltétele, hogy meggyőződjünk az egyszerűsítések alapjául szolgáló elhanyagolások jogosságáról (Szász, 1968, 1977). Ismernünk kell az elhanyagolások okozta hibák mértékét is, mert csak így különíthetők el tőlük a mérési pontatlanságból eredő hibák. Különösen azok az esetek lehetnek kritikusak, amelyekben az elhanyagolt mérlegelemnek jelentős hatása van valamelyik figyelembe vett mérlegelem időbeli alakulására. (A (2) egyenlet felírásakor elhanyagolt $\Delta V^{(1)}$ mérlegelem — vagyis a légtérben és a növényállomány felszín feletti részében tározódott vízmennyiség megváltozása — pl. szoros kapcsolatban lehet a mérlegben figyelembe vett ET elemmel.) Az egyszerűsített mérlegek pontosságát esetenként az elhanyagolások hatását ellen-súlyozó korrekciós tagok figyelembevételével is fokozhatjuk.

Az, hogy a vízháztartási mérleg felállítása során mely elemek hanyagolhatók el gyakorlatilag elfogadható közelítéssel, a vizsgált hidrológiai egység természeti-földrajzi viszonyain kívül nagymértékben függ a választott tárgy-időszak T hosszától. Például a

$$\beta = \frac{\Sigma \Delta V}{\Sigma \int_T Q(t) dt}$$

viszony általában a tárgyidőszak hosszával fordítottan arányos; eléggé hosszú T esetében tehát az (1) vízháztartási mérleg jobb oldalán álló $\Sigma \Delta V$ mennyiség a bal oldalon álló $\Sigma \int_T Q(t) dt$ mennyiséghez képest gyakorlatilag elhanyagolhatóvá válik. A T tárgyidőszak hosszabbításának viszont határt szab a vízháztartási mérleg felállításának gyakorlati célja, amely általában a mérlegelemek lehetőleg minél rövidebb időtartamokra vonatkozó mennyiségeinek a meghatározásából áll. Ugyanakkor T rövidítésének is határt szab pl. a vízháztartási elemek észlelésének gyakorisága.

1.15 A vízháztartási mérleg felállításának célja

A vízháztartási mérleg felállításának leggyakoribb céljai:

- a) Jól mért, ill. becsült elemek ismeretében egy-egy nem, vagy csak pontatlanul mérhető vízháztartási elem (pl. ET , S vagy $\Delta V^{(t)}$) számítása.
- b) A vízháztartási folyamat — adatgenerálást, előrejelzést, vízgazdálkodási tervezést szolgáló — modellezésének előkészítése.

A vízháztartási mérleg ilyen gyakorlati hasznosításait jelentősen megnehezíti, hogy még az erős egyszerűsítéssel kapott (4) egyenletben szereplő mennyiségek közül is általában csak háromnak — P -nek, R -nek és $\Delta V^{(t)}$ -nek — az értékét ismerjük többé-kevésbé megbízhatóan, a többiekét alig. A többi elem vízháztartási mérleggel való meghatározása tehát rendkívül bizonytalan, mert

- az ismert elemek behelyettesítése után fennmaradó különbözetnek eléggé önkényes szétosztásán alapul,
- ily módon az „ismert” elemek meghatározásának összesített hibája a meghatározandó elemeket terheli (lásd még bővebben a 3.21 szakaszban).

1.16 A vízháztartási és a vízgazdálkodási mérleg kapcsolata

Az (1) egyenlet szerinti vízháztartási mérleg elemei lehetnek természetes mennyiségek, de függhetnek többé-kevésbé az emberi tevékenység hatásától is. Néhány példa az emberi tevékenység lehetséges mennyiségi hatásaira:

- $Q_{1,be}$ értékét növelheti a mezőgazdasági öntözés,
- $Q_{1,ki}$ értékét növelheti az erőművek hűtőtornyaiából történő párolgás, módosíthatja a növényállomány megváltozása,
- $Q_{2,be}$ értékét növelheti a felszínre szivattyúzott mélységi víz,
- $Q_{2,ki}$ értékét növelheti a mesterséges víztározás és az öntözés következtében fokozódó beszivárgás,
- $Q_{3,be}^{(f)}$ értékét módosíthatja a felszíni vízátvétel,
- $Q_{3,ki}^{(f)}$ értékét módosíthatják az (1) egyenlet bármely más elemét megváltoztató emberi tevékenységek, továbbá a felszíni lefolyás sebességét módosító beavatkozások (folyószabályozás, árvízi töltések stb.),
- $Q_{3,be}^{(t)}$ és $Q_{3,ki}^{(t)}$ értékét módosíthatják a hidrológiai egységben vagy annak környezetében történő felszín alatti vízkitermelések, továbbá a növényállomány változtatása,
- $\Delta V^{(f)}$ értékét módosíthatják a tározók, a lecsapolások, az ipartelepek hőki-bocsátásának hatására meggyorsuló hóolvadás stb.,
- $\Delta V^{(t)}$ értékét módosíthatja a talajvízdúsítás, az öntözés, a felszínalatti víz kitermelése.

Ha az emberi tevékenységnek az (1) szerinti vízmérlegre gyakorolt hatása összességében nem jelentős (elhanyagolható), akkor az (1) szerinti vízháztartási mérleget (természetes) *hidrológiai mérlegnek* is nevezik.

Ha viszont az emberi tevékenységnek az (1) szerinti vízmérlegre gyakorolt hatása összességében számottevő, és a vizsgálat fő célja az emberi tevékenység (meglevő vagy tervezett) vízigényei kielégíthetőségének a vizsgálata, akkor — az (1) egyenlet célszerű átfogalmazásával — *vízgazdálkodási mérleget* készítenek. Az átfogalmazás lényege, hogy a vízgazdálkodási mérleg az (1) egyenlet valamennyi természetes eredetű összetevőjét egyetlen eredő értékkel (éspedig a $Q = Q_{3,ki}^{(f)}$ kilépő vízhozammal), az emberi tevékenységtől függő összetevőket viszont részletezve, tagonként veszi figyelembe. Amíg tehát a vízháztartási mérleg lényegében fizikai jellegű számítás (az anyagmegmaradás elvének hidrológiai vetülete), addig a vízgazdálkodási mérleg inkább társadalmi-gazdasági jellegű számítás (a kereslet-kínálat összemérés vízgazdálkodási megfelelője) (UN, 1974). További jellegzetes eltérések a vízháztartási és a vízgazdálkodási mérleg között (DOMOKOS, 1972):

1. A vízháztartási mérleggel vizsgált terület nagysága — mint említettük — néhány dm^2 -től akár több millió km^2 -ig terjedhet. A vízgazdálkodási mérleg esetében ez a tartomány — gyakorlati okokból — jóval szűkebb: általában néhány km^2 -től néhány száz km^2 -ig terjed. Emellett a vízgazdálkodási mérleggel vizsgált egység a legtöbbször földfelszíndarab: légtérrel soha nem tartalmaz, és a legtöbbször a talajteret sem foglalja magában.

2. A vízháztartási mérleg tárgyidőszaka mindig valamilyen — adott hosszúságú — naptári, konkrét időszak. A vízgazdálkodási mérleg tárgyidőszaka viszont — célszerűségi okokból — többnyire eszei időszak: a valóságban össze nem függő, de összefüggőnek képzelt részidőszakok egyesítése (pl. igen sok év június hónapjainak egyesítése).

1.2 Az ET összetevői és tényezői

Az itt csupán az ET egyértelmű értelmezésének kedvéért felírt (4) vízháztartási mérleg szerint az ET a vizsgált hidrológiai egységet befoglaló henger fedőlapján át, adott tárgyidőszak alatt (pára alakjában) távozó vízmennyiség. ET-n tehát általában a hidrológiai egységben levő, levegővel érintkező mindenféle (víz-, talaj-, hó-, jég-, növényzeti-, út-, tető- stb.) felületről történő párolgásnak és a növények párologtatásának (transpirációjának) az összegét értik.

Magyarország területén az ET vízmérlegen belüli súlya jelentős. A sokévi átlagos 602 mm/év csapadékkal szemben 540 mm/év ET áll. A két érték különbsége 62 mm/év , az ország területén keletkező átlagos felszíni és felszín alatti lefolyás összegével egyenlő (KARDOS, 1975).

A hidrológiai egységen belül lezajló folyamatokat is figyelembe véve, az ET-nak általában a következő összetevői vannak:

- a) (Fizikai) párolgás
 - a talajnedvességből (amelyet részben a csapadék, részben a talajvíz táplálhat)
 - a hidrológiai egység szabad és burkolt térszínéről, továbbá a víz-, hó- és jégfelületekről,
 - a növényfelületekről (intercepciós párolgás).
- b) (Biológiai) transpiráció
 - a növényfelületekről (amelyet közvetlenül a talajnedvesség, tehát közvetve ugyancsak részben a csapadék, részben a talajvíz táplál).

Az ET tényleges (pillanatnyi) vagy akár hosszabb tárgyidőszakra vonatkozó értéke általában számos — az idő függvényében egyenként is különböző mértékben változó, részben a vizsgált hidrológiai egység belsejét, részben annak környezetét jellemző — tényezőtől függ. E tényezők két fő csoportra oszthatók:

a) A *páraleadó rendszer* tényezői: a gyökérzóna és az alatta levő talajtér fizikai és kémiai jellemzői (szemcseeloszlás, talajkolloidikai jellemzők, kultúr-állapot, tápanyagtartalom stb.), energetikai viszonyai, vízkészlete (talajvíz és talajnedvesség), a növényállomány fajtától és fejlettségétől függő sajátosságai (vízmelőképeség, a transpiráló felület mennyisége és minősége), a talajfelszín és a növényegyedek felületének nedvességállapota stb.

b) A *párafellevő rendszer* tényezői: a párolgáshoz rendelkezésre álló energia, a légtér páratartalma és a levegő mozgása (szél).

1.3 Az ET-fogalom változatai

1.3.1. Tényleges, potenciális és viszonyítási ET

Általános módszertani szempontból az ET következő értékeit szokták megkülönböztetni (PÉCZELY, 1977):

A *tényleges (aktuális) ET* a vizsgált hidrológiai egységet befoglaló henger fedőlapján, valamint palástjának talajfelszín feletti részén adott tárgyidőszak alatt távozó vízmennyiség.

A *potenciális ET* a tényleges ET-nak az a felső határértéke, amely akkor lenne mérhető, ha az ET csak a párafellevő rendszer tényezőitől függne (vagyis a páraleadó rendszer felől érkező vízutánpótlás korlátlan lenne), továbbá ha a talajfelszínt teljessé elborítaná a zöld növényzet.⁴

A potenciális ET fogalmának tudományos létjogosultsága és használatának célszerűsége erősen vitatható. SZÁSZ GÁBOR véleménye szerint (Szász, 1977): „A potenciális ET értékében sohasem választható ketté és nem ismerhető meg egyszerű módon az evaporáció és a transpiráció aránya. Fönnáll annak a lehetősége, hogy két azonos potenciális ET összegben teljesen eltérő ez az arány, vagyis azonos számértékkel két eltérő folyamatot jellemzünk. Potenciális ET-ről beszélünk akkor is, ha a talajfelszínt sűrű növényzet fedi, de abban az esetben is, ha csak elvétve található a felületen növény. Konklúzió: potenciális ET-t referencia-felület nélkül nem értelmezhetünk. Az értelmezés megköveteli a referencia-felület idő- és térbeli homogenitását. Ez utóbbi sohasem teljesül.” A potenciális ET fogalma helyett ezért a levegő párologtató képességének (más szóval az ún. tó párolgásnak vagy potenciális párolgásnak) a használatát javasolja, mivel az utóbbi a 3.1 szakaszban említett párafellevő rendszer azonos referencia-felületre vonatkoztatott sajátosságait egyértelműen tükrözi, s a gyakorlatban is könnyebben mérhető párolgásmérő kádakkal. Az

⁴ A potenciális ET THORNTWAITE-től származó eredeti definícióját PENMAN egészítette ki a talajfelszínt elborító zöld növényzet követelményével és a WMO (1974) hidrológiai útmutatója is ebben az alakban ajánlja. A kiegészített definíció nehézségei nyilvánvalók: a definíció a nagyobb földrajzi szélességek vidékén télen nem értelmezhető és általában hiányzik belőle a növénytakaró minőségének, állapotának a meghatározása.

utóbbiak mérési adatait viszont az advekciós hatások zavarják; ezektől az adatsorokat meg kell tisztítani.

A fentiekkel és az ICID evapotranspirációs konferenciájának ajánlásai-val (BALOGH, 1973) összhangban SZESZTAY (1978) bevezeti és a következőképpen definiálja a *viszonyítási ET* fogalmát: „Valamely célszerűen kiválasztott és a vegetációs időszakban meghatározott növényzettel (pl. meghatározott magasságú fűvel vagy lucernával) borított térszínelem ET-ja bőséges vízellátottság és oázis-hatástól mentes körülmények között.” A viszonyítási ET tehát fogalmilag és számértékben is különbözik a potenciális ET-től; az utóbbitól eltérő fontos tulajdonsága, hogy a tényleges ET számítással való meghatározásához gyakorlatilag bizonytalanságoktól mentes, megbízható kiindulási értéket ad.

1.3.2. Minimális, maximális és optimális ET

Növénytermesztési szempontból megkülönböztetik még a minimális, a maximális és az optimális ET-t, továbbá az öntözött növényállomány ET-ját (PETRASOVITS és BALOGH, 1974).

A *minimális ET* „olyan növényállományok pára alakú vízleadása, ahol a páraleadó rendszer vízellátottsága minimális, de a viszonylagos vízhiány még nem váltott ki a növényállományban irreverzibilis pusztulási folyamatokat” (letális állapotot).

A *maximális ET* „olyan növényállományok pára alakú vízleadása, ahol a páraleadó rendszer vízellátottsága maximális — vagyis csakis a növényállomány adottságai korlátozzák az ET-t — viszont a viszonylagos vízbőség még nem váltott ki a növényállományban irreverzibilis pusztulási folyamatokat” (letális állapotot).

Az *optimális ET* az ET-nak a minimális és a maximális ET közé eső azon értéke, amely a vizsgált növényállomány fejlődése, ill. az elérendő terméseredmény szempontjából a legkedvezőbb.

A mezőgazdasági vízgazdálkodás (lecsapolás, öntözés) célja a páraleadó rendszer vízellátottságának olyan szabályozása, hogy a tényleges ET az optimális ET-t minél jobban megközelítse. Hosszú száraz, meleg időszakban tehát az öntözés célja a tényleges ET értékének az optimális ET-hoz való közelítése.

Az optimális ET fogalmát nem a vízgazdálkodásban, ill. hidrológiában, hanem egyes növénytermesztési szakemberek használják, de közöttük sem teljes az egyetértés (SZÁSZ, 1977). Értelmezésével kapcsolatban felvetődik az a kérdés, hogy szerencsés dolog-e a növénytermesztés eredményességét elsősorban a növényállomány egyik anyageseretermékét (továbbá a párolgást) tartalmazó ET-val kapcsolatba hozni (lásd még a 4.32 szakaszban). Valószínű, hogy a terméseredmény és a biztosított vízfelvételi lehetőség — vagyis a talajnedvesség — között (a tápanyagellátottsághoz hasonlóan) szorosabb kapcsolat lenne megállapítható.

Hasonló példa: egy ipari üzem termelőképességét nem elsősorban az általa kibocsátott hulladékok (melléktermékek) mennyiségén mérik, hanem inkább a működéséhez rendelkezésre álló nyersanyag, energia, termelőeszközök és munkaerő mennyiségén. Nem azt mondják, hogy az üzemnek műszaki potenciálja optimális kihasználásához meghatározott mennyiségű hulladékot — pl. használt vizet (felmelegedett hűtővizet) — kell kibocsátania, hanem azt, hogy e célra meghatározott mennyiségű nyersanyagot, energiát és energiaszabályozót, — egyebek között hűtővizet — és munkaerőt kell az üzem számára biztosítani. Habár általában valószínű, hogy bizonyos tartományban a termék és a hulladék mennyisége arányos, az üzem ellátási szerkezetének, vagy belső működésének zavara esetében pl. az is előfordulhat, hogy a termelés csökkenésével a hulladék-kibocsátás növekedése jár együtt.

Az optimális ET-fogalom definíciójának egyértelműsége, s ezzel használatának jogossága az előbbinél általánosabb szempontból is erősen vitatható (Szász, 1977). Az ET ugyanis csak egyike az adott növényállomány terméseredményét meghatározó igen sokféle tényezőnek (talaj, időjárás, agrotechnika stb.). Az ET-n kívüli tényezők értékeinek különböző lehetséges kombinációihoz más és más „optimális” ET-érték tartozik. Adott növényállomány — egyéb tényezőktől független — optimális ET-járól mint eleve meghatározott, konstans értékről beszélni tehát nyilvánvalóan félrevezető.

2. Az ET-ra vonatkozó ismeretszerzés céljai

ET-n a tanulmány további részében — az 1. szakasz általános meghatározását némileg szűkítve — a felülről gyakorlatilag *csupán talaj- és növényfelületek* határolta hidrológiai egységekből felfelé távozó vízmennyiséget értjük. Feltesszük tehát, hogy a vizsgált egységen nincsenek hó-, jég-, út-, tetőstb. felületek, vagy ha vannak is, a terület egészének vízforgalmára gyakorolt hatásuk elhanyagolható. Az ET-fogalom ilyen egyszerűsített használatát az a tény indokolja, hogy a vízgazdálkodási gyakorlat többnyire nagy kiterjedésű, beépítetlen mezőgazdasági és erdőterületek ET-jának a meghatározásában érdekelt.

Az ET mértékére vonatkozó ismeretekre jelenleg három fő területen: a hidrológiában, a növénytermesztésben és a meteorológiában van szükség. A hidrológia inkább a hidrológiai mérleg (természetes) ET-értékét, a növénytermesztés viszont a vízgazdálkodási mérleg (emberi tevékenységgel manipulált) ET-értékét igényli (1.16. szakasz). A meteorológia — szerteágazó tevékenysége következtében — mindkét ET-változat meghatározásában érdekelt.

2.1 Hidrológiai célok

A hidrológia két fő célra igényli az ET-adatokat:

— egyrészt a vízkörforgás (elsősorban a fedőrétegben történő vízmozgás) alapvető fizikai és biológiai törvényszerűségeinek a feltárásához, kisméretű (elemi) talajtömbökre vonatkozóan,

— másrészt nagyobb hidrológiai egységek vízháztartási mérlegeinek felállításához, ill. pontosításához, részben segédváltóként (pl. a lefolyás pontosabb meghatározása vagy előrejelezhetősége érdekében), részben önálló vízgazdálkodási tervezési alapadatként (pl. a jövőben létesítendő tározó vízvesztésének becsléséhez, amely a tározó vízfelületének várható párolgása és az elárasztandó terület ET-ja közötti különbségként számítható).

2.2 A növénytermesztéssel kapcsolatos célok

A növénytermesztésnek, ill. mezőgazdasági vízgazdálkodásnak adott vetésszerkezet esetén elsősorban a bizonyos növényfaj termesztéséhez szükséges, leggazdaságosabb öntözővízmennyiség meghatározásához, ill. előrejelzéséhez lehet szüksége az „optimális ET” ismeretére. (Az adott jövőbeli időszakra előrejelzett „optimális ET”-ből a szükséges leggazdaságosabb öntözővízmennyiség a talaj vízkészletének és az adott időszakra előrejelzett csapadéknak az ismeretében számítható). Másrészt a mezőgazdasági távlati tervezéshez is minél pontosabban ismerni kell a növényfajtak vízigényét (HASHEMI, 1977).

2.3 A meteorológiával kapcsolatos célok

A meteorológia egyrészt az időjárás-előrejelzéshez (s ezen keresztül a hidrológiai előrejelzéshez), a légköri páracirkuláció egyik összetevőjeként igényli az ET ismeretét. Ugyanakkor az agrometeorológia célkitűzései összefonódnak a növénytermesztés igényeivel. A tanulmány további részében a meteorológiai célú ET-meghatározással ezért külön nem is foglalkozunk.

3. Módszerek az evapotranspiráció becslésére

Az ET következtében felszálló pára mennyisége *közvetlenül* (pl. párapadával) a jelenleg ismeretes eszközökkel nem mérhető már csak azért sem, mert a mérőberendezésnek nem szabad észrevehetően megváltoztatnia a mérendő jelenséget. Az e célra korábban alkalmazott ún. atmometerek nem váltak be (KOVÁCS, 1977).

Közvetlen mérési lehetőség hiányában az ET meghatározására különböző közvetett mérési és számítási módszereket alkalmaznak.

A *közvetett mérési eljárások* közül a gyakorlatban elterjedt liziméteres mérés csakis kisméretű (legfeljebb néhány m² területű) elemi hidrológiai egységekre alkalmazható. A sugárzási és hőháztartási mérleg elemeinek távérzékeléses (repülőgépről, műholdról történő) területi fényképezése jelentős új távlatokat nyit ugyan nagy területek ET-ja közvetett meghatározásának

(WMO, 1974), de rutinszerű hazai alkalmazásáról még nem lehet szó. Az egyéb — részben az említett közvetett mérési eredményeket is felhasználó — *számítási módszerek* tetszőleges nagyságú (akár kontinensméretű) hidrológiai egységekre is alkalmazhatók. A közvetett mérések és számítások közös hátránya, hogy eredményeik rendkívül bizonytalanok.

3.1 Az ET mérése liziméterrel

A liziméter általában vízzáró lemezből készült, legfeljebb néhány m² alapterületű, felül nyitott, alul zárt, hasáb vagy henger alakú tartály, amelyet talajjal töltenek meg és növényvel ültetnek be, majd szabad területen a talajba süllyesztenek úgy, hogy a tartályban levő talaj szinelen a külső terepszinttel. A liziméter tehát voltaképpen egy, a terepszint alatt elhelyezkedő, fizikailag is körülhatárolt hidrológiai egység (Kovács, 1976). A körülhatárolás célja, hogy a liziméterben levő talajtömbben tározódott vízmennyiség-változások mérhetőek, s ezekből — a talajtömb felszínére hullott csapadék figyelembevételével — az alulról tartállyal körülhatárolt hidrológiai egység ET-ja számítható legyen.

3.1.1 Liziméter — típusok

A liziméternek két alapvető típusa van:

a) A *súlyliziméterrel* a víztartalomváltozás a liziméter súlyának mérése révén történik. A súlyliziméternek ismét három fajtája van:

— Az egyszerű, kettős falú, kiemelhető lizimétereket alkalmas berendezéssel *mechanikus mérleghez* szállítják, s itt határozzák meg a súlyukat. Mivel azonban a mérendő víztartalomváltozás súlya a talajjal telt liziméter súlyának elenyésző töredéke, továbbá a kezelhetőség érdekében többnyire alkalmazott kis felületű liziméterek esetében a mérési eredményeket torzító „falhatás” viszonylag nagy, a súlylizimétereknek ez a fajtája pontatlansága miatt Magyarországon nem vált be.

— A súlyliziméter másik fajtája esetében a lizimétertest egy folyadékkal töltött külső tartályban úszik, úgyhogy súlyváltozásai folyamatosan és *hidraulikus úton* kellő pontossággal észlelhetőek, ill. regisztrálhatók. Ez a liziméter-fajta rendkívül drága; Magyarországon eddig nem is alkalmazták.

— A súlyliziméter harmadik fajtájának súlyváltozásait precíziós *erőmérő-cellák* segítségével mérik, ill. regisztrálják. Magyarország első ilyen berendezése 1978 óta működik a VITUKI Mirhó-Gyolcsi kísérleti vízgyűjtőjén.

b) A *volumetrikus (kompenzációs) liziméter* működésének elve, hogy a liziméter talajtömbjében egy automatikus szerkezet megadott (általában állandó) talajvízszintet tart. A vízszint szabályozásához szükséges vízutántöltés és leeresztés mennyiséget mérik, s ebből — a liziméter felszínére hullott csapadék figyelembevételével — számítják ET értékét. A volumetrikus lizi-

méter különleges, egyszerű változata a *Friedrich-féle liziméter*, amely csupán a talajba beszívargó vízmennyiséget méri, az ET-t nem.

Felépítés, működési elv, mérhető elemek tekintetében a lizimétereknek számtalan változata létezik; egységes (szabványosított vagy akár ajánlott) változat még nem alakult ki. A liziméterek fajtáinak hidrológiai használhatóság szempontjából való kitűnő elemzése és rendszerezése KOVÁCS (1976) tanulmányában olvasható.

Magyarország hidrológiai és növénytermesztési célú ET állomáshálózatát a tanulmány 4.1 szakasza részletesebben ismerteti.

Az NSZK 21 110 km² területű Hessen tartományában 79 liziméterállomásból álló hálózat működik (SALAY-TOUSSAINT, 1977).

3.12 A liziméteres észlelések értéke

A liziméteres észlelésnek a hidrológiában — a 2.1. szakaszban mondtaknak megfelelően — két fő célja lehet: (a) a háromfázisú zónában lejátszódó vízmozgás törvényszerűségeinek vizsgálata, (b) nagyobb területek tényleges *ET*-értékei becslésének megalapozása. A növénytermesztéssel kapcsolatos igény lényegében megegyezik a hidrológia (b) típusú igényével, azzal a kiegészítéssel, hogy a növénytermesztést a nagyobb területek mellett a mezőgazdasági táblák *ET*-jének meghatározása is érdekli. Azt kell tehát mérlegelnünk, hogy a liziméteres észlelés mennyire felel meg az (a) és (b) típusú igénynek.

Az (a) típusú igénynek a kellő körültekintéssel végzett liziméter-észlelés — amint ezt magyar példa (MAJOR, 1974) is bizonyítja — kitűnően megfelel. Ezért is ajánlja KOVÁCS (1976), hogy a háromfázisú talajrétegben lejátszódó folyamatok tanulmányozására minden *hidrológiai kísérleti területet* el kell látni megfelelő liziméterrel.

Ha viszont a liziméter-észleléstől az — akár a hidrológia, akár a növénytermesztés részéről támasztott — (b) típusú igény kielégítését várjuk, kedvezőtlenebb a helyzet.

A liziméterrel történő *ET*-mérés célja ekkor ugyanis a pontbeli *ET*-értékekből nagyobb területek — pl. egy vízgyűjtő, vagy a liziméterbe ültetett növényt termesztő mezőgazdasági táblák összessége — *ET*-értékének a becslése.

A liziméterekkel — mégoly pontos és gondos észleléssel — meghatározott *ET*-értékek aligha alkalmasak erre a célra, főképpen a következő okok miatt:

1. A liziméterekkel kapott *ET* értékekről *kísérleti úton* sohasem dönthető el, hogy mennyire jellemzik egy-egy nagyobb terület *ET* értékét, mivel az utóbbi mennyiség nem mérhető és csak nagyon bizonytalanul számítható (3.2. szakasz). Ebből a szempontból a liziméter szolgáltatta *ET*-adatok információs értéke teljesen ismeretlen.

2. Tapasztalaton alapuló *logikai megfontolással* viszont arra kell következtetnünk, hogy a liziméteradatok általában nem jellemezhetik a liziméter

tágabb, vagy akár szűkebb környezetének *ET*-viszonyait. A liziméter fenéklapjának — mérés technikai okokból szükségszerűen — vízzáró volta miatt a benne lezajló vízmozgás általában jelentősen különbözik a környező természetes fedőrétegétől. Különösen érvényes ez az elterjedten alkalmazott állandó vízszintet tartó kompenzációs liziméterekre, amelyek rögzített talajvíztükre a természetes talajvízjárású, liziméteren kívüli területhez képest lényegesen eltérő talajnedvesség-viszonyokat teremtet. Ezért nem lehet kapcsolatban a szabad növénytermesztési tér tényleges *ET*-értékeivel, hanem valamilyen (feltételes) potenciális *ET*-t mér (MAJOR, 1974).

3. Még ha feltennénk is, hogy egy-egy liziméter kielégítő pontossággal méri a telepítési helyére vonatkozó *pontbeli ET*-értékeket, akkor sem lehetne semmilyen információnk arról, hogy ez a pontbeli érték milyen kapcsolatban van a *tágabb környezet* (pl. a vízgyűjtőterület, vagy az adott növényt termesztő táblák összessége) tényleges *ET*-értékeivel, amelyek nem mérhetők. Egy adott vízgyűjtőterület egészének *ET*-értékére a vízgyűjtőbe kellő sűrűséggel telepített liziméter-hálózat mérési adataiból, mint statisztikai mintából lehetne következtetni, ha ezek a — zavartalan állapotra vonatkozó — tényleges *ET*-értékeket szolgáltatnák. (A 2). megjegyzés szerint általában nem szolgáltatják.) Mivel a kellő sűrűségű liziméter-hálózat telepítése és észleltetése gyakorlatilag nem megvalósítható, helyette a vízgyűjtő egyetlen pontján telepített liziméterrel (vagy lizimétercsoporttal) észlelik az *ET*-t. Ezzel gyakorlatilag egy statisztikai minta egyetlen (ráadásul nem is reprezentatív) elemét állítják elő, amelynek az anyasokaságra — a vízgyűjtőterületen belül változó *ET*-adatokra — vonatkozóan gyakorlatilag nincs információs értéke.

3.2. Az *ET* számítása

A kisebb-nagyobb hidrológiai egységek (elsősorban vízgyűjtőterületek) *ET*-értékének számítására igen sokféle számítási eljárást ajánl a szakirodalom. A képletek sokfélesége és a velük kapható eredmények ellentmondásai éppen a feladat megoldásának bizonytalanságát jelzik. Egységes alkalmazásra ajánlható módszer nincs (WMO, 1977). Az utóbbi időben az *ET* közvetett meghatározására világszerte alkalmazott módszerek jellemző példagyűjteményét ismerteti és értékeli McCULLOUGH (1977) tanulmánya.

Az ajánlott közvetett módszerek öt fő csoportba sorolhatók: vízháztartási, energiaháztartási és aerodinamikai módszerek, tapasztalati képletek és modellek.

3.2.1 Vízháztartási módszerek

Valamely zárt vízgyűjtő (4) szerinti egyszerűsített vízháztartási mérlegének elemei közül viszonylag a legjobban az *R* lefolyás ragadható meg és határozható meg, hiszen ehhez egyetlen vízfolyásslvénnyel vízhozam-idősorát kell

meghatározni. Valamivel bizonytalanabbul, de általában még mindig viszonylag könnyen becsülhető a P csapadék és a $\Delta V^{(t)}$ talajvízkészlet-változás értéke. Ha ugyanis kellő sűrűségű csapadékmérő-hálózat működik a vizsgált vízgyűjtőn és közvetlen környékén, ezek tárgyidőszakbeli észlelési idősoraiból, azok területi általánosításával viszonylag pontosan becsülhető a mérleg P eleme. Hasonlóképpen kellő sűrűségű észlelő kút talajvízállás-adataiból a mérleggel vizsgált hidrológiai egységbe foglalt talajtömb fizikai paramétereinek ismeretében, $\Delta V^{(t)}$ értéke is eléggé megbízhatóan számítható. (A talajfizikai paraméterek, köztük elsősorban a hízagtényező térbeli eloszlása azonban a gyakorlatban általában nem eléggé pontosan ismert. Ezért $\Delta V^{(t)}$ meghatározásának pontossága sem éri el P -ét). A $\Delta V^{(f)}$ felszínen tározódott vízkészlet-változás értéke gyakran elhanyagolható, s ha nem, többnyire szintén könnyen számítható.

A (4) egyszerűsített vízháztartási mérleg elemei közül általában a vizsgált hidrológiai egységet befoglaló henger fedőlapján keresztül távozó ET területi párolgás, az alaplapon keresztül S mélybe szivárgó vízmennyiség és a vizsgált talajtömb háromfázisú részében előállott $\Delta V^{(t)}$ talajnedvesség-készlet határozható meg a legnehezebben és a legpontatlanabbul.

Számítással való meghatározásuk általában azért igen nehéz, mert a (4) egyenletben egyszerre három „ismeretlen” mennyiség is szerepel. Az egyenlethez magából tehát — a többi többé-kevésbé „ismert” — mérleg-elem értékének behelyettesítésével legfeljebb e három „ismeretlen” (ET , S és $\Delta V^{(t)}$) *eredője* lenne meghatározható. (Előfordulhat, hogy bizonyos célokra — lefolyási modellvizsgálatok esetében — ez az eredő érték is hasznos adalék lehet, a felhasználóknak általában azonban ennél részletesebb információra: az egyes összetevők (elemek) ismeretére — a növénytermesztésnek pl. az ET ismeretére — van szükségük). ET , S és $\Delta V^{(t)}$ számítással való egyedi meghatározásának egyetlen módja tehát: a vizsgált hidrológiai egység, ill. a tárgyidőszak olyan megválasztása, hogy a három ismeretlen mennyiség közül kettő — gyakorlatilag elfogadható közelítéssel — elhanyagolható legyen, s a fennmaradó ismeretlennek (pl. ET -nak) a vízháztartási mérleg „záró tagja”-ként való számítása.

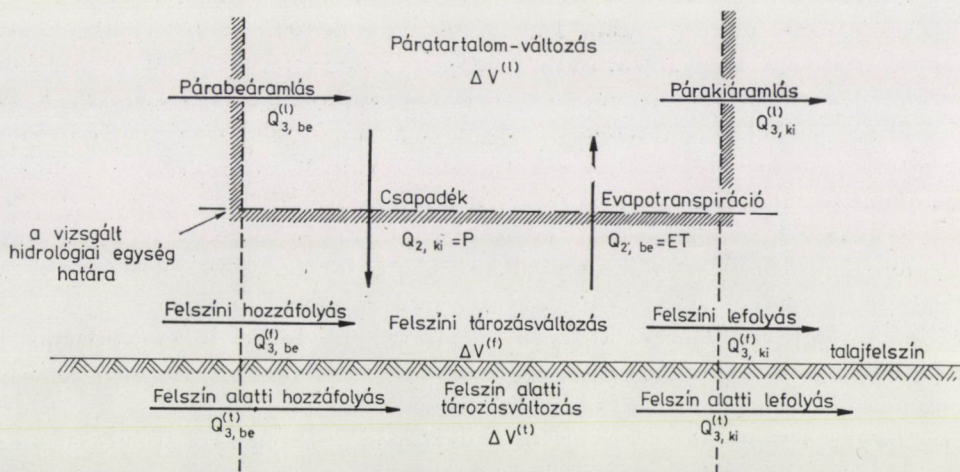
Méréssel $\Delta V^{(t)}$ értéke elvileg a háromfázisú talajtömb, mint térbeli alakzat kellő sűrűséggel elhelyezett pontjaiban, a tárgyidőszak végén és kezdetén mért talajnedvesség-értékekből lenne számítható. ET és S viszont a felső és az alsó határfelület kellő sűrűségű pontjaiban, a tárgyidőszak alatt folyamatosan észlelt pára- ill. folyadékáramlás időbeli és területi integrálásával lenne becsülhető. A vízháztartási mérleg ET , S és $\Delta V^{(t)}$ elemének méréssel való meghatározásához szükséges sűrű észlelési ponthálózat elvileg jól kiválasztott jellemző pontok ritkább halmazával is helyettesíthető lenne. Itt a fő nehézséget az jelenti, hogy a kiválasztott pontok jellemző, ill. elégséges voltának a megítéléséhez ismerni kellene az említett három vízmérleg-elem valódi értékét.

A $\Delta V^{(t)}$ talajnedvességekészlet-változásnak reprezentatív ponthálózatban rendszeresen végzett mérésekkel való becslésére CsOMA J.-né, MAJOR P. és

MOLNÁR Gy. (1976) tett eredményes kísérletet. Eljárásuk azonban igen alapos előkészítést és jelentős folyamatos észlelői ráfordítást igényelt, rutinszerű vizsgálatokra még nem ajánlható.

Végül az *ET* vízháztartási módszerrel való meghatározásának a vizsgált hidrológiai egység nagyságrendjétől függően elvileg három fő változata lehetséges.

a) Kontinens-méretű, de legalább néhány 100 000 km² kiterjedésű hidrológiai egység esetében az egység felszín feletti részére (légterére) felírt teljes



1. ábra. Az evapotranspiráció páracirkuláció figyelembevételével történő meghatározásának elvi vázlata (MAGYAR, 1973)

(1) vízháztartási mérlegnek $Q_{2, be} = ET$ -re való megoldása alkalmazható, ha a mérleg többi elemei — különösen a légköri páramozgást jellemző $Q_{3, be}^{(l)}$ és $Q_{3, ki}^{(l)}$, továbbá $\Delta V^{(l)}$ elemek — kellő pontossággal ismertek (MAGYAR, 1973); (1. ábra). Az ilyenfajta vizsgálatok feltételei ma még ritkán adóttak, eredményei — az észlelési lehetőségek jelenlegi szintjén — rendkívül bizonytalanok, s legfeljebb általános (kontinentális méretekben érvényesülő) törvényszerűségekre világítanak rá. (MAGYAR idézett vizsgálata pl. a THORNTHWAITÉ-féle tapasztalati képlettel számított *ET*-értékeket, főleg pedig ezek éven belüli megoszlását kérdőjelezi meg.)

b) Kisebb (gyakorlatilag legfeljebb néhány 1000 km² nagyságrendű) zárt vízgyűjtő meghatározott tárgyidőszakra vonatkozó *ET*-ja például a (4) egyszerűsített vízháztartási mérleg

$$ET = P - S - R - \Delta V^{(t)'} - \Delta V^{(t)''} - \Delta V^{(f)} \quad (5)$$

alakjából számítható, (amennyiben az egyszerűsített mérleg-változat alkalmazásának feltételei teljesülnek), ha a fenti egyenlet jobb oldalán álló valamennyi mennyiség kellő pontossággal ismert. Mivel ez a követelmény — amint e szakasz bevezetésében már említettük — legalábbis az S beszivárgásra és a $\Delta V^{(t)}$ talajnedvességekészlet-változásra a gyakorlatban általában nem teljesül, s ezért e mennyiségeket bizonytalanul becsülhető értékekkel kell helyettesíteni, az (5) egyenlet — eléggé munkaigényes — megoldásával kapott ET -értékeket is többnyire jelentős hiba terhelheti. Viszonylag kedvező a helyzet olyan hidrológiai egységek esetében, amelyeken S értéke elhanyagolható és ha olyan hosszú időszak (pl. egy teljes év) ET -értékét kell meghatározni, amelyben a ΔV értékek a többi mérlegelemhez képest elhanyagolhatók. Az ET vízháztartási módszerrel való meghatározására példaként említhető, hogy Magyarország területének eléggé kis vízgyűjtőkre való felosztásával, az évi mért P , R és becsült S értékek ismeretében, lényegében az (5) egyenlet vízgyűjtőről-vízgyűjtőre való megoldásával, meghatározható volt Magyarország évi átlagos ET -jének (területi párolgásának) izometrikus térképe (2. ábra), (KARDOS, 1975).

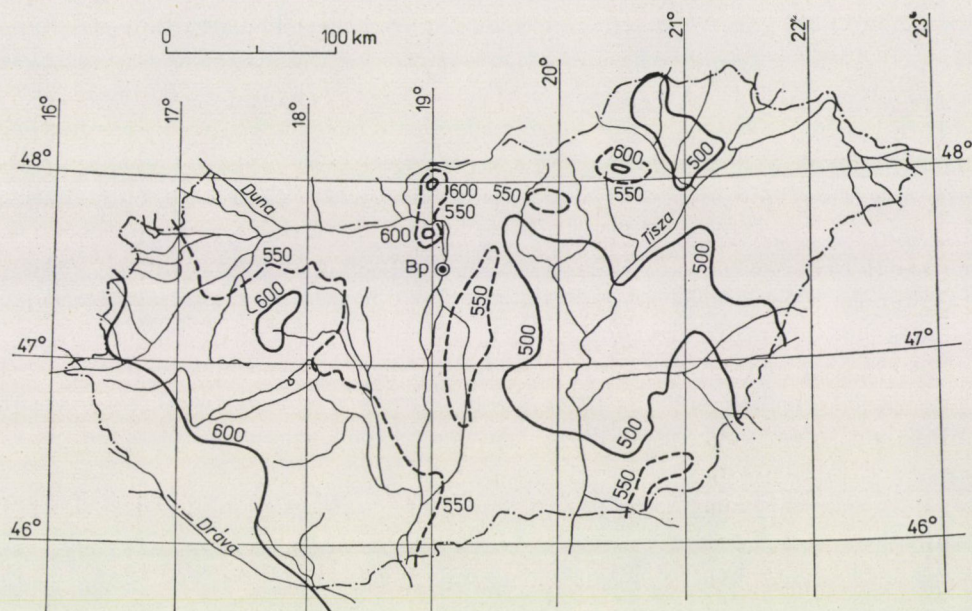
c) Az ET becslésének a vízháztartási mérlegen alapuló — ugyancsak kisebb vagy közepes területekre alkalmazható — harmadik fő módszere a fedőréteg egy-egy nagyobb (km^2 -nagyságrendű) tömbjének a vízforgalmát vizsgálja. A tömb területén és közepén telepített talajvíz-észlelő kutak vízállásadataiból, továbbá talajnedvesség- és tenzióészlelésekből, a Boussinesq-féle parciális differenciálegyenlet véges differenciákon alapuló megoldásával a módszer meghatározott időegységenként szolgáltatja a vizsgált talajtömb vízszintes és függőleges irányú vízforgalmának az értékeit. Az utóbbi a természetes (zavartalan) állapotot tükröző és — megfelelő feltételek teljesülése esetén — nagyobb régiót is jellemző tényleges ET -t is tartalmazza. A módszer koncepciója újkeletű (MAJOR, 1977/b), fokozatos gyakorlati bevezetésére Magyarországon várhatóan hamarosan sor kerül.

3.22. Energiaháztartási módszerek

Ezek a módszerek akkor alkalmazhatók az ET becslésére (BUDIKO, 1956; WMO, 1966), amikor a sugárzási egyenleg és a talajba jutó hőmennyiség jelentős, ill. meghaladja a mérési hibák nagyságrendjét. A módszert több kutató (pl. PERRIER, 1977) általános használatra ajánlja. A módszer alkalmazásához mérni kell az energiaháztartási egyenlet valamennyi elemét (a hidrológiai egységben felhalmozott energiát, a felszínre érkező és a visszavert napsugárzást, a légkörből érkező és a visszavert hosszúhullámú sugárzást, az érkező és távozó advekción energiákat stb.) Mindezeknek az elemeknek az észlelése — különösen nagyobb területekre vonatkozóan, pl. repülőgépről, műholdról — Magyarországon ma még általában nem lehetséges, legfeljebb kísérleti jelleggel, pontoszerűen alkalmazzák (pl. a VITUKI „Komlósi Imre” kísérleti telepén). A módszer gyakorlati alkalmazásáról egyelőre még nem lehet szó.

3.23. Aerodinamikai módszerek

E módszereknek az *ET* meghatározására való alkalmazását megnehezíti az a tény, hogy a turbulens kicserélődési tényező becslésére még nincs megbízható eljárás (WMO, 1966). Ezért e módszert a gyakorlatban alig használják.



2. ábra. Az évi evapotranspiráció 1941–1970. évi átlagértéke mm/év-ben (KARDOS, 1975)

3.24. Tapasztalati képletek

Kisebb-nagyobb hidrológiai egységek (vízgyűjtők) *ET*-jának az értékét a gyakorlatban a legtöbbször tapasztalati képletekkel becsülik.

Az *ET* számítására ajánlott tapasztalati képletek általában az *ET*, mint közvetlenül nem mérhető mennyiség és más, a gyakorlatban jobban észlelhető paraméterek (kádpárolgás, párányomás, globális sugárzás, talajnedvesség, szélsebesség stb.) között létesítenek kapcsolatot.

A legtöbb képlet voltaképpen a 3.21–3.23 szakaszokban tárgyalt víz- és energiaháztartási, valamint aerodinamikai módszer egyszerűsített kombinációjaként is felfogható.

A forgalomban levő számos képlet alkalmazásának közös bizonytalansága:

a) Amint ezt a 3.21 szakaszban is kifejtettük, nagyobb hidrológiai egységek *ET*-ja általában nem határozható meg megbízhatóan, hanem legfeljebb több-kevesebb (ismeretlen mértékű) bizonytalansággal becsülhető. Ezért a tapasztalati képletekkel számított *ET*-értékek megbízható ellenőrzésének nincs

meg a lehetősége. (A 3.12 szakaszban mondtak szerint a liziméteres mérések adataiból általában nem lehet következtetni nagyobb területek tényleges *ET*-jára.) Ezért az a kérdés is felmerülhet, hogy a képletek szerzői hogyan tudták ellenőrizni képleteik érvényességét.

b) A tapasztalati képletek általában egy-egy meghatározott földrajzi környezet *ET*-s törvényszerűségeit tükrözik. Az ismert Thornthwaite-féle képlet például az Egyesült Államok atlanti partvidékének középső részére érvényes. (WMO, 1974). A képletek átvételekor és mechanikus alkalmazásakor sokszor megfelelnek erről — részben azért, mert a képletek szerzői sem hangsúlyozzák kellőképpen képleteik érvényességi területét — s nem győződnék meg a más földrajzi környezetre való átvitel lehetőségeiről, ill. feltételeiről. Olyannyira, hogy pl. az ICID 1977. évi budapesti *ET*-konferenciájának egyik megállapítása szerint: „Kifejezetten ajánlható, hogy a potenciális *ET* számításakor az értékek jelölése mellett zárójelben a számítási módszer szerzőjét is meg kell nevezni” (BALOGH, 1977).

c) A tapasztalati képletek egy része túlegyszerűsíti a valóságot, pl. úgy, hogy az *ET* értékét csupán a párafelvevő rendszer tényezőinek függvényeként adják meg, nem véve figyelembe a páraleadó rendszer tényezőit (a talajnedvességet, talajtípust, növényfajt stb.).

A számos ismert tapasztalati képlet közül itt *példaként* csak néhányat említünk.

a) PENMAN képlete (PENMAN, 1956):

$$ET_{\text{ref}} = c \frac{R_n \Delta + F_a \gamma}{\Delta + \gamma}, \quad (6)$$

ahol
 ET_{ref} — a viszonyítási evapotranspiráció,
 Δ — a θ_a léghőmérsékletre tartozó párányomás-görbe meredeksége
 R_n — a nettó sugárzás
 E_a — származtatott paraméter, amely egyrészt a szélsőbességtől, másrészt az $(e_s - e_a)$ különbségtől függ, ahol e_s a θ_a hőmérsékletre tartozó telítési párányomás, e_a pedig a tényleges (mért) párányomás
 γ — a pszichrométer-állandó ($^{\circ}\text{C}$ mértékegység és 1000 mb légnyomás esetében $\gamma = 0,61$)
 c — az ET_{ref} és a szabad-vízfelszín párolgás hányadosa; $0,6 \leq c \leq 0,8$; átlagosan $c = 0,75$

ET_{ref} -ből a tényleges *ET* értéke további redukcióval számítandó.

b) ANTAL Emánuel magyarországi viszonyokra kidolgozott, a Thornthwaite-képletet is hasznosító formulája (ANTAL, 1968):

$$ET_{\text{ref}} = 0,9 \cdot (E - e)^{0,7} \cdot (1 + at)^{4,8} \text{ [mm/nap]} \quad (7)$$

ahol E a t középhőmérsékletre tartozó telítési párányomás, e a levegő tényleges párányomása-nak napi középértéke és $a = \frac{1}{273}$, továbbá

$$ET_{\text{tényl.}} = \alpha ET_{\text{ref.}} \quad (8)$$

ahol

$$\alpha = \frac{\sigma + B}{1 + B} \sigma, \quad (9)$$

ahol B az ún. növény-állandó, amelynek mérésből származó értékei pl. ANTAL és PORZA (1966) tanulmányából vehetők, míg

$$\sigma = \frac{\frac{w}{n} - \frac{w_0}{n}}{1 - \frac{w_0}{n}} \quad (10)$$

Itt w , ill. w_0 a talaj fedőrétegének átlagos térfogat-százalékban kifejezett pillanatnyi, ill. minimális nedvességtartalma, n pedig a porozitása.

Antal képletpárjának kiváló előnye, hogy a párafellevő rendszer ((7) képlet) és a páraleadó rendszer ((8) képlet) hatásait egyaránt figyelembe veszi.

c) Francia nyelvterületen elterjedten alkalmazzák a potenciális *ET* becslésére szolgáló, ugyancsak empirikus Turc-féle képletet (TURC, 1963).

d) J. JAWORSKI—VAN BAVEL (1966) és BAC (1974) korábbi kutatási eredményeinek felhasználásával — a lengyelországi Wilga-folyó 165 km²-es vízgyűjtőjén észlelt adatokból a következő összefüggést vezette le (JAWORSKI, 1977):

$$ET = \frac{10 Q_c}{L} (1 - \alpha) - 0,86 E_0 - 19,6 \quad (11)$$

ahol

ET — a vízgyűjtőterület *tényleges* evapotranspirációja, mm/hónap

Q_c — a rövidhullámú globális sugárzás összege, cal/cm² · hónap

L — a víz látens párolgási hője, cal/g

α — a vízgyűjtőterület átlagos visszaverési tényezője (a visszavert és az érkező rövidhullámú sugárzás hányadosa)

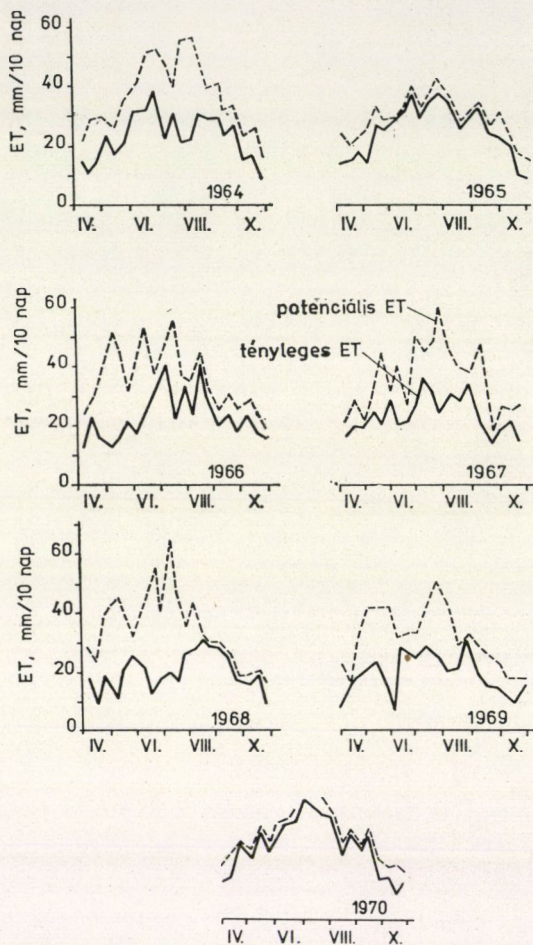
E_0 — a szabad vízfelszín párolgása (GGI—3000 típusú káddal mért, vagy BAC (1974) képletével számított adat), mm/hónap

A (11) képletbe E_0 -nak BAC szerinti kifejezését helyettesítve, az *ET* vízgyűjtő-evapotranspiráció Q_c , továbbá a havi átlagos párányomás-hiány és szélsőségség ismeretében számítható.

JAWORSKI a (11)-hez hasonló szerkezetű képletet ajánl az *ET* napi és óránkénti értékeinek számítására. A képletek állandóinak meghatározásához a Wilga-vízgyűjtő részletesen észlelt vízháztartási (csapadék, lefolyás, talaj-nedvesség- és talajvíz-) adatait használta fel. Vizsgálatai szerint a (11) képlet az Osownica folyó 233 km²-es vízgyűjtőjére — a képlet állandóinak kismértékű módosításával — szintén érvényesnek bizonyult.

e) Számos tapasztalati módszer a párolgásmérő káddal mért szabad vízfelszín-párolgás és az *ET* között tételez fel egyszerű — az a) alatti Penman-képlet c tényezőjéhez hasonló — szorzótényezős kapcsolatot (WMO, 1974; MAGYAR, 1974). Hogy ez a közelítés mennyire durva, azt jól érzékelteti a 3. ábra, amely a potenciális párolgás és a tényleges *ET* egyidejű idősorait mutatja

be (Szász, 1974). Az ábrán látható, hogy a két érték viszonya semmiesetre sem tekinthető konstansnak. Más, összetettebb (a páraleadó rendszer hatását is érvényesítő) képletek az ET és a — kádpárolgásból vagy más meteorológiai adatokból számítható, vagy pedig közvetlenül észlelt — E_{t0} potenciális párol-

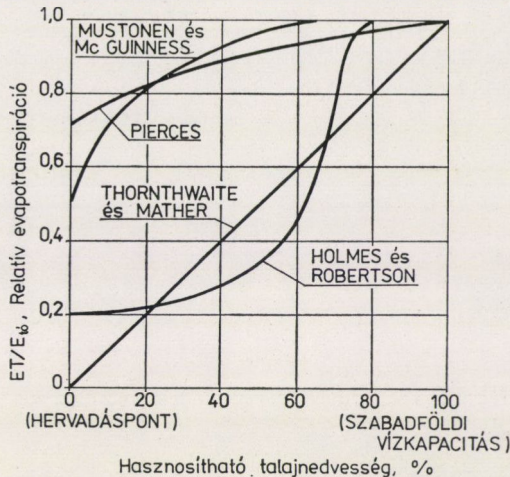


3. ábra. A potenciális párolgás és a tényleges evapotranspiráció 10 napos összegeinek évi változása a Debrecen-Kismacs-i mintaterületen (Szász, 1974)

gás viszonyát a talajnedvesség függvényében adják meg. E képletek közül MUSTONEN és MCGUINNESS, PIERCES, THORNTHWAITE és MATER, valamint HOLMES és ROBERTSON képletét, MUSTONEN és MCGUINNESS (1968) nyomán, a 4. ábrán mutatjuk be. Az ábra egymástól nagyonis távolieső görbéi jól érzékeltezik a tapasztalati képletekkel való ET -számítás bizonytalanságait: lát-

ható pl., hogy a 40%-os talajnedvességhez tartozó ET/E_{t0} viszony HOLMES és ROBERTSON képlete szerint 30%, MUSTONEN és MCGUINNESS szerint pedig 90%.

f) A Szovjetunióban az ET becslésére elterjedten alkalmazzák KONSZTANTYINOV (1966) módszerét, amely a talajfelszín fölött 2 m-rel észlelt hőmér-



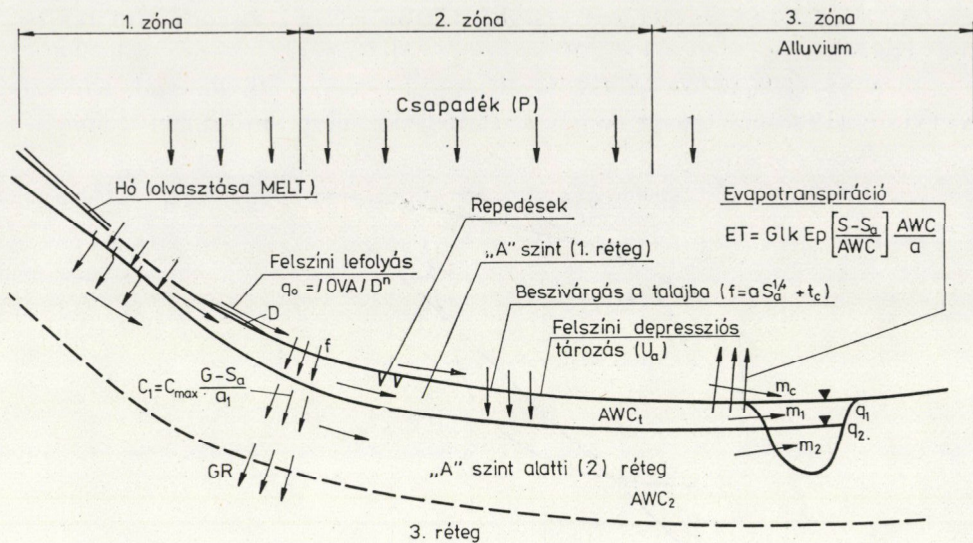
4. ábra. Az evapotranspiráció becslésére használt néhány tapasztalati képlet összehasonlítása (MUSTONEN és MCGUINNESS, 1968)

sékleti és légnedvesség-adatokon alapul, tehát csak a párafellevő rendszer hatását veszi figyelembe. E módszer főleg a havi, évszakos és évi ET sokévi középértékének a becslésére ajánlható (WMO, 1974).

3.25 Modellek

Mivel a tapasztalati képletek sokszor — mint 3.24/c alatt említettük — szükségszerűen túlegyszerűsítik a valóságot, helyettük az ET folyamatát szimuláló modelleket is alkalmaznak, amelyek elvileg a jelenséget befolyásoló valamennyi fontosabb paraméter hatását figyelembe veszik. E modellek azonban méginkább a kezdeti kísérletezés stádiumában vannak. Alkalmazásuk egyik fő nehézsége: a számos modellparaméter pontos mérésének szükségessége, továbbá az e paraméterek térbeli átlagértékekkel való helyettesíthetőségének és időbeli állandóságának — a valóságot sokszor durván egyszerűsítő — feltevése.

A gyakorlatban a hidrológiai modellezés és az ET kapcsolata egyelőre inkább csak úgy jelentkezik, hogy a lefolyásidősorok előállítását célzó modellekbe — lehetőleg egyszerű — tapasztalati képletekkel számított, tehát ismertnek feltételezett ET -értékeket bemenő adatként használják (KIENTITZ, 1974, MAGYAR, 1974) (5. ábra).



5. ábra. Az USDAHL-74 szintetikus lefolyásmodell elvi felépítése (MAGYAR, 1974)

3.3 Összefoglalás

a) Az ET mérése jelenleg közvetlenül csak kisméretű, — legfeljebb néhány m^2 területű — talajtömbökre (liziméterekre) vonatkozóan lehetséges. Méréstechnikai okokból az így mért értékek (különösen állandó talajvízszintet tartó kompenzációs liziméterek esetében) általában a liziméter zavartalan természetes állapotú szűkebb környezetének ET -értékeivel sem azonosak. A liziméterekkel mért (pontbeli) ET -értékek területi általánosításának, ill. átviteli lehetőségének feltételei általában nem ismertek, és így nem teljesíthetők.

b) Nagyobb területek ET -értékeinek a becslésére elsősorban a vízháztartási mérlegen alapuló módszer és valamelyik (vagy több) megfelelő tapasztalati képlet egyidejű alkalmazása ajánlható. A vízháztartási mérlegen és tapasztalati képleten alapuló ET -becslést esetenként liziméter-észleléssel kapott értékekkel is célszerű összevetni. A vízháztartási mérleg alkalmazásához biztosítani kell a benne szereplő mennyiségek ismertségét, ill. meg kell győződni arról, hogy az ismeretlen mennyiségek együttes hatása valóban elhanyagolható-e. A tapasztalati képlet alkalmazása előtt meg kell győződni arról, hogy az alkalmazás helyére jellemző földrajzi viszonyokra is érvényes-e. Az ICID 1977. évi, ET -val foglalkozó kerekasztal-konferenciájára benyújtott francia nemzeti beszámoló, a tényleges ET közvetlen mérésének megbízhatatlansága miatt, gyakorlati ET -becslésre a Penman-féle (6) képletet ajánlja, a nettó sugárzás mért adatainak felhasználásával (BALOGH, 1977).

4. Az ET-ra vonatkozó ismeretek jelenlegi helyzete Magyarországon

4.1 Az ET mérése

Az ET pontbeli értékeinek mérését célzó liziméterek telepítése és működtetése meglehetősen függetlenül történt és történik a hidrológiai-vízháztartási és a növénytermesztési kutatás területén. Ennek okai a két kutatási terület eltérő céljaiban keresendők (2. fejezet).

4.1.1 A hidrológiai kutatásokhoz kapcsolódó liziméterek

Mechanikus mérlegelésű súlylizimétereket már az 1960-as években a VITUKI több kísérleti telepén (Fehértó-Majsai vízgyűjtő, Komlósi telep, Rakacai vízgyűjtő) létesítettek. Ez a liziméter-típus, mint említettük, a kelően pontos mérés lehetetlensége miatt egyáltalán nem vált be (3.1. szakasz), nem szolgáltatott valamire is használható adatokat. A kísérleti telepek súlylizimétereit tudománytörténeti érdekességgként megőrizték, de természetesen nem észlelik.

Hidrológiai törvényszerűségek vizsgálatát célzó *kompensációs* lizimétereket a VITUKI Vízrajzi Intézetének (ill. jogelődjének) három kísérleti telepén létesítettek: kettőt a Fehértó-Majsai vízgyűjtőn (1975-ben), ötöt a Komlósi telepen (1959-ben) és négyet az Agárdi kutatóállomáson (1974-ben). A Fehértó-Majsai és a Komlósi telepi liziméterek terepszintje csupasz, nem tartalmaznak növényeket, tehát voltaképpen nem az 1.2 szakaszban meghatározott teljes ET-t, hanem a csupasz talaj ET-ját észlelik, amely a teljes ET (fizikai) párolgási összetevőjével sem azonos. Az Agárdi kutatóállomás lizimétereibe nádat és füves-zsombékos növényzetet telepítettek. A liziméterekben tetszőleges meghatározott szinten tartható a talajvízállás; a Fehértó-Majsai telepen — a természetes talajvíztükör kis mélységei miatt — elvileg még az is biztosítható lenne, hogy a liziméter talajvíztükre állandóan szinелjen a külső (változó) talajvízállással. A Fehértó-Majsai telep lizimétereinek eddig mindössze 1 éves észlelési idősorát még nem használták fel kutatási célra. A Komlósi-telepi liziméterek hosszú adatsorainak felhasználásával értékes kutatási eredmények születtek a fedőréteg vízháztartásáról és az erdő talajvízre gyakorolt hatásáról (MAJOR, 1974). Ezek az eredmények nagymértékben hozzájárultak az ország területét várhatóan regionálisan jellemző ET-értékeket is szolgáltató kútsoportos talajvízészlelő hálózat koncepciójának kialakulásához (MAJOR, 1977/b).

A Fehértó-Majsai és a Komlósi-telepen a kompensációs liziméter-csoportok mellett egy-egy Friedrich-féle (csak a beszivárgás mérésére alkalmas) liziméter-csoport is működik.

Megemlítendő az ország 26 hidrológiai kísérleti- és tájjellemző területén (közülük 6 VITUKI Vízrajzi Intézete kezelésében) működő I. osztályú *meteoro-*

lógiai műszerkertek (KIENITZ, 1971), valamint a *párolgásmérő kádhálózat* 25 állomása (VANCsó, 1971), amelyeknek észlelési adatai — a 3.24 szakaszban tárgyalt tapasztalati képletekbe helyettesítve — szintén felhasználhatók az ET becslésére.

4.12 A növénytermesztési kutatásokhoz kapcsolódó liziméterek

E hálózat kialakulását és 1974. évi helyzetét kitűnően összefoglalja PETRASOVITS és BALOGH (1974) munkája. Megállapítható belőle, hogy 1974-ben az országban — különböző intézmények kezelésében — 18 növénytermesztéshez kapcsolódó ET állomás működött (6. ábra). Közülük a legrégibbet 1964-ben, a legújabbat 1973-ban létesítették. Egy-egy ET-állomás általában kompenzációs lizimétercsoportot és I. osztályú meteorológiai műszerkertet tartalmaz. Minden állomás meghatározott növények — többnyire szántóföldi öntözött kultúrák — ET-ját méri.

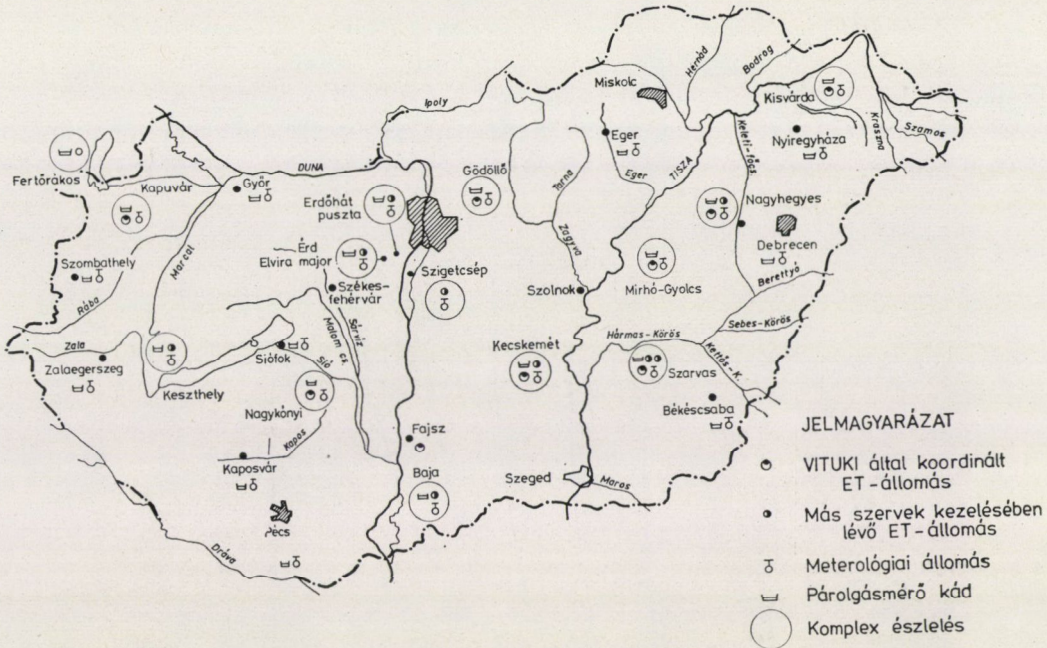
A 18 ET állomás közül 10 — különböző intézmények, köztük a VITUKI kezelésében levő — állomás tevékenységét a VITUKI Műszaki Fejlesztési Intézete, ill. annak jogelődje, a Vízépítési Kutatási Főosztály koordinálta és koordinálja. Ezeken az állomásokon egységes elvek és módszerek alkalmazásával, központi előírásoknak megfelelően történik a kompenzációs liziméterek és környezetük növényzetének telepítése és gondozása, valamint a növényzeti jellemzők, az ET és az egyéb meteorológiai elemek észlelése. Az egységes elvek szerint gyűjtött, összehasonlító adatok a koordináló kutatóközpontban a növények (öntözési) vízigényének előrejelzésére szolgáló segédletek kidolgozása, maguknak az előrejelzéseknek a kiadására, valamint egyéb növény-víz-háztartási kutatásokra használták és használják fel.

Az említett ET-hálózat egyik legjobban kiépített állomása 1971-ben a VITUKI Vízrajzi Intézete Mirhó-Gyolcsi kísérleti belvízöblözetének központi telepe mellett létesült. A Mirhó-Gyolcsi ET állomás működése a kísérleti belvízöblözetétől szervezetileg is, céljában is teljesen elkülönült: kizárólag a szántóföldi növények víz-háztartási folyamatait észlelte. A Mirhó-Gyolcsi ET-állomáson egyébként 1977-ben beépítették az ország első korszerű erőmérőcellás súlyliziméterét is.

4.2 Az ET-ra vonatkozó kutatások

4.21 Hidrológiai kutatások

A *víz-készletgazdálkodásra* irányuló hidrológiai vizsgálatok elsősorban a hasznosítható felszíni és felszín alatti vízkészlet meghatározásával kapcsolatosak. (A vízigények — pl. az öntözővízigények — meghatározását a vízgazdálkodási tervezés nem elsősorban a hidrológiától, hanem a vízigényt támasztó népgazdasági ágazattól, pl. a mezőgazdaságtól várja.) A vízkészlet — különösen a felszín alatti vízkészlet — meghatározásában az ET többnyire segéd-



6. ábra. Magyarország növénytermesztéshez kapcsolódó liziméter-állomásai 1974-ben (PETRASOVITS és BALOGH, 1974)

változóként szerepel,⁵ amelyet általában még bizonytalanabban is lehet meghatározni, mint magát a vízkészletet (3.21 szakasz). Az ET vizsgálata ezért általában sohasem állt előtérben a hazai hidrológiai kutatásnak, mégis van néhány szép eredménye, amelyek közül a következőket emeljük ki:

a) SZESZTAY (1961, 1964) ismertette és kritikailag értékelte THORNTHWAITE képletét, majd BUDIKO (1956) vízháztartási módszerének alkalmazásával megszerkesztette Magyarország évi átlagos ET-jának (területi párolgásának) és párolgási hiányának (öntözővízigényének) térképét, továbbá segédleteket adott a tengerszint feletti magasságot jellemző hőösszeg figyelembevételére (7. ábra). SZESZTAY eredményei nemzetközi tájékoztató anyagokba is beépültek (DOMOKOS, 1973).

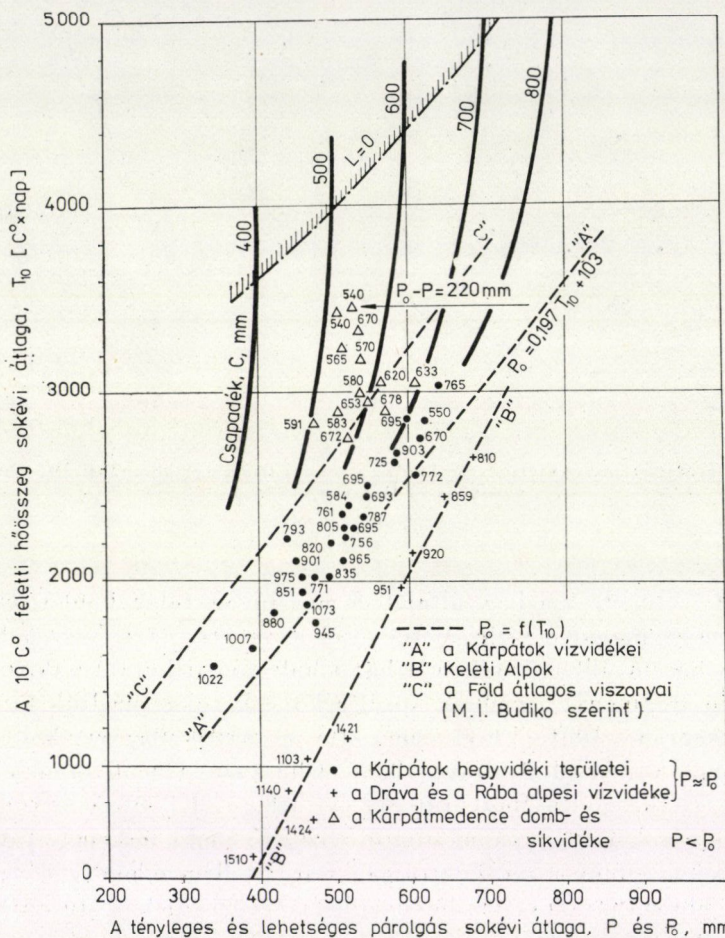
b) KARDOS (1975) újabb adatok figyelembevételével korszerűsítette SZESZTAY térképét (2. ábra).

c) ANTAL (1968) a magyarországi viszonyokra jól alkalmazható, korszerű tapasztalati képletet dolgozott ki a potenciális és a tényleges ET számítására (3.24 szakasz).

⁵ Az egyetlen számottevő kivétel a tározók várható vízkészletének a számítása a tervezés stádiumában. A várható vízkészlet egyik veszteség-összetevője ugyanis a vízfelület-párolgás és az elmaradó ET (területi párolgás) különbsége.

A hidrológiai körfolyamat részjelenségeinek fizikai törvényszerűségeire vonatkozó, ET-val kapcsolatos vizsgálatok közül elsősorban Szász Gábor és MAJOR Pál eredményeit kell kiemelnünk.

a) Szász (1974) a hajdúsági löszháton kialakított 2 ha nagyságú mintaterületén 7 éven keresztül precíziósan észlelte a felső 1 m-es talajréteg (2) típusú

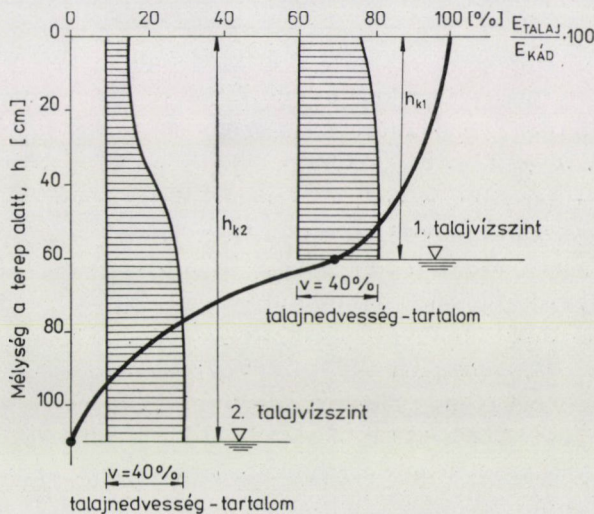


7. ábra. A tényleges és potenciális evapotranspiráció kapcsolata a 10 °C feletti hősszeggel a Kárpát-medence vízvidékein (SZESZTAY, 1964)

vízháztartási mérlegének összetevőit és energetikai viszonyait. Vizsgálati eredményei és következtetései mind az ET törvényszerűségeinek tudományos megismerése, mind a növénytermesztés vízigény-kielégítésének megtervezése szempontjából alapvető jelentőségűek. Hidrológiai szempontból a kádpárolgás számítására alkalmas tapasztalati képletet, az oázis-hatás kiszűrésének módsze-

rét, valamint a természetes felszín és különböző növénykultúrák ET-jának arányára meghatározott számértékeket emeljük ki.

b) MAJOR (1974) a vízháztartási mérleg-elemek a VITUKI „Komlósi Imre” kísérleti telepén észlelt 18 éves adatsorainak elemzése alapján megállapította, hogy a tényleges ET-nak és a klimatikus tényezőknek a kapcsolata jóval bonyolultabb, mint ahogy az a különböző empirikus képletek (3.24 szakasz) alapján várható lenne. A Boussinesq-egyenlet segítségével végzett vízháztartási vizsgálatokkal feltárta a talajvíztér, a kapilláris zóna és a gyökérzóna relatív helyzetének hatását a talajtér függőleges vízforgalmának alakulására (8. ábra). Itt szerzett tapasztalatainak és következtetéseinek általánosításával alakította ki a jövőbeli korszerű, kútsoportos talajvíz-észlelés koncepcióját (MAJOR, 1977/b.).



8. ábra. A különböző mélységű talajvíz párolgása csupasz talaj esetén. Liziméteres vizsgálatok a Komlósi-telepen (MAJOR, 1974)

4.22 A növénytermesztéssel kapcsolatos kutatások

A termesztett növények ET-jára vonatkozó igen széles körű, hazai kutatások eredményeit PETRASOVITS és BALOGH (1974) munkája részletesen összefoglalja.

Az ismertetett kutatások zöme (pl. PETRASOVITS, 1970) a termesztett növények vízigényére, a vízigény-alakulás törvényszerűségeire vonatkozó eredményeket ad. BALOGH (1974) lineáris regressziós kapcsolatokat állított elő a növénytermesztési tér páraleadó és párafeltevő rendszerének különböző tényező-csoportjai, valamint az öntözött és tápanyagokkal jól ellátott növények vízfogyasztása között.

4.3 A kutatási eredmények gyakorlati hasznosítása

4.31 Hidrológiai kutatások

A 4.21 szakaszban említett hidrológiai jellegű ET-kutatások eredményei közül SZESZTAY K. ill. KARDOS M. ET-térképe, továbbá ANTAL E. tapasztalati képlete a gyakorlati vízkészlet-számításokhoz, ill. a vízgazdálkodási tervezéshez — így az Országos Vízgazdálkodási Keretterszámítások különböző változatainak a kidolgozásához — hasznos információkat szolgáltat. MAJOR eredményei első sorban a korszerű, kútszoportos talajvízészlelés országos bevezetésére vonatkozó elhatározás megalapozása terén hasznosulnak; a kútszoportos talajvízészlelés megvalósulásától — egyebek között — a tényleges ET nagyobb területeket jellemző valóságos értékeinek az eddiginél jóval megbízhatóbb becslése is várható (3.21 szakasz).

4.32 A növénytermesztéshez kapcsolódó kutatások

A növénytermesztéshez kapcsolódó ET-kutatások eredményei (4.22 szakasz) értelemszerűen a különböző termesztett növények gazdaságilag optimális vízellátásának a megtervezhetősége, ill. üzemi megvalósíthatósága révén hasznosulnak. E téren külön említést érdemel BALOGH növényi vízigény-előrejelzési módszere (PETRASOVITS és BALOGH 1974).

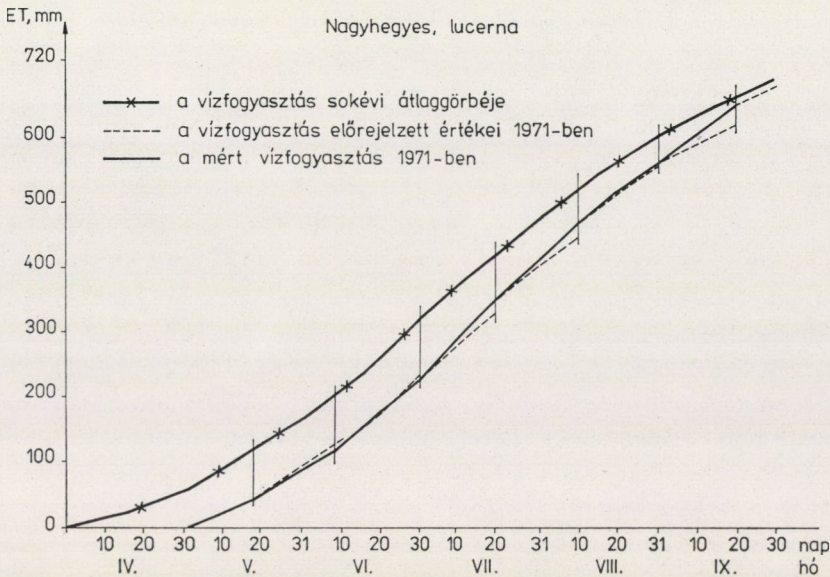
Az előrejelzés alapelve a következő. Rendelkezésre áll az adott növény vízfogyasztásának — észlelési adatokból meghatározott — sokévi átlagos összszeggörbéje, továbbá a tárgyévi összegző-görbének az előrejelzés kiadásának időpontjáig terjedő, észlelt adatokból szerkesztett szakasza (9. ábra). Az utóbbi végpontjához olyan egyenest húzunk, amely párhuzamos az átlagos görbének a 20 napos előrejelzési időszakba eső szakaszát kiegyenlítő egyenessel. Az előrejelzési időszakban az adott növénytípus várható vízfogyasztását ez az egyenes szakasz adja meg.

A módszerrel kapcsolatban felvetődnek a következő kérdések:

a) A természetes környezettől éppen vízháztartási szempontból elszigetelt, szórványosan települt liziméterek adatain alapuló előrejelzés ilyen mértékű területi általánosításának lehetősége, ill. jogosultsága nem bizonyított.

b) Az előrejelzési módszer azon a feltevésen alapul, hogy adott típusú növényállomány adott (pl. 20 napos) naptári időszak (optimális) ET-ja egyenlő ugyanezen időszak ET-jának sokévi átlagértékével. Az előrejelzéshez a módszer szerint tehát *nincs szükség a tárgyévi tényleges ET összegzőgörbe ismeretére*, ill. annak észlelésére, hanem elégséges a sokévi átlagos összegzőgörbeismereteis.

c) A növényállomány „optimális” ET-jának értékét a módszer a terméseredményt meghatározó többi tényezőtől (talajadottságok, időjárás, agro-technika stb.) függetlenül kezeli. Ez a feltevés, amint ezt az 1.3 szakaszban is kifejtettük, elfogadhatatlan (SZÁSZ, 1977).



9. ábra. Példa a növényállomány vízfogyasztásának előrejelzésére (PETRASOVITS és BALOGH, 1974)

d) A növények vízfogyasztását azonban valójában nem is az ET, hanem a transpiráció jellemzi, amelynek az ET-ban való részesedése számos tényezővel (pl. talajadottságokkal, a talajvíz pillanatnyi mélységével) van kapcsolatban, a helytől és időtől függ, és többnyire ismeretlen. Az ET várható értékének mégoly pontos ismerete sem lehet tehát elég a növények tényleges vízfogyasztásának az előrejelzéséhez.

e) Az előrejelzett ET-értékből az öntözővízigény az előrejelzési időszakban csapadékból és talajnedvességből rendelkezésre álló (előrejelzett) víztáplálás figyelembevételével határozható meg. A vízfogyasztás és az utóbbi két tényező előrejelzési hibája összesítve valószínűleg eléri az előrejelzett öntözővízigény nagyságrendjét. Mivel továbbá adott (naptári) előrejelzési időszak vízfogyasztása az előrejelzési módszer a) feltevése szerint minden évben ugyanakkora, véleményünk szerint nem a vízfogyasztást, mint anyagcsereterméket tartalmazó ET-t, hanem sokkal inkább a talajnedvességekészletet kellene folyamatosan észlelni és előrejelezni (CSOMA J.-né—MAJOR—MOLNÁR, 1976).

f) Az öntözési vízigény előrejelzésének magyarországi gyakorlati értékét általában is kérdésessé teszi az a mindinkább általánossá váló helyzet, hogy a kiadagolt öntözővíz mennyiségét nem a vízigény, hanem a rendelkezésre álló vízkészlet korlátozza (SZIGYÁRTÓ, 1975).

A növényfajonként, 20 naponként előrejelzett és közzétett vízfogyasztás-értékek gyakorlati felhasználásáról, ill. a velük szerzett tapasztalatokról nincs értesülésünk.

5. Javaslat az ET-val kapcsolatos jövőbeli vizsgálatok megszervezésére

Az eddigiekben — különösen a 4. fejezetben — előadtak alapján az ET-ra irányuló jövőbeli vizsgálatok megszervezésére, elsősorban a *hidrológiai* kutatás iránti igények figyelembevételével, a következő javaslatok tehetők.

5.1 Észlelés

Az észlelésekre vonatkozó javaslat megfogalmazásakor a következő alapelvekből indulhatunk ki (KOVÁCS, 1978).

A mezőgazdasági termelési rendszerek működésének optimális irányítása, valamint a hidrológiai körfolyamat minden elemére kiterjedő tudományos megismerés igénye megköveteli, hogy a következő években Magyarországon kiépüljön egy olyan észlelőrendszer, amelynek feladata a mindenkor talajvízszint és a növénytakarót felülről burkoló felület közötti térben lejátszódó vízmozgás fontosabb elemei — köztük az intercepció, a felszíni lefolyás, az ET, a talajnedvesség — időben változó, nagyobb régiókat jellemző értékeinek folyamatos becsléséhez szükséges és e célra valóban használható alapinformációk szolgáltatása.

Az említett hidrológiai elemek — köztük az ET — területi értékeinek folyamatos becslését szolgáló észlelőhálózatnak a mérőhelyek két, különböző célra irányuló csoportját kell tartalmaznia:

— olyan mérőhelyeket, amelyek folyamatosan szolgáltatják az adott hidrológiai elem (pl. az ET) adott pontra, ill. kisebb területfoltra vonatkozó értékét, vagy pedig olyan *segédváltozók* (pl. sugárzás, egyéb meteorológiai elemek) értékeit, amelyeknek ismeretében a szóban forgó hidrológiai elem pontbeli értéke megbízhatóan számítható;

— olyan mérőhelyeket, amelyeken *kísérleti körülmények* között végezhetők mérések olyan törvényszerűségek meghatározására, amelyeknek hirtokában egyrészt a szóban forgó hidrológiai elem pontbeli értéke — rá vonatkozó, közvetlen észlelés hiányában — más segédváltozók észlelt értékeiből számítható, másrészt a pontbeli (közvetlenül észlelt, vagy számított) értékekből a nagyobb területeket (régiókat) jellemző (átlag)értékek becslése elvégezhető.

Természetesen lehetséges, hogy egy-egy mérőhely egyszerre mindkét feladatot ellássa. A gyakori eset az, hogy a *b)* csoportba tartozó — tehát jóval műszerezettebb — kísérleti mérőhelyek egyúttal *a)* típusú folyamatos adat-szolgáltatást is végeznek.

A fenti alapelvekből a következő gyakorlati javaslatok szűrhetők le:

a) A meglevő — eredetileg növénytermesztéshez kapcsolódó — ET állomások hidrológiai jellegű üzemre való átállításának, valamint a VITUKI kísérleti területein működő liziméterek jövőbeli észlelési programjának egységes fő célkitűzései így összegezhetők: (SZESZTAY, 1978):

— Minden állomás mérje folyamatosan az országosan egységesen értelmezendő ET_{ref} viszonyítási ET -t. E célra kompenzációs liziméterek — amint azt a 3.12 szakaszban kifejtettük — eddigi (viszonylag magas állandó talajvízszintet tartó) üzemmódjukkal általában nem alkalmasak, de könnyen alkalmassá tehetőek a liziméterbeni talajvízszint süllyesztésével, vagy megszüntetésével, vagy pedig — viszonylag magas külső (természetes) talajvízszin esetében — a külső talajvízszínnel együttjáró liziméter-vízállás biztosításával.

— Az időjárási elemek (köztük a napsugárzási paraméterek) egyidejű mérésével törekedni kell az utóbbiak és az ET_{ref} közötti — pl. (6) vagy (7) típusú — kapcsolatok előállítására.

— Kísérletsorozatokat kell végezni a viszonyítási és a potenciális, továbbá a potenciális és a tényleges ET viszonyszámainak, ill. az e viszonyszámok és más, könnyen mérhető változók közötti függvénykapcsolatoknak a meghatározása érdekében (PERRIER, 1977).

b) Területileg is jellemző, tényleges mért ET -értékek a jövőben (remélhetőleg hamarosan) kiépülő *kútsoportos talajvízészlelő-rendszertől* várhatók. Mivel ugyanis a tervek szerint a hálózatot alkotó egy-egy kútsoport közrefogta talajtömbben a talajnedvesség- és tenzióértékeket is méri (MAJOR, 1977/b), a hálózat egyben a nagyobb területekre általánosítható ET értékek pontos alapadatait is szolgáltatja (KOVÁCS, 1977).

c) Természetesen továbbra is biztosítani kell, hogy a VITUKI által működtetett liziméterek, valamint a mezőgazdasági és egyéb kutatóhelyek — koordinált vagy nem koordinált — lizimétereinek észlelési adatai a jövőben is bármely érdekelt kutatóhely számára hozzáférhetők legyenek. Emellett célszerű lenne, ha a VITUKI Vízháztartási Intézete — a kezelésében megtartott hidrológiai célú liziméterek üzemeltetésén túlmenően — ajánlásokat adna ki a többi lizimétert észlelő intézményeknek annak érdekében, hogy rutinszerűen észlelt liziméter-adataik a hidrológiai kutatásban is felhasználhatók legyenek.

5.2 Hidrológiai kutatás

Nagyobb hidrológiai egységek — vízgyűjtők, régiók — tényleges, összeített ET -értékeinek meghatározására a forgalomban levő külföldi és hazai tapasztalati képletek érvényességének ellenőrzésére, finomítására feltétlenül szükség lenne, már csak azért is, mert az ilyen irányú kutatások hosszabb ideje szünetelnek. Ezért javasoljuk, hogy kezdjenek el olyan *vízháztartási és lefolyás-modellezési vizsgálatokat*, amelynek fő célja a domb- és síkvidéki kísérleti vízgyűjtőkön felhalmozott észlelési anyag hasznosítása, s ennek keretében — egyebek között — az ET -mértékére vonatkozó információk kimunkálása, területi általánosítása és a tapasztalati képletekkel való összevetése.

Folytatni kell — legalább a szinttartás mértékéig — az ET -val kapcsolatos *fizikai hidrológiai vizsgálatokat* is a kísérleti területek lizimétereivel és

keresni kell annak lehetőségét, hogy e mérési eredmények felhasználásával a tapasztalati képletek és egyéb ET-becslési módszerek tovább legyenek javíthatók. A Fehértó-Majsai (és esetleg a Mirhó-Gyolcsi) liziméter-méréseket a talajcsövezéssel kapcsolatos agrohidrológiai kutatások megalapozására is fel kell használni.

Megfontolandó, hogy — Kovács (1976) ajánlását követve — a VITUKI liziméterrel el nem látott 2 kísérleti területén (Rakaca-völgyi és Péli-vízgyűjtő) ne telepítsenek-e lizimétereket, a felszíni hidrológiai jelenségek tanulmányozásának kiegészítése céljából.

A fizikai-hidrológiai vizsgálatok során törekedni kell — MAJOR (1974) eddigi vizsgálatai szellemében — az ET három fő összetevőjének: az intercepciónak, a talajnedvesség-fogyasztásnak és a talajvízkészlet-fogyasztásnak — külön-külön való mérésére, ill. meghatározására (STAROSOLSKY, 1973). Az intercepció értékét nemcsak erdőkben, hanem szántóföldi növényállományban is vizsgálni kell (Kovács, 1977). Ugyanakkor az ET mérését az eddigi zömmel szántóföldi vizsgálatokról az erdőre is ki kell terjeszteni.

IRODALOM

1. ANTAL E.—PORZA I.: A különböző növényállományok növénykonstansai és változásuk a tenyészidő folyamán. Az Országos Meteorológiai Intézet hiv. kiadványa, 1966
2. ANTAL E.: Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1968
3. BAC, S.: Evaporation from a Catchment Area. Collective Elaboration. Mathematical Models of Catchments. Zaklad Narod. im. Ossolinskich, Wyd. PAN, Wroclaw; Warszawa, 1974
4. BALOGH J.: Öntözött növények vízfogyasztása és az evapotranspiráció. VITUKI Beszámoló, 1974
5. BALOGH J.: A Nemzetközi Öntözési és Vízrendészeti Szövetség (ICID) evapotranspirációs kerekasztal konferenciája. *Vízügyi Közlemények*, 1977, 3
6. BUDIKO, M. J.: Tyeplovoj balans zemnoj poverhnosztyi. Gidromeoizdat, Leningrád, 1956
7. CSOMA J.-né—MAJOR P.—MOLNÁR GY.: Regionális nedvességmérő hálózat adatainak felhasználása a várható nedvességtartalom előrejelzésére. *Hidrológiai Közöny*, 1976/6
8. DOMOKOS M.: A vízgazdálkodási mérleg. *VITUKI Tanulmányok és kutatási eredmények*, 37 Budapest, 1972
9. DOMOKOS M.: The Water Balance of Hungary. UNESCO-WMO Meeting on Hydrological Problems in Europe, Bern, August 1973
10. HASHEMI, F.: Needs for Estimation of Areal Actual Evapotranspiration for the Practical Purposes of Different Types of Users. *WMO Technical Conference on Assessment of Areal Evaporation*. Budapest, May 1977
11. JAWORSKI, J.: A Simple Mathematical Model to Determine the Catchment Evaporation. *ICID International Round Table Conference on Evapotranspiration*. Paper Nr. 3/17. Budapest, May 1977
12. KARDOS M.: A Duna-medence magyarországi részének vízmérlege. Beszámoló a VITUKI 1972. évi munkájáról. Budapest, 1975
13. KIENTITZ G. (szerk.): A magyarországi táj jellemző és kísérleti vízgyűjtők katalógusa. VITUKI, Budapest, 1973
14. KONSTANTINOV, A. R.: Evaporation in Nature. Translated for the U. S. Dept. of Commerce and National Science Foundation by the Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem, 1966
15. KOVÁCS GY.: The use of Lysimeters in the Hydrological Investigation of the Unsaturated Zone. *Hydrological Sciences Bulletin*, 21 1976

16. KOVÁCS GY.: Interrelation between Point Evapotranspiration Measurements and Assessment of Areal Evapotranspiration. *WMO Technical Conference on Assessment of Areal Evaporation*. Budapest, May 1977
17. KOVÁCS GY.: A Vízügyi Szolgálat céljait szolgáló evapotranspiráció-becslés koncepciója (Szóbeli közlés alapján készített feljegyzés) Budapest, 1978
18. MAGYAR P.: A hidrológiai ciklus szimulációja légköri páracirkulációs adatok felhasználásával. VITUKI témajelentés, kézirat. Témaszám: III. 2.2.3/1973
19. MAGYAR P.: Szabad összegyülekezésű vízgyűjtők lefolyásának meghatározása a hidrológiai rendszer-szintézis módszereivel. VITUKI-témajelentés, kézirat. Témaszám: III. 1.2.27/1974
20. MAJOR P.: Síkvidéki erdő hatásának vizsgálata a talajvízpárolgás és tényleges beszivárgás folyamataira. *Hidrológiai Közöny*, 1974/6
21. MAJOR P.: Actual Infiltration and Evaporation Determined from Data Observed on Groundwater and Soil Moisture. *WMO Technical Conference on Assessment of Areal Evaporation*. Budapest, May 1977/a
22. MAJOR P.: Javaslat egy új talajvízészlelő hálózat kialakítására. Kézirat, Budapest, 1977/b
23. McCULLOUGH, I. S. G.: Examples of Assessment of Areal Actual Evapotranspiration by Indirect Methods. General report, topic III. *WMO Technical Conference on Assessment of Areal Evaporation*. Budapest, May 1977
24. MUSTONEN, S.—McGUINNESS, I. L.: Estimating Evapotranspiration in a Humid Region. *Agricultural Research and Development Centre, Technical Bulletin*, 1389. Coshocton, Ohio, 1968
25. OVH: A Vízügyi Ágazat információ rendszere. A kézi és gépi nyilvántartási rendszer alapjai. (Tervezet) Budapest, 1974
26. PENMAN H.: Evaporation — An Introductory Summary. *Netherlands Jour. Agric. Sci.* Wageningen, 1956
27. PERRIER, A.: Projet de definitions concernant l'évapotranspiration en fonction de consideration theoriques et pratiques. (Rapport national francais). *ICID International Round Table Conference on „Evapotranspiration”* R: 1/3. Budapest, 1977
28. PETRASOVITS I.: Az öntözött növényállományok vízigénye. Doktori értekezés. Gödöllő, 1970
29. PETRASOVITS I.—BALOGH J.: Az evapotranspirációs kutatások magyarországi helyzete és nemzetközi vonatkozásai. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Köz.* (1974)
30. PÉCZELY, T.: Proposals Concerning the Basic Terminology of Evapotranspiration. *ICID Round Table Conference on Evapotranspiration*. Budapest, May 1977
31. STAROSOLSKY, Ö.: A Meteorológiai Világszervezet (WMO) területi párolgási konferenciája. *Vízügyi Közlemények*, 1977/3
32. SZÁSZ G.: Az öntözés néhány kérdésének klimatológiai vizsgálata a debreceni löszháton. A Debreceni Agrártudományi Főiskola centenáriumi ünnepei. Debrecen, 1968
33. SZÁSZ G.: A termesztett növények vízigényének és az öntözés gyakoriságának meteorológiai vizsgálata. *Növénytermelés*, 22/3 (1973)
34. SZÁSZ G.: A hajdúsági löszhát talajának vízháztartási vizsgálata. *Agrártudományi Közlemények*, 33 (1974)
35. SZÁSZ G.: Vélemény „Az evapotranspirációval kapcsolatos magyarországi vizsgálatok áttekintése és javaslat folytatásuk megszervezésére” c. vitaindító anyagról. (Kézirat) Debrecen, 1977
36. SALAY, G.—B. TOUSSAINT: Der Bodenfeuchte-, Lysimeter- und Grundwasser-Messdienst des Landes Hessen. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, 21, H. 3. (1977)
37. SZESZTAY, K.: Thornthwaite C. W. vízmérleg számítási módszere és a Tiszavölgy vízháztartása. *Hidrológiai Közöny*, (1961)/1
38. SZESZTAY, K.: Magyarország öntözővízszükséglete és a Kárpát-medence vízháztartása. Beszámoló a VITUKI 1961. évi munkájáról. Budapest, 1964
39. SZESZTAY, K.: Optimális vízrajzi észlelőhálózat kialakítása: Evapotranszspirációs hálózat kialakítása. Koncepció-javaslat, előzetes tervezet (kézirat), Budapest, 1978
40. SZIGYÁRTÓ Z.: Alapösszefüggések a meglevő öntözőrendszerek terhelhetőségének a meghatározásához. *Hidrológiai Közöny* (1975)/9
41. TÄUMER, F.: Eine Methode zur Bestimmung der Gebietsverdunstung auf meteorologischer Grundlage. Leipzig, 1955
42. TURC, L.: Calcul graphique de l'évapotranspiration potentielle. *L'eau*, (1963)/8
43. UN: Manual for the Compilation of Balances of Water Resources and Needs. New York, 1974
44. VAN BAVEL, I.: Potential Evaporation: The Combination Concept and its Experimental Verification. *Water Resources Research*, 2, 3. (1966)/3

45. VANCsó I.: Adatgyűjtemény a vízfelületek párolgásáról. Az országos kádhálózat 1959-1968. évi adatai. VITUKI, Budapest, 1971
46. WMO: Measurement and Estimation of Evaporation and Evapotranspiration. WMO. No. 201. TP. 105. Tech. Note No. 83, Geneva, 1966
47. WMO: Guide to Hydrological Practices (Third Ed.). WMO—NO. 168. Geneva, 1974
48. WMO: Secretariat: WMO Activities Related to Evaporation. *Technical Conference on Assessment of Areal Evaporation. Budapest, May 1977*

Survey on the Investigations in Connection with the Evapotranspiration and a Proposal for the Organization of their Continuation in Hungary. — The purpose of the paper is to sum up the knowledge on the evapotranspiration, to outline the observational and research activities in this respect in Hungary and to offer a proposal for the future organization of these activities with peculiar interest in the hydrological relations of the evapotranspiration.

Untersuchungen in Ungarn im Zusammenhang mit der Evapotranspiration und ein Vorschlag für die Organisierung der Fortsetzung derselben. — Der Zweck dieser Abhandlung ist die kurz umrissene Darstellung der Kenntnisse bezüglich der Evapotranspiration und ein Überblick über die desbezüglichen Beobachtungs- und Forschungsarbeiten in Ungarn, sowie ein Vorschlag zur Organisierung dieser Tätigkeit mit besonderer Hinsicht auf die hydrologischen Beziehungen der Evapotranspiration.