

A FERTŐ TÓ PÁROLGÁSBECSLÉSE



Készítették: Baros Tímea (Építőmérnöki kar, BSc)
Zsoldos Ádám (Építőmérnöki kar, BSc)

Konzulens: Dr. Szilágyi József (Egyetemi Tanár)

**Tudományos Diákkör Konferencia
Budapest, 2013. november 12.**

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk támogatásáért konzulensünknek Dr. Szilágyi Józsefnek, aki már hosszú ideje motiválja tudományos tevékenységünket.

Köszönet illeti meg Dr. Kovács Ákost és Gnandt Boglárkát, akik tudományos segítsége nélkül nem jöhetett volna létre ez a kutatás.

Végezetül pedig köszönjük a hidrometeorológiai adatszolgáltatást az Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVÍZIG) munkatársainak.

TARTALOMJEGYZÉK

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	1
TARTALOMJEGYZÉK	2
ÖSSZEFOGLALÁS	4
SUMMARY (IN ENGLISH)	6
1. BEVEZETÉS	7
1.1. Motivációk és célok	7
1.2. Kutatási előzmények	8
1.3. Osztrák-Magyar Együtműködési Program	9
2. A FERTŐ TÓ ÉS VÍZGYÚJTÓTERÜLETE	10
2.1. A vízgyűjtő és részvízgyűjtői	10
2.2. A Fertő tó	11
3. A FERTŐ TÓ PÁROLGÁSANALÍZISE	13
3.1. Párolgásbecslés a tó vízgyűjtőjének vízmérlege alapján	13
3.1.1. A módszer ismertetése	13
3.1.2. Felhasznált adatok	14
3.1.2.1. Csapadék	14
3.1.2.2. Lefolyás	17
3.1.2.3. Tó- és területi párolgás	17
3.1.2.4. Területnagyságok	18
3.1.3. Eredmények kiértékelése	18
3.2. Morton párolgásbecslő modell	19
3.2.1. A komplementáris elmélet és a WREVP program ismertetése	19
3.2.2. Felhasznált adatok	21
3.2.2.1. Léghőmérséklet	21
3.2.2.2. Harmatpont	22
3.2.2.3. Napfénytartam	23
3.2.2.4. Állandó paraméterek	25
3.2.3. Eredmények kiértékelése	25
3.2.3.1. Területi párolgás	25
3.2.3.2. Tópárolgás	26
3.2.3.3. Nedves környezeti párolgás	28
3.2.3.4. Eredmények összehasonlítása	29
3.3. Lineáris transzformáció MODIS adatokkal	31
3.3.1. Lineáris transzformáció ismertetése	31
3.3.2. MODIS hőmérsékleti adatok	32
3.3.2.1. Felhasznált adatok	32
3.3.2.2. Havi átlagok	33
3.3.2.3. 13 éves átlag	35
3.3.3. Magassági korrekció	35
3.3.4. Felszíni borítottság	36
3.3.5. Párolgástérképezés	37
3.3.5.1. Havi átlagok	38

3.3.5.2. Éves összegek.....	41
3.3.5.3. 13 éves átlag	43
4. EREDMÉNYEK ELEMZÉSE	44
KONKLÚZIÓ ÉS JÖVŐBELI KITEKINTÉS	46
IRODALOMJEGYZÉK	48

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk témája a Fertő tó párolgásának meghatározása. A vizsgálat újszerű és aktuális, ugyanis kapcsolódik a Fertő tó és környezetének felülvizsgálatával is foglalkozó, *Ausztria-Magyarország Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007-2013*-hoz.

Korábbi TDK munkánkban (A Fertő tó és vízgyűjtőjének párolgástérképezése MODIS műholdképek segítségével; Baros-Szabó-Zsoldos, 2011) hangsúlyoztuk, hogy a hosszabban tartó aszályos évek esetén a Fertő tó vízszintje ismét alacsony szintre süllyedhet, illetve szélsőséges esetben ki is száradhat.

Kutatásunk gyakorlati haszna az említett eset megelőzésében rejlik. Ha pontosan tudjuk a tó aktuális párolgását, akkor egyes intézkedésekkel (pl. vízpótlással) megelőzhető a nagymértékű vízszintcsökkenés. Nem elhanyagolható tény, hogy az alacsony vízszint az igen népszerű Fertő tavi vitorlázást, a hosszú távú vízi közlekedést és az osztrák-magyar hajós átjárást is ellehetetlenítené.

Vizsgálataink során egy olyan újszerű módszert mutatunk be, melynek során a vízgyűjtőterület párolgásából kiindulva határozzuk meg a tó és a nádas párolgását egy megfelelően hosszú időintervallumra (pl. évtized). Ez a párolgásvizsgálatban egyedülálló, így reményeink szerint módszerünk más kutatások alapjául is szolgálhat. A tó a vízgyűjtőterület jelentős részét – közel egyharmadát – adja, mely a számítási pontosságot növeli. A módszer egyik előnye, hogy a szükséges adatok bárki számára hozzáférhetőek, valamint ezek feldolgozásához használhatjuk a Morton WREVP programot, mellyel reális, megbízható eredményeket kaphatunk.

Számításaink során három különböző területtípust különböztetünk meg; a tó nyíltvízi, a nádassal borított, valamint a vízgyűjtőterület fennmaradó részeit. A tömegmegmaradás elvét vesszük alapul, miszerint a három részterületen elpárolgott víztömegnek ugyanazt az eredményt kell adnia, mint a teljes terület párolgási víztömegének. Ezáltal meghatározzuk a részterületek nagyságát, majd a részpárolgásokat.

A teljes vízgyűjtő párolgása egy egyszerűsített vízmérleg alapján számítható, mely szerint a területre hulló csapadék és a lefolyás különbségeként megkapjuk az adott terület párolgását. Előző munkánk során (Baros-Szabó-Zsoldos; 2011) a tó párolgás meghatározására Morton WREVP párolgásbecslő programja bizonyult a legpontosabbnak, így jelen kutatásunkban is ezt a módszert preferáljuk. A vízgyűjtő tóval és nádassal csökkentett területének párolgása szintén a WREVP programmal, azon belül a területi párolgásbecslő modullal határozható meg. Ezen értékek meghatározását követően az egyenletben egyetlen ismeretlen marad, a nádas párolgása, melyet így már egyszerűen kiszámíthatunk.

A vizsgált időintervallum 2000-2012. Számításainkhoz meteorológiai, valamint földrajzi adatok egyaránt szükségesek. A meteorológiai adatokat az Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóságtól, illetve az NCDC Global Summary of the Day adatbázisából szereztük be.

A Morton programmal végzett számítások alátámasztására alkalmazzuk a CREMAP területi párolgásmodellt, mely a lineáris transzformáción alapszik, melyhez az újszerűnek tekinthető MODIS műholdképeket használjuk fel. A lineáris transzformációhoz szükséges pontpárok felállításához a Morton programból kapott párolgásértékeket és a MODIS nappali hőmérsékletértékeket használtunk fel. Ennek a vizsgálatnak kiemelt előnye, hogy megismerhetjük a párolgás térbeli eloszlását is.

A Morton programmal számolt 13 éves párolgásértékek során a tó párolgásra 850 mm-t, a nedves környezeti párolgásra 880 mm-t, a területi párolgásra pedig 466 mm-t kaptunk.

Mivel a CREMAP modell a tó párolgás meghatározására nem alkalmas, így alkalmazása során csak a területi párolgásra és a nádas párolgására kaptunk eredményeket. Előbbi 467 mm, utóbbi pedig a legintenzívebben párolgató nádas esetében 830 mm-re adódott.

Jelenlegi eredményeinket korábbi közelítéseink is alátámasztják, valamint az is, hogy a magyar vízügyi szakemberek által vízmérleg alapján számolt tó és nádas együttes párolgása 872 mm.

Ezeknél az eredményeknél lényegesen alacsonyabb becslést adtak az osztrák szakemberek (kb. 720 mm), mely alapján tévesen arra következtethetnénk, hogy a tó jövőjét nem fenyegetheti vízhiány, nem merülhet fel a vízutánpótlás kérdése.

SUMMARY

With the expected climate change the fate of our shallow lakes depends on how evapotranspiration (ET) will evolve in the future. It is well known that under prolonged unfavorable conditions Lake Fertő can dry up completely as it happened several times in the historical past.

Within the framework of an ongoing bi-national cooperation, the water balance of Lake Fertő is under investigation. There exists an about 20% difference in lake evaporation estimates between the Hungarian and Austrian parties.

Our ET estimation is novel, because we obtain lake evaporation from estimating the ET rate of its watershed and anchor open water and reed evaporation to it.

Employing air and dew-point temperature, sunshine duration, precipitation (P) and lake drainage-canal discharge (Q) data, we were able to estimate the mean annual ET rate of the watershed as $P - Q$ for the 2000-2012 period. With the help of the WREVAP program we can separately estimate the monthly areal ET rate of the watershed upwind of the lake and the ET rate of the open water surface.

By knowing the drainage area of the whole catchment, the separate areas of open water and reed, one can derive the ET rate of the latter, the only missing value in the water balance equation written for the period.

We found that reed-covered areas have only slightly elevated ET rates (878 mm/yr) compared to open water evaporation (850 mm/yr), yielding a lake evaporation of 866 mm/yr, which is almost exactly the same as the ET rate of the lake estimated by the Northern Trans-Danubian Water Authority (i.e., 872 mm/yr) and at least 160 mm/yr larger than what the Austrian researchers obtained.

Our results indicate the importance of freely available basic environmental data for research purposes. All of our meteorological data came from free internet sources or free from the Northern Trans-Danubian Water Authority where the hydrological data also came from.

1. BEVEZETÉS

1.1. Motivációk és célok

„A hidrológiai körfolyamat egyik legfontosabb eleme a párolgás, ugyanis a tóra lehullott csapadékok legnagyobb része elpárolog. Nagy energiát felemésztő fizikai jelenségről van szó, melyet a klímaváltozás és a területhasználat jelentősen befolyásol. A hidrológiai, és klimatikus előrejelzések pontosításához szükséges a párolgásnak a vízmérleg többi elemétől független becslése.

Napjainkban még jelentősebb szerepet tulajdoníthatunk a párolgás pontosításának, ugyanis a klíma változékonysága miatt sok helyen csapadékbővség okozta árvizek pusztítanak, máskor ugyanott pedig az aszály okoz gondot. Vegyük példaként a 2000-es évek elejét, amikor is egymást követő négy évben csökkent a Balaton átlagos vízszintje, és felmerült a vízutánpótlás kérdése.

Hasonlóan aggasztónak tűnt a helyzet a Fertő tavon, ahol 2006-ban vitorlás Világjátékokat rendeztek volna, de nem tudták megfelelően megbecsülni, hogy lesz-e elegendő víz a tóban. Végül a verseny megrendezésre került, de nem feledkezhetünk meg arról a tényről, hogy a megfelelő előrebecslő módszerek sok fölösleges költségtől kímélhetnek meg több ágazatot is, úgy, mint a gazdaságot vagy a turizmust.” (A Fertő tó és vízgyűjtőjének párolgástérképezése MODIS műholdképek segítségével; Baros-Szabó-Zsoldos, 2011)

Jelenlegi kutatásunk elsődleges célja a Fertő tó párolgásának becslése, figyelembe véve korábbi munkánk (Baros-Szabó-Zsoldos, 2011) eredményeit, és a vizsgálatok során szerzett tapasztalatokat. Mivel témánk kapcsolódik az *Ausztria-Magyarország Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007-2013*-hoz, ezért kiemelten fontosnak tartjuk a párolgás több módon történő közelítését is.

Vizsgálataink során egy olyan újszerű megközelítést mutatunk be, melynek során a vízgyűjtőterület párolgásából kiindulva határozzuk meg a tó és a nádas párolgását. Ez a párolgásvizsgálatban egyedülálló, így reményeink szerint módszerünk más kutatásoknál is hasznos lehet.

Célunk bemutatni, hogy a Magyarországon kevésbé elterjedt Morton WREVP program kiválóan alkalmazható a hazai párolgásbecslésben is, mind a tó-, mind területi párolgás tekintetében.

Alkalmazzuk a CREMAP területi párolgásmodellt, melyet az újszerűnek tekinthető MODIS műholdképekkel kombinálva szintén reális eredményeket kaphatunk területi párolgásra.

A Fertő tó a korábbi évszázadok során többször kiszáradt, és nincs semmilyen biztosíték arra, hogy ez ne következhetne be újra. Ezért a tó adottságai és múltja alapján, a jövője bizonytalan, így kiemelt szerepe van a tó párolgás lehető legpontosabb becslésének.

Munkánknak nem csak elméleti, hanem gyakorlati haszna is van, ugyanis további kutatásokkal párolgás előrejelzést lehetne kidolgozni, melyet leginkább az aktuális párolgásra és a víz hőmérséklet alakulására alapoznánk. Egy ilyen módszer segítségével lehetőség nyílna megelőzni az esetlegesen felmerülő vízhiányt vagy kiszáradást.

1.2. Kutatási előzmények

Jelenlegi kutatásunk nagyban kapcsolódik korábbi vizsgálatainkhoz (Baros-Szabó-Zsoldos, 2011), melyben a Fertő tó párolgását különféle módszerekkel becsültük meg.

A munkánk döntő részét a tó párolgás becslése adta, de kitértünk a területi párolgásra is. Külön figyelembe vettük a nád párolgását, ahol a nádas tórész evapotranszpirációját viszonyítottuk a nyílt vízfelszín párolgásához.

A nádas, a tó, és az azt körülvevő területek párolgásainak egymáshoz viszonyított alakulásának vizsgálatakor MODIS hőmérséklet-, és albedóadatokat használtunk fel. Az albedók részletes vizsgálata során arra jutottunk, hogy az egyes évek értékei a képzett átlagértéktől minimálisan térnek el, így az a párolgás szempontjából elhanyagolható tényező.

A MODIS nappali felszíni hőmérsékletadatokat térben osztott párolgástérképezéshez használtuk fel, melynek során az egyik legrealisabb eredményeket kaptunk. Ehhez hasonló eredményt adott a hidrometeorológiai adatok Morton WREVP programmal történő felhasználása is.

Számos empirikus összefüggést vizsgáltunk, és a napjainkban alkalmazott képleteket (Neuwirth-, valamint Kozmáné-féle képlet) hidrometeorológiai, valamint MODIS adatok felhasználásával is alkalmaztuk. Arra a megállapításra jutottunk, hogy az empirikus összefüggések műholdas adatokkal közvetlenül nem alkalmazhatóak, valamint a képletek hidrometeorológiai adatsorokkal történő kombinációjából kapott értékeknél is realisabb becslést ad a területi párolgásra és a nádas párolgására a lineáris transzformáció, valamint a tó párolgásra a Morton program.

Vizsgáltuk a nyílt vízfelszín és parti vízfelületek párolgásértékeinek alakulását, melynek során azt kaptuk, hogy a sekélyebb (parti) víz hőmérséklete magasabb, illetve az is párologtat többet. Azonban az őszi időszaktól a vízfelületek nagyjából azonos hőmérsékletűek, és mivel sekélyvízű tóról beszélünk, így alapvetően a hőtározás is alacsony.

A kutatás során megállapítást nyert, hogy a párolgás egyik legfontosabb tényezője a víz hőmérséklet, melyet korrelációs számításokkal, és érzékenységvizsgálattal támasztottunk alá. Kiemeltük, hogy további kutatásokkal párolgás előrejelzést lehetne kidolgozni, melyet leginkább az aktuális párolgásra és a víz hőmérséklet alakulására alapoznánk. Ennek a Fertő tó esetében – különös tekintettel arra, hogy az elmúlt évszázadokban többször is kiszáradt – kiemelkedően nagy szerepe lenne.

1.3. Osztrák-Magyar Együttműködés Program

A Fertő tó párolgásának becslése szerves részét képezi a 2013 decemberéig tartó *Ausztria-Magyarország Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007-2013*-nak.

A program az EU által támogatott ETE program (Európai Területi Együttműködés) Ausztria és Magyarország határtérségének határon átnyúló együttműködési projektjeit segíti. Célja az osztrák-magyar határ mentén a gazdasági, társadalmi, kulturális és ökológiai kapcsolatok elmélyítése, ezáltal a regionális versenyképesség erősítése és az egyenlőtlenségek enyhítése. A program keretében olyan projektek támogathatóak, amelyek közösen kerülnek kidolgozásra, valamint a régió közös lehetőségeinek és esélyeinek fenntartható és innovatív kihasználását eredményezik.

Tematikai szempontból a program két prioritásra összpontosul:

1. prioritás:
 - 1.1. A gazdasági együttműködés támogatása
 - 1.2. A munkaerőpiac tartós bővülésének elősegítése
 - 1.3. A szociális infrastruktúra és a közszolgáltatások minőségének biztosítása
2. prioritás
 - 2.1. Az ökomobilitás, a közlekedés és a regionális elérhetőség javítása
 - 2.2. A határon átnyúló döntéshozatali rendszerek fejlesztése
 - 2.3. A természeti erőforrások menedzsmentjének javítása

Az Ausztria-Magyarország határon átnyúló együttműködési programot az Európai Regionális Fejlesztési Alap (ERFA) forrásaiból finanszírozzák. Az EU több mint 82 millió € ERFA forrást bocsát rendelkezésre, a program összköltségvetése pedig hozzávetőleg 101 millió €. A fennmaradó pénzösszeg a két tagállamot, Ausztriát és Magyarországot terheli.

A program központi célterülete nyolc NUTS III (NUTS: Statisztikai Célú Területi Egységek Nomenklatúrája) szintű régiót foglal magába: osztrák oldalon Bécs, a Bécs környéki területek déli része, Észak-, Közép- és Dél-Burgenland, magyar oldalon pedig Győr-Moson-Sopron, Vas és Zala megye. Ezt egészítik ki a központi célterülettel határos területek: Alsó-Ausztria déli része és Kelet-Stájerország.

A program által nyújtott finanszírozás feltétele, hogy a projekt tevékenységeinek a programterületen belül kell megvalósulnia.

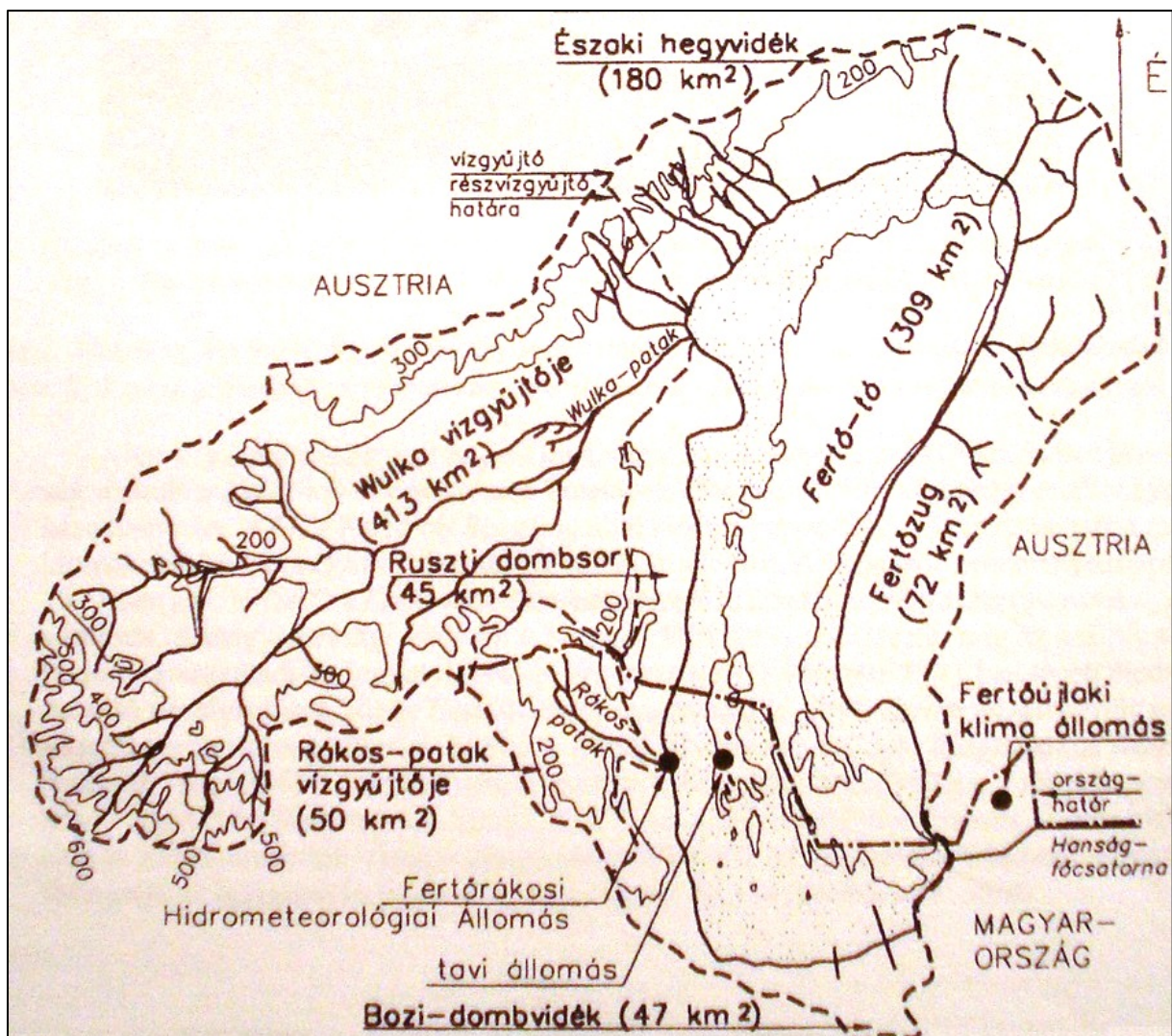
A Fertő tó vizsgálata során osztrák és magyar vízügyi szakemberek egymástól független módon becsülték meg a tó párolgásának mértékét. Bár mindkét esetben a tó vízmérlegét vették alapul, az osztrák vízügyi szakemberek csak a tó párolgását (nyílt vízfelszín), míg a magyarok a tó és a nádas együttes párolgását becsülték meg. A magyar eredmény 872 mm, míg az osztrák jóval alacsonyabb, 720 mm körüli.

2. A FERTŐ TÓ ÉS VÍZGYÚJTÓTERÜLETE

2.1. A vízgyűjtő és részvízgyűjtői

A Fertő tó vízgyűjtőjét háromféle domborzati részre tagolhatjuk. A tó keleti részén található Fertőzug síkvidéki terület, míg a tavat délről és nyugatról határoló terület, valamint a Parndorfi-fennsík dombvidéki területek. Az Alpok keleti nyúlványai – Rozália-, Soproni-, és Lajta-hegység – már hegyvidéki jelleget mutat.

A vízgyűjtőnek nem csak a domborzatára, de az éghajlatára is illik ez a hármas jelleg. A vízgyűjtőn három éghajlati hatás érvényesül különböző mértékben: keletről a kontinentális, délről a földközi tengeri, míg nyugatról az óceáni (Pannonhalmi, 1999). A vízgyűjtő területén az ÉNy-i szél az uralkodó.



1. ábra: A Fertő tó és vízgyűjtője (Pannonhalmi, 1999)

A vízgyűjtőterület hat részvízgyűjtőre bontható fel (1. ábra). Legnagyobb részvízgyűjtője a Wulka-patak – a tó legjelentősebb felszíni vízutánpótlója. Ezt követi a Rákos-patak vízgyűjtője, mely a tó másik táplálója. A Ruszti dombsornak nincs határozott vízszállítója. A Bozi dombvidéknek sincs jelentős vízszállítója csak két időszakos vízfolyása, a Balfi- és Hegykői-csatorna. Az Északi hegyvidék nyugati fele hegyvidéki, míg a keleti része síkvidéki jellegű, így domborzatilag a legváltozatosabb részvízgyűjtő, ahol két kisvízfolyás található, az Angerbach és a Glozer Kanal. A hatodik vízgyűjtő a tó keleti oldalán található a Fertőzug, mely a legbizonytalanabban lehatárolható terület lefolyási viszonyai és nagysága miatt (Kalmár, 2012).

2.2 A Fertő tó

A Fertő tó a kontinentális síkvidéki sós tavak közé tartozik, így azokra jellemzően vízmérlege labilis, ehhez hozzájárul az is, hogy zárt, lefolyástalan, területéhez képest kisméretű vízgyűjtője van. Mivel a tónak vannak befolyói, viszont természetes kifolyója nincs, valamint vízgyűjtője a tó területének kevesebb, mint háromszorosa, ezért a szemiasztatikus tavak csoportjába tartozik. A tóra hullott csapadékból származik az elpárolgott vízmennyiség közel 70 %-a (Kutrucz et al., 2010).



2. ábra: A nádas terjeszkedése (1872,1901,'57,'67,'87)

A 2. ábrán a Fertő tavi nádas terjeszkedés látható az 1872-es, 1901-es, '57-es, '67-es és '87-es állapota szerint.

A tó felületének már több mint a felét nád borítja. A széles nádövezet döntő hatással van a tó vízháztartására és vízminőségére. „A tó végleges, mai formáját a századforduló után kiépített déli, mekszikópusztai poldergátakkal és a levezető Hanság főcsatorna kiépítésével kapta meg. A nádövezet intenzív fejlődése is ezekre a beavatkozásokra vezethető vissza. A 20. század elején létesített Hanság főcsatorna csökkentette a tó vízszintjét, ezzel optimális feltételek, vízmélységek keletkeztek a nád növekedése szempontjából. Az 1965.-ös vízszintemelés lényegesen lecsökkentette a nádelőretörését a nyílvíz felé, viszont kedvezett a part felőli nádnövekedésnek. Az új, elfogadás előtt álló zsilipkezelési szabályzat feltehetően tovább fékezi ezt a folyamatot, annak ellenére, hogy a tó dinamizmusa nem változik.” (Kutrucz et al., 2010)

A tó egyetlen mesterséges elvezető csatornája a Hansági-főcsatorna. Ezen található a Mekszikópusztai-zsilip, mellyel szabályozható a tó vízszintje (3. ábra).



3. ábra: Mekszikópusztai-zsilip

3. A FERTŐ TÓ PÁROLGÁSANALÍZISE

3.1. Párolgásbecslés a tó vízgyűjtőjének vízmérlege alapján

3.1.1. A módszer ismertetése

Az osztrák – magyar együttműködés keretén belül mind magyar, mind osztrák részről vizsgálták a tó párolgásának mértékét, és mindkét esetben a tó vízmérlegéből következtettek a párolgására. Egy tó – főként a Fertő tó – vízháztartási mérlege alapján való becslése bizonytalan, mivel nehezen határozható meg a talajvíz nettó hozzájárulása a tó víztömegéhez. Emellett a szakirodalomban is eltérő értékek találhatók a felszín alatti hozzájárulásról. Valószínűleg emiatt is lett akkora az eltérés a két ország által külön-külön, egymástól függetlenül meghatározott párolgásérték között. A magyar oldalról az ÉDUVÍZIG 872 mm/évre becsülte a tó (nádas és nyíltvíz együttes) párolgását, míg az osztrák fél ennél jóval alacsonyabb 720 mm/év körüli értéket kapott.

Számításaink során mi is a vízmérleg alapján becsült párolgás meghatározását preferáltuk, viszont egy teljesen újszerű, eddig még nem alkalmazott módszert vezettünk be. Elméletünk szerint a tó vízgyűjtőjének vízmérlege alapján meghatározható a Fertő tó párolgása. Mivel nem tudjuk mekkora a talajvíz nettó hozzájárulása a tóban felhalmozódott vízkészlethez – esetleg elfolyás is lehetséges –, ezért az általunk alkalmazott módszer alapján, melyhez nem szükséges a talajvíz hozzáfolyásának ismerete, a vízgyűjtőn egyértelműen meghatározható a párolgás mértéke. Módszerünk eredményesen alkalmazható, ugyanis a vízgyűjtőterület jelentős hányadát – több mint negyedét (28 %) – a tó teszi ki. Ha csak töredéke lenne a tó területe a vízgyűjtőjéhez képest, akkor az jelentős mértékben felnagyítaná az esetleges hibákat.

Azt tételeztük fel, hogy a Fertő tó vízgyűjtőjének vízmérlege egyértelműen felállítható, mivel egy zárt, lefolyástalan területről van szó. Számításaink során három különböző területformát különböztettünk meg, a tó nyíltvízi részét, a tó nádassal borított részét, valamint a vízgyűjtőterület fennmaradó részeit. A módszer a tömegmegmaradás elvén alapszik. Eszerint a részterületekről elpárolgott víztömegek összegének meg kell egyeznie a teljes vízgyűjtőterületről elpárolgott víztömeggel.

Első lépésként a teljes vízgyűjtő párolgása határozható meg, melyet a területre hulló csapadék és az elfolyás különbségeként kapunk meg. Mivel a vizsgált 12 éves időintervallumban a talajvízszint változása elhanyagolható, ezért ez a számítási mód alkalmazható a teljes vízgyűjtő párolgásának közelítésére. Ezt követően az egyes részterületek párolgásának becslése következik. A nyíltvízi és területi párolgás Morton párolgásbecslő WREVP programjának segítségével határozható meg (A módszerről részletesen lesz szó a 3.2. *Morton párolgásbecslő modell* fejezetben). A részterületek nagysága vízügyi forrásokból megszerezhető.

Ezután a tömegmegmaradás alapján felállítható a vízmérleg egyenlete:

$$A_{\text{VGY}} \cdot (P - Q) = E_F \cdot A_F + E_T \cdot A_T + E_N \cdot A_N \quad (1)$$

ahol,

- P = teljes vízgyűjtőre hulló csapadék [mm/év],
- Q = elfolyás [mm/év],
- E_F = területi párolgás [mm/év],
- E_T = tó párolgás [mm/év],
- E_N = nádas párolgása [mm/év],
- A_{VGY} = teljes vízgyűjtő területe [km^2],
- A_F = vízgyűjtő tóval és nádassal csökkentett részének területe [km^2],
- A_T = nyíltvíz területe [km^2],
- A_N = nádas rész területe [km^2].

Az egyenletben csak a nádas rész párolgásának értéke szerepel ismeretlenként, mely a többi ismert adat alapján egyértelműen meghatározható. A módszer csak éves átlagok számítására alkalmas.

3.1.2. Felhasznált adatok

A vízmérleg felállításához meteorológiai és hidrológiai adatok szükségesek, melyeket internetes forrásokból, valamint az ÉDUVÍZIG-től szereztünk be.

3.1.2.1. Csapadék

A vízgyűjtőre hulló csapadék adatsorait az NCDC Global Summary of the Day-től töltöttük le. Az adatokat a Meteorológiai Világszervezet (WMO) a világ időjárását figyelő program keretén belül gyűjti folyamatosan. Az adatok ingyenesek és szabadon felhasználhatóak kutatási és tanulmányi célokra, azonban kereskedelmi célzattal nem. A globális napi adatsorok az Asheville-i National Climatic Data Center (NCDC) rendszerén keresztül érhetőek el. A meteorológiai adatok napi átlagok formájában szerezhetőek be, melyek előállítása legalább 4, a nap folyamán mért értékből történik. Az adatok angolszász mértékegységben adóttak, és a mért adatok általában már a mérés időpontját követően 1-2 nappal elérhetőek. Az online adatbázisban akár 1929-ig visszamenőleg találhatunk mérési értékeket, és 1973-tól többnyire már hiánymentesek is az adatsorok. Több mint 9000 mérőállomás észlelései érhetőek el a rendszeren keresztül. A globális adatbázisból letölthető meteorológiai adattípusok a következők: léghőmérséklet, harmatpont, légnyomás (a mérőállomásnál, valamint a tengerszintre redukálva egyaránt), látótávolság, szélesebbesség, maximális szélesebbesség (hosszan tartó és széllelés), maximális és minimális léghőmérséklet, csapadék, hótakaró vastagsága, illetve az csapadék típusának leírása (eső/szitalás, hó, jégeső, vihar, tornádó).

A Fertő tó vízgyűjtőjéről a tó közelében található három mérőállomást – egy magyart és két osztrákot – választottunk ki, melyek a következők: Sopron, Eisenstadt és Neusiedl (4. ábra).

Mivel a tó feletti nedves légtömegeket a szél a vízgyűjtő keleti része felé tereli, így annak területi párolgásának mértékét csökkenti. Ezért olyan mérőállomásokat választottunk, amik a vízgyűjtő azon részén helyezkednek el, melyek mérési eredményeit az uralkodó ÉNy-i szél által a tó párolgása nem befolyásolja.

A tó keleti oldalán lévő mérőállomások figyelembevétele már csak azért sem jöhetett szóba, mivel a Fertőzug határai (tehát a vízgyűjtőterület keleti határai) a mai napig kérdésesek.



4. ábra: A mérőállomások elhelyezkedése

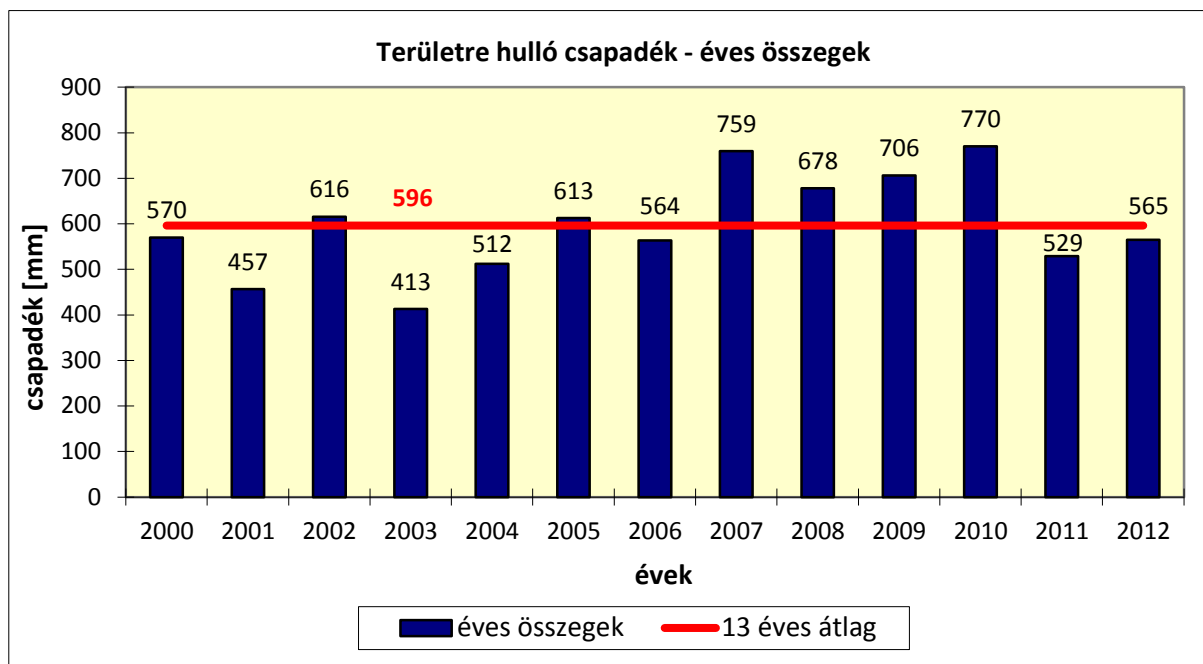
Első lépésként mindhárom állomás adatait átváltottuk metrikus mértékegységekre, majd havi átlagokat, valamint éves összegeket hoztunk létre. Ezt követően a 3 mérőállomás értékeit átlagoltuk, hogy egy-egy éves és havi értéket kapjunk a vízgyűjtőre, melyet már fel tudtunk használni a vízmérleg-egyenlethez. A soproni csapadék adatsor esetében a 2000. április – 2002. május időszakhoz tartozó adatok hiányosak voltak, így azokat az ÉDUVÍZIG által mért tóra hulló csapadék időszoraival pótoltuk.

Az 5. ábrán a három mérőállomás átlagolt eredményei láthatóak.



5. ábra: Vízgyűjtőre hulló csapadék havi átlagai

Az egy hónapban lehulló csapadék havi átlaga 50 mm. A területre a téli és kora tavaszi időszakban kevés csapadék esik, míg a nyári időszakban ez az érték megnő, mely a terület éghajlati viszonyainak tudható be.

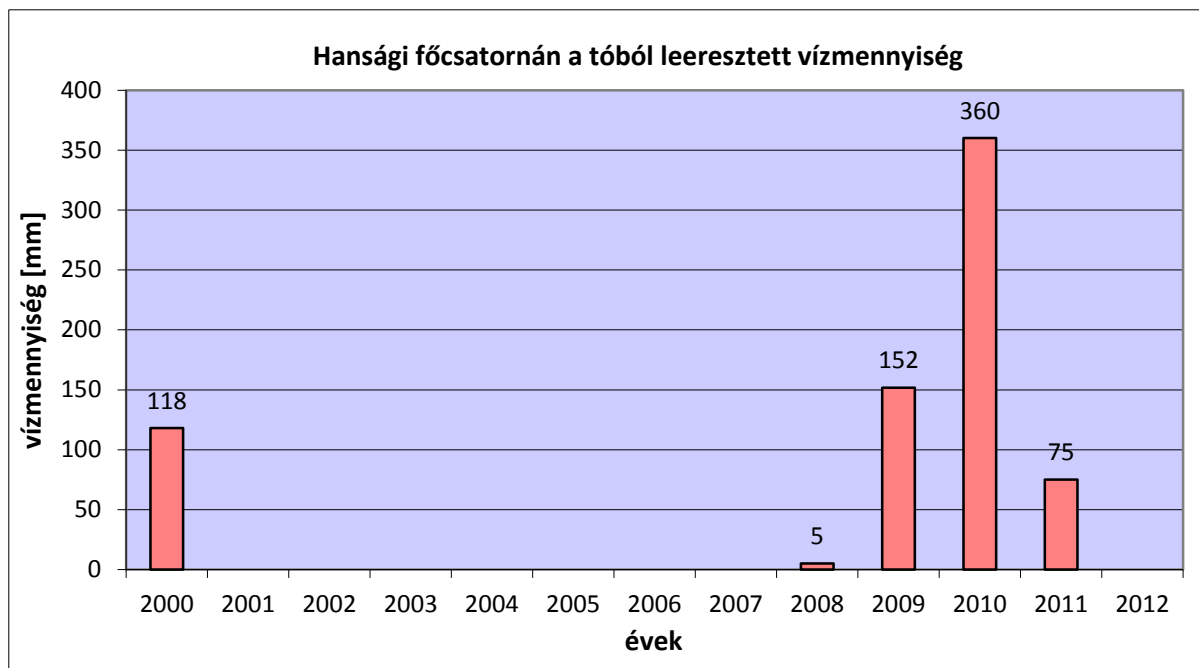


6. ábra: Területre hulló csapadék éves összegei

Az éves csapadékösszegek 13 éves átlaga 596 mm-re adódott. A csapadék alakulásán (6. ábra) is megmutatkozik a szélsőséges időjárás. A vizsgált 13 év során csak két olyan év volt, ami kismértékben (20 mm-en belül) megközelítette a 13 éves átlagot, míg a többi év, ingadozó értékeket mutat – akár 30 %-os eltéréssel is. Jól kivehető a 2000-es évek eleji aszályos időszak, míg 2007 és 2010 közti értékek meghaladták a 13 éves átlagot, akár 160 mm-rel is. Végül az utóbbi két évben ismét egy csapadékszegényebb időszak következett.

3.1.2.2. Lefolyás

A Fertő tó, és ez által vízgyűjtője is egyetlen vízelvezetési csatornával rendelkezik, mely a Hansági-főcsatorna. A tóból történő leeresztés szigorú szabályok alapján történik. A leeresztett víz mennyiségét az ÉDUVÍZIG határozza meg különféle előrejelzések alapján, majd annak mértékét dokumentálja is. Számításainkhoz ezeket az adatsorokat használtuk fel, szintén havi átlagok és éves összegek formájában. A mm dimenzió havi összes lefolyást jelent a tó vízszlop magasságban. A 13 éves lefolyásátlag 55 mm/év-re adódott, mely csak a tó területére vonatkozó lefolyás, így az értéket kivetítettük a teljes vízgyűjtőterületre, ami alapján az éves lefolyás értéke 16 mm lett.



7. ábra: A Hansági főcsatornán keresztül a tóból leeresztett vízmennyiség

A 7. ábrán jól látható, hogy amelyik év csapadékosabb volt, ott nagymennyiségű víz leeresztésére volt szükség, az aszályosabb időszakok alatt pedig egyáltalán nem történt leeresztés. Érdekes figyelni arra, hogy 2000-ben még történt vízleeresztés, amit egy hosszabb aszályos időszak követett (6. ábra), amikor is a tó vízszintje olyan mértékben lesüllyedt, – hiába esett az átlagnál több csapadék 2002-ben – hogy csak 7 év múlva került sor a leeresztő zsilipek újbóli megnyitására. Ez is rámutat arra a tényre, hogy a Fertő tó párolgásának előrejelzése rendkívül fontos feladat.

3.1.2.3. Tó- és területi párolgás

A tó, valamint a vízgyűjtő tóval és nádassal csökkentett területének párolgását Morton WREVP programjával határoztuk meg. (A módszerről és a számítási eredményekről később lesz szó részletesen.)

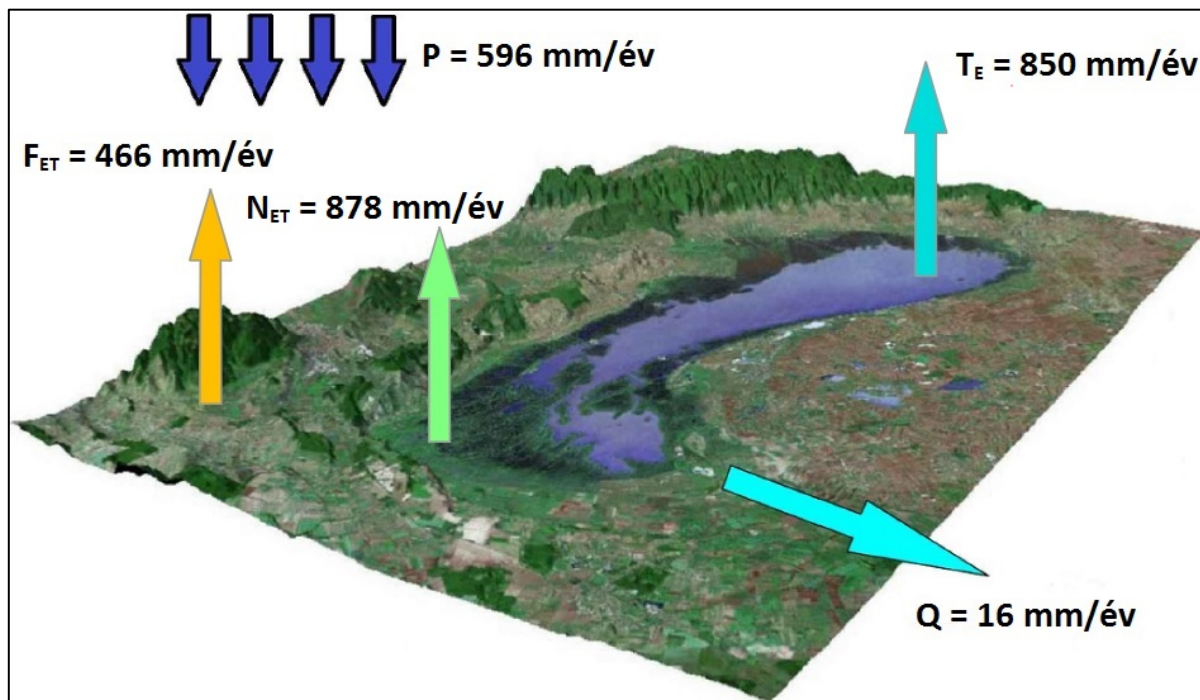
3.1.2.4. Területnagyságok

A vízgyűjtő, valamint a részterületek arányát osztrák vízügyi szakemberek adatai alapján határoztuk meg. A teljes vízgyűjtő területe 1116 km^2 , ebből a tó területe 320 km^2 -t ölel fel, mely a 182 km^2 -nyi nádas részből és 138 km^2 -nyi nyílt vízi területből tevődik össze.

3.1.3. Eredmények kiértékelése

A vízgyűjtő vízmérlege és a mellékszámítások alapján a teljes vízgyűjtő párolgásának értéke a csapadék és a lefolyás különbségeként 580 mm/év -re adódott. A WREVP program által számolt tó párolgás 850 mm/év , míg a területi párolgás 466 mm/év . A vízmérleg egyenlet maradék tagjaként a nádas terület párolgására 878 mm/év értéket kapunk eredményül. A tó és nádas rész együttes párolgására 866 mm/év adódott.

A következő sematikus ábrán bemutatjuk a 13 éves átlagértékek alapján a Fertő tó vízgyűjtőjének általunk feltételezett vízmérlegének alakulását.



8. ábra: A Fertő tó vízgyűjtőjének vízháztartása
(A kép eredeti forrása: Hidroinformatika, Szél keltette tavi áramlások
és üledékvándorlás modellezése diasor, Dr. Krámer Tamás)

3.2. Morton párolgásbecslő modell

3.2.1. A komplementáris elmélet és a WREVAP program ismertetése

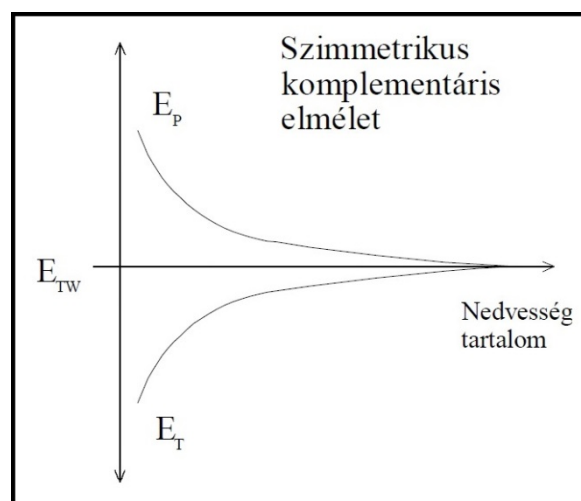
Morton párolgásbecslő modellje, a WREVAP program a komplementáris elméleten alapszik, melynek előnye, hogy az evapotranszpiráció becsléséhez csak alapvető meteorológiai adatok szükségesek (Kovács, 2011).

A komplementáris elmélet alapja, hogy a területi párolgás (E_T), azaz a tényleges párolgás, és a potenciális párolgás között inverz kapcsolat áll fenn (Bouchet, 1963).

$$E_T = 2E_{TW} - E_p \quad (2)$$

A potenciális párolgás (E_p) adott légköri feltételek mellett akkor alakul ki, ha a párolgás egyedüli befolyásoló tényezője a rá fordítható energia mennyisége. A nedves környezeti párolgás (E_{TW}) leginkább a felszíni nettó sugárzás értékétől függ. A talaj nedvességtartalma a párolgás során fokozatosan csökken, ezáltal a párolgás mértéke is, ami gyengíti a felszín hűtésének hatékonyságát, így pedig fokozatosan nő a szenzibilis hő értéke. Ez a hőtöbblet képes megnövelni a potenciális párolgás mértékét olyan szinten, hogy a potenciális és a területi párolgás összege állandó maradjon. A párolgás folyamata során a terület egyre inkább kiszárad, melynek következtében a felette lévő levegő nedvességtartalma is csökken, ez pedig a telítési hiány növekedését eredményezi. A komplementáris elmélet működéséhez mindkét hatásra szükség van, a szenzibilis hőszállítás, illetve a telítési hiány változására egyaránt (Kovács, 2011).

Morton a komplementáris elmélet szimmetriáját kádak, tavak és vízgyűjtők párolgásának felhasználásával érte el, ügyelve közben a paraméterek körültekintő optimalizálására. A 9. ábra a szimmetrikus komplementáris elméletet mutatja be a talaj nedvességtartamának függvényében.



9. ábra: A szimmetrikus komplementáris elmélet elemeinek sematikus ábrája

E_T : területi párolgás, E_{TW} : nedves környezeti párolgás, E_p : potenciális párolgás a Penmann-egyenlet alapján (Kovács, 2011)

Morton (1983) bevezetett egy egyensúlyi hőmérsékletet (T_p), így a potenciális párolgást már nem a Penmann-egyenlet segítségével határozta meg. Az egyensúlyi hőmérséklet az a hőmérséklet, ahol a környezet kiszáradása során egy nedves felület hőmérséklete állandó Q_N (növényzettel borított talajfelszínen rendelkezésre álló energia) esetén elhanyagolhatóan kis mértékben változik. Ezen az egyensúlyi hőmérsékleten számolva a páraszállítási, energiaegyensúlyi, valamint Priestley-Taylor egyenletet, eredményül megkapjuk a komplementáris elméletet úgy, hogy a számítások folyamán szélsőérték adatokra nincsen szükség (Kovács, 2011).

Morton, hogy kiküszöbölje a tapasztalati összefüggésekből és feltételezésekből adódó hibákat, éveken át különböző feltételek mellett tesztelte programját. Ezt 143 vízgyűjtőterületen tette Észak-Amerikában, Afrikában, Ausztráliában, Új-Zélandon, illetve Írországból (Baros-Szabó-Zsoldos, 2011).

A Morton által megalkotott WREVP programnak három fő modulja van, a CRAE (Complementary Relationship Areal Evapotranspiration) területi párolgás, a CRWE (Complementary Relationship Wet-surface Evaporation) nedves környezeti párolgás, valamint a CRLE (Complementary Relationship Lake Evaporation) tó párolgás becslésére alkalmas modul.

A modell a Föld bármely pontjára megbízható becslést ad területi, tó- és nedves felszíni párolgásra egyaránt. Általános meteorológiai adatokat használ, mint a léghőmérséklet, páratartalom, globálisugárzás, oly módon, hogy nincs szükség helyileg meghatározott együtthatókra. A területi párolgásbecsléshez ismerni kell a földrajzi szélességet, tengerszint feletti magasságot, valamint a területre hulló évi átlagos csapadékmennyiséget, míg a tó párolgáshoz a víz sótartalmát és átlagos vízmélységét. A földrajzi szélesség és csapadék a nettó sugárzás becsléséhez, míg a sótartalom és az átlagos vízmélység a hőtárolás mértékének megállapításához szükséges.

A program széleskörűen alkalmazható a következő, leginkább CRAE modellel kapcsolatos kikötések mellett (Morton, 1983a):

- A páratartalom mérések legyenek pontosak és megfelelő gyakoriságúak mindamellett, hogy megfelelő szakértelemmel és megfelelő minőségű műszerrel végezzék el azokat.
- A modell által vizsgált intervallum legfeljebb öt napra csökkenthető, mivel egy-egy átvonuló front átalakítja a levegő és a felszín nedvessége között kialakult dinamikus egyensúlyt, így pár napig a levegő nedvességtartalma nem a felszín nedvességállapotát tükrözi. Ez általában nem jelent gondot, mivel a hidrológiai számítások heti, de leginkább havi bontásban zajlanak.
- Nem használható hirtelen nedvességváltozások esetén, például magas földrajzi szélességen található tengerpart vagy oázis környezetében.
- A vizsgált környezetre a meteorológiai méréseknek reprezentatívnak kell lennie.

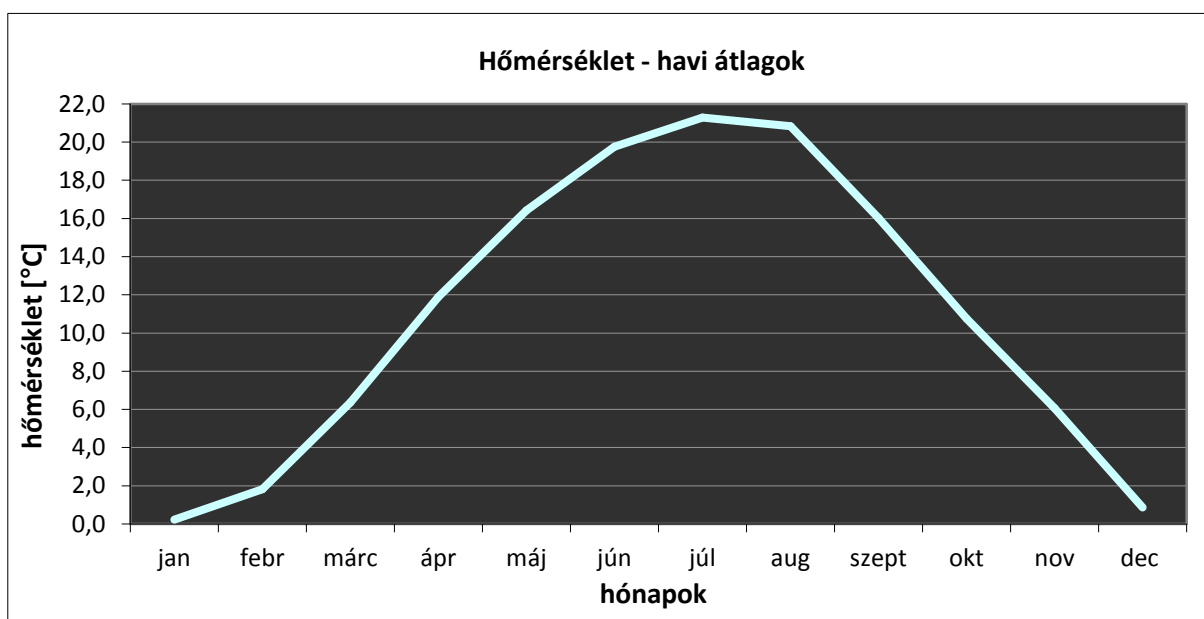
Morton nagy előrelépést tett a párolgásbecslésben, mert egy univerzálisan kalibrált módszert dolgozott ki, melynek helyi alkalmazásához további adatok pontosítására nincs szükség. Más kutatások szerint a vízgyűjtők nagy hányadában Morton becslése és a vízmérleg párolgása közti eltérés 5 %-on belül van (Hobbins et al., 2001a). Ennél kisebb eltérés nedves éghajlatú, valamint arid vízgyűjtőknél tapasztalható. Emiatt megalapozott Morton WREVAP programjának használata a magyarországi (és esetünkben részben ausztriai) viszonyok között a tó párolgás és az evapotranszspiráció becslésénél egyaránt (Kovács, 2011).

3.2.2. Felhasznált adatok

A Morton programja által meghatározható párolgástípusok mindegyikéhez szükség van általános meteorológiai adatokra. A léghőmérséklet, csapadék és harmatpont adatsorok a már említett NCDC Global Summary of the Day-től lettek letöltve. A mérőállomások és az alapfeltételek ugyanazok, mint a 3.1.2.1. *Csapadék* pontban már említett csapadék esetén. Ezen kívül még szükséges globálsugárzás vagy napfénytartam, valamint a tó párolgás meghatározásához meg kell adni a vízfelületet jellemző paramétereket (szélességi fok, tengerszint feletti magasság, átlagos vízmélység és sótartalom). A bemenő adatokat havi átlagként kéri a program, mivel havi szinten számolja a párolgásértékeket.

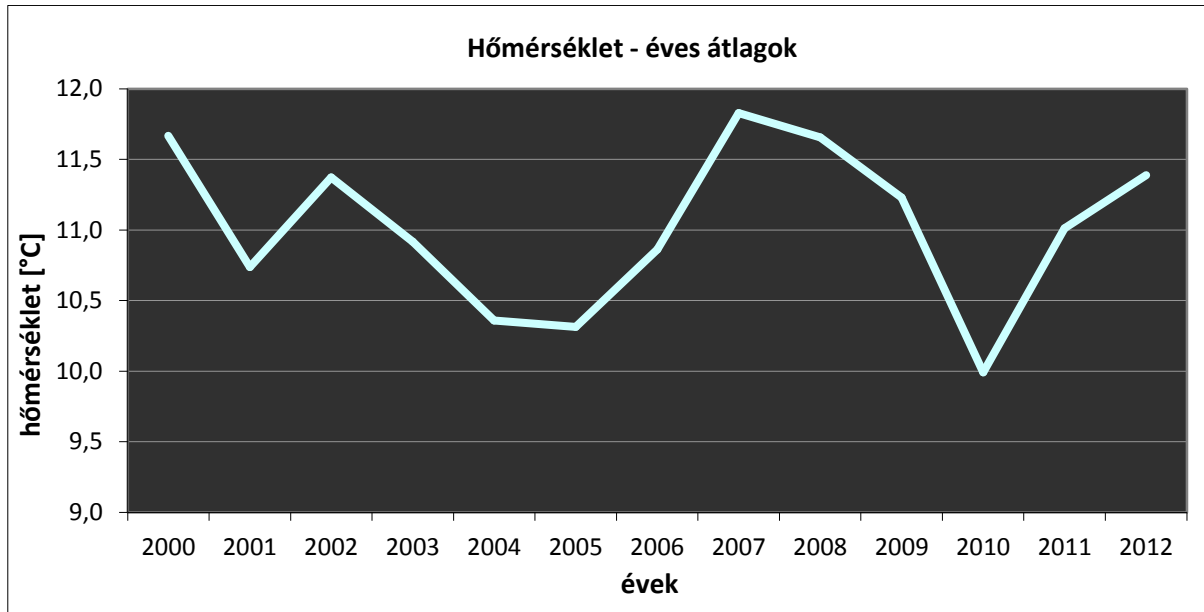
3.2.2.1. Léghőmérséklet

A léghőmérsékletek havi átlagainak vizsgálata során megfigyelhető, hogy a leghidegebb, januári hónaptól a hőmérséklet fokozatosan emelkedik, májustól csökken a növekedés intenzitása, majd júliusban eléri maximumát és végül augusztustól szinte lineárisan csökken vissza 0 °C körüli értékre (10. ábra).



10. ábra: Léghőmérséklet havi átlagai

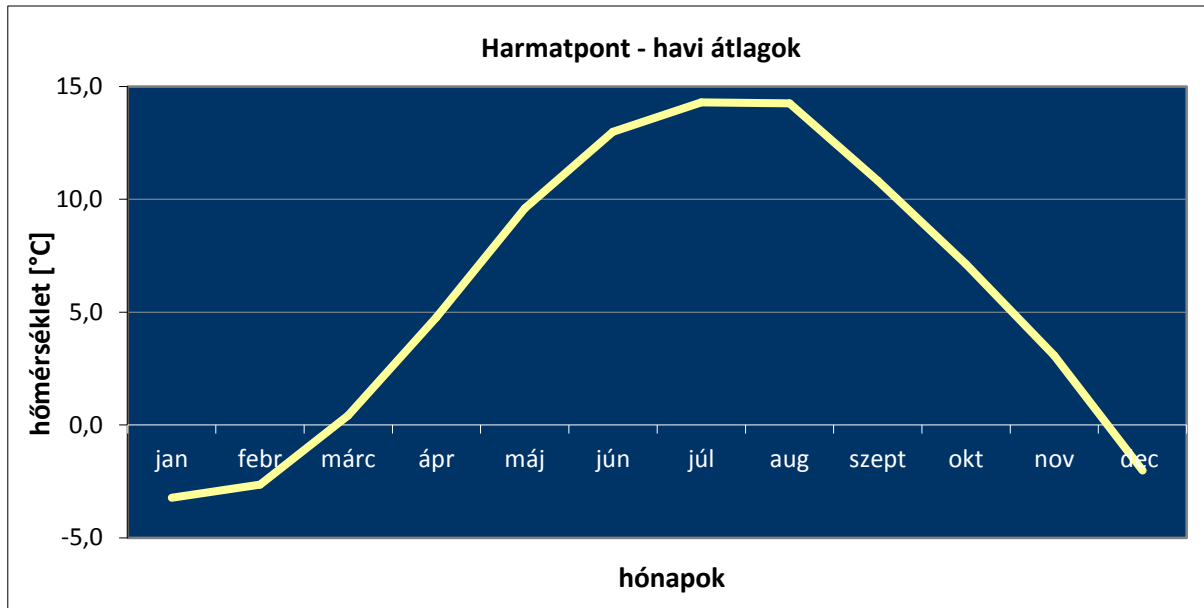
A hőmérsékletek éves értékein látható (11. ábra), hogy a 2004-2005-ös időszakban, valamint a 2010-es évben igen alacsony volt az átlaghőmérséklet. Ez a MODIS által mért felszíni hőmérsékletek esetében is megfigyelhető (31/b. ábra), továbbá ez kihat a párolgások értékeire, melyről a későbbiekben lesz szó.



11. ábra: Léghőmérsékletek éves átlagai

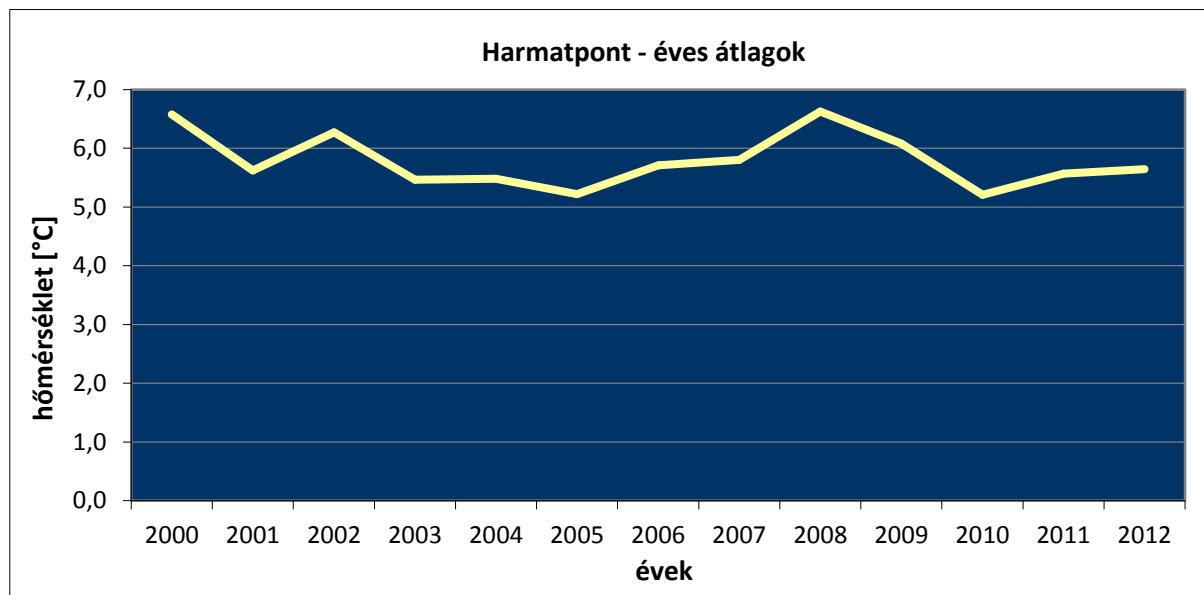
3.2.2.2. Harmatpont

A WREVP programban a páratartalom helyettesíthető harmatponti hőmérséklettel is. Mi az utóbbit alkalmaztuk. A harmatpont az a léghőmérsékleti érték, amelyen az adott nedvességtartalmú levegő telítetté válik, és elkezdődik a kondenzáció (kicsapódás) folyamata. Függ a léghőmérséklettől és a páratartalomtól, ami azon is látszik, hogy éves alakulása követi a léghőmérséklet alakulását (12. ábra), azonban éves átlaga 5°C-kal a léghőmérséklet alatt marad. Értéke a téli hónapokban a legalacsonyabb, ilyenkor még fagypont alá is lesüllyed.



12. ábra: Harmatpontok havi átlagai

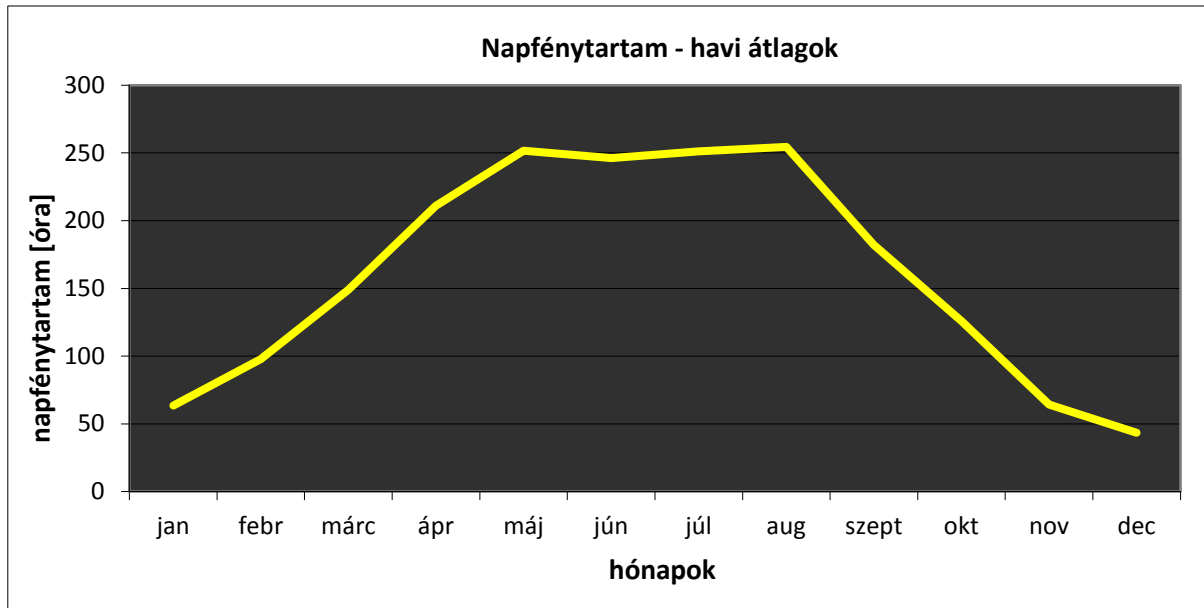
Az éves átlagok sokkal kisebb eltérést mutatnak, mint a léghőmérséklet átlagai (13. ábra). Értékük 5-7 °C között változik.



13. ábra: Harmatpontok éves átlagai

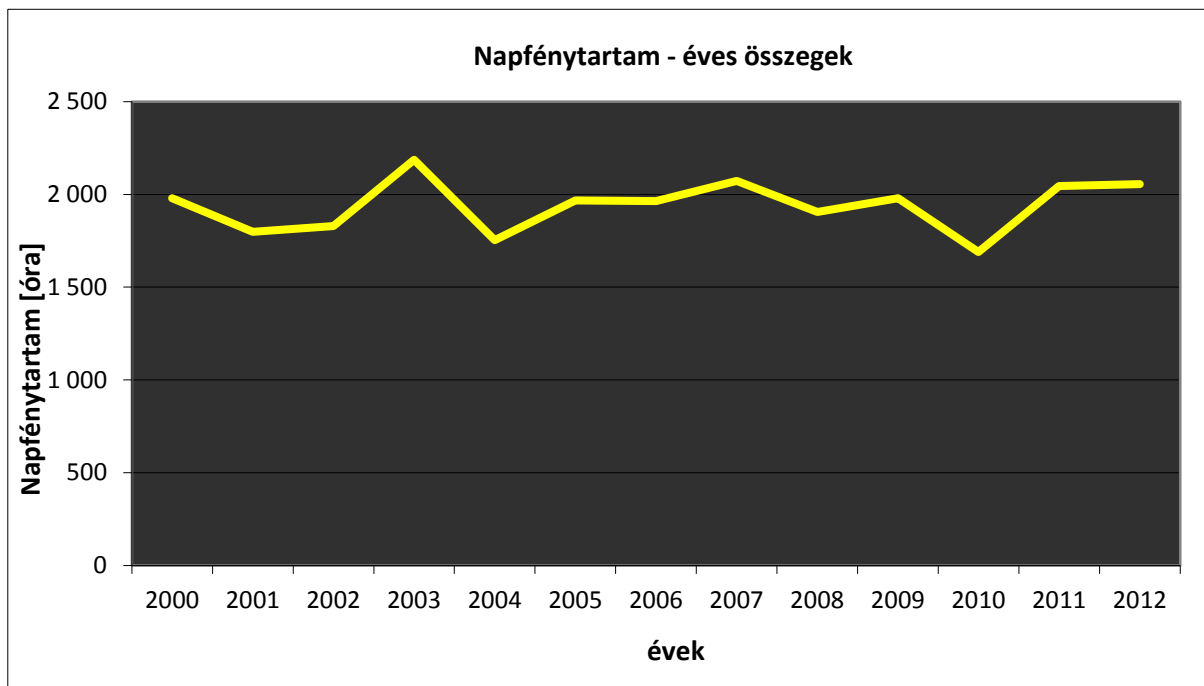
3.2.2.3. Napfénytartam

Morton programja lehetőséget ad arra, hogy globálisugárzás helyett napfénytartam értékeket adjunk meg bemenő adatként. A napfénytartam adatsorát az ÉDUVÍZIG szolgáltatva számunkra, havi átlagok formájában. A mérések a Fertő tavi Hidrometeorológiai Állomásról származnak. A legtöbb napsütés értelemszerűen nyáron éri a területet, a havi átlagok az országos átlagtól nem igazán térnek el (14. ábra).



14. ábra: Napfénytartam havi átlagai

Az évi napsütéses órák száma 1940, mely a magyarországi éves összegek (1750-2050 óra) tartományába esik. Itt is megjelenik, hogy a 2010-es évben volt a legalacsonyabb az átlaghőmérséklet, mivel a 13 év alatt ekkor volt a legkevesebb a napsütéses órák száma, mely alapján arra következtethetünk, hogy abban az évben magas volt a felhőborítottság. Ezt alátámasztja, hogy a vizsgált időintervallumon belül akkor észlelték a legtöbb területre hulló csapadékot (15. ábra).



15. ábra: Napfénytartam éves összegei

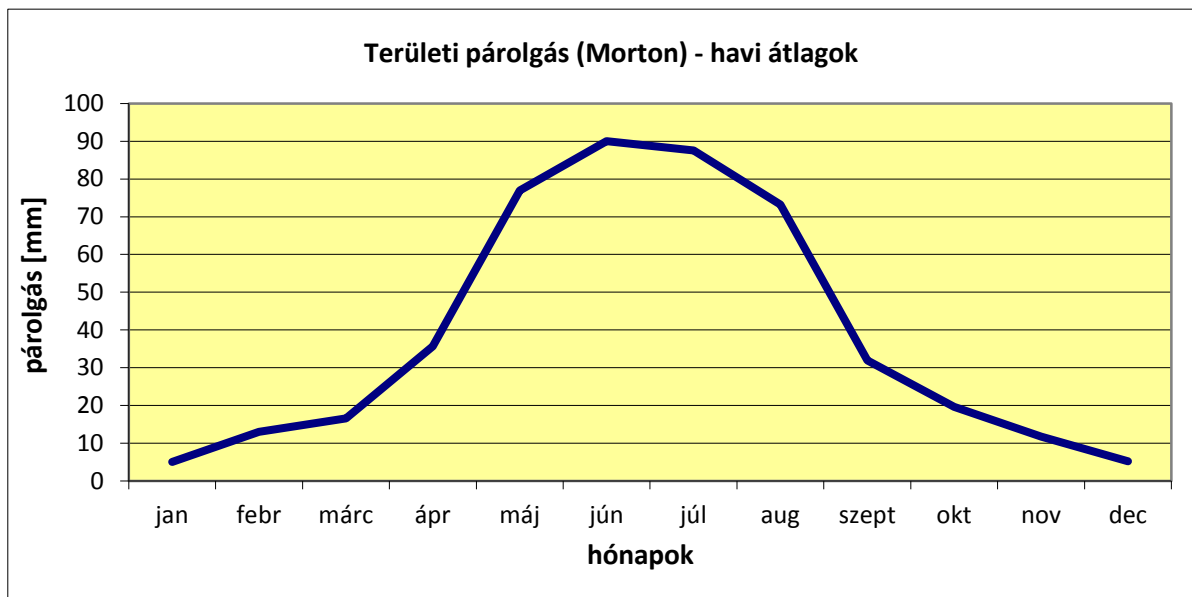
3.2.2.4. Állandó paraméterek

A párolgás meghatározásához a fent említett adatokon kívül néhány állandó paraméter megadása is szükséges. Tópárolgás esetén ismerni kell a tó sótartalmát (1700 mg/l), átlagos vízmélységét (1,2 m), tengerszint feletti magasságát (115 mBf.), valamint földrajzi szélességét (47,80°). A területi és nedves környezeti párolgás meghatározása során szintén meg kell adni a tengerszint feletti magasságot (150 mBf.) és földrajzi szélességet (47,85°), valamint a területi párolgáshoz az átlagos éves csapadékmennyiséget (596 mm). (A földrajzi szélességek a mérőállomások elhelyezkedésének függvényében változtak.)

3.2.3. Az eredmények kiértékelése

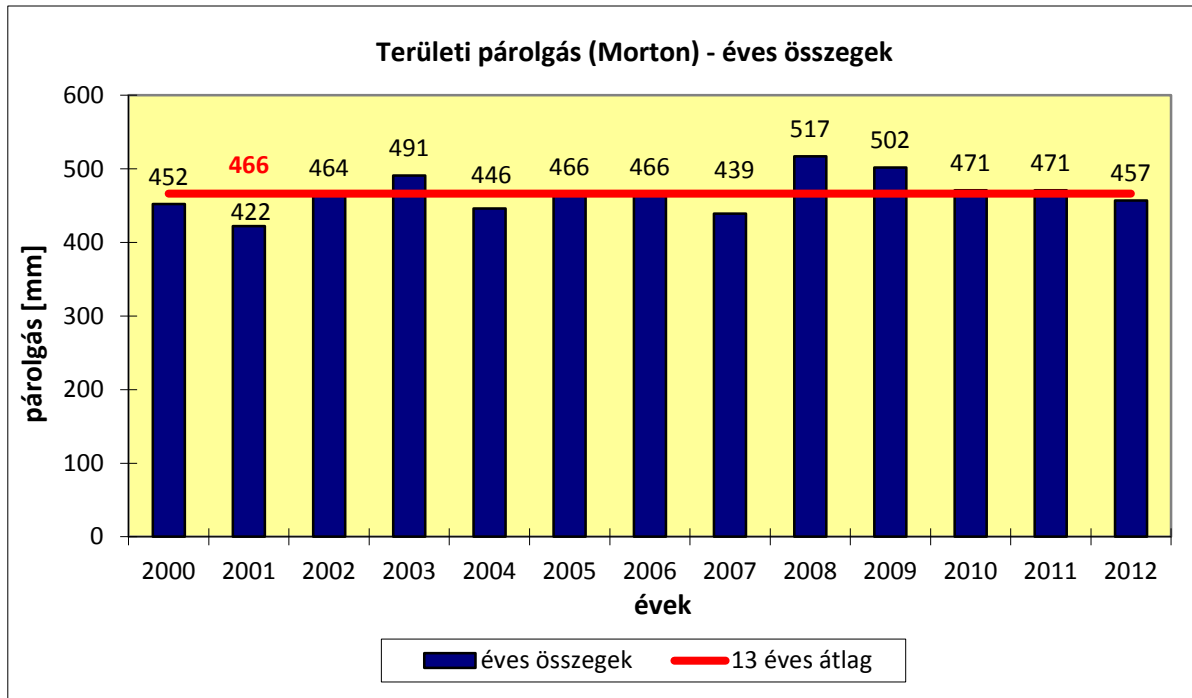
3.2.3.1. Területi párolgás

A területi párolgás vizsgálata során a vízgyűjtő tóval és nádassal csökkentett területét vettük. A havi átlagokon látható (16. ábra), hogy a párolgás döntő többsége a nyári hónapokban zajlik, míg a késő őszi és téli hónapokban jóval kisebb a mértéke. A maximális párolgást júniusban kapjuk annak ellenére, hogy a július-augusztus hónap volt a legmelegebb, viszont ebben a hónapban esett a legtöbb csapadék a területre, ami megmagyarázza a jelenséget.



16. ábra: Morton-féle területi párolgás havi átlagai

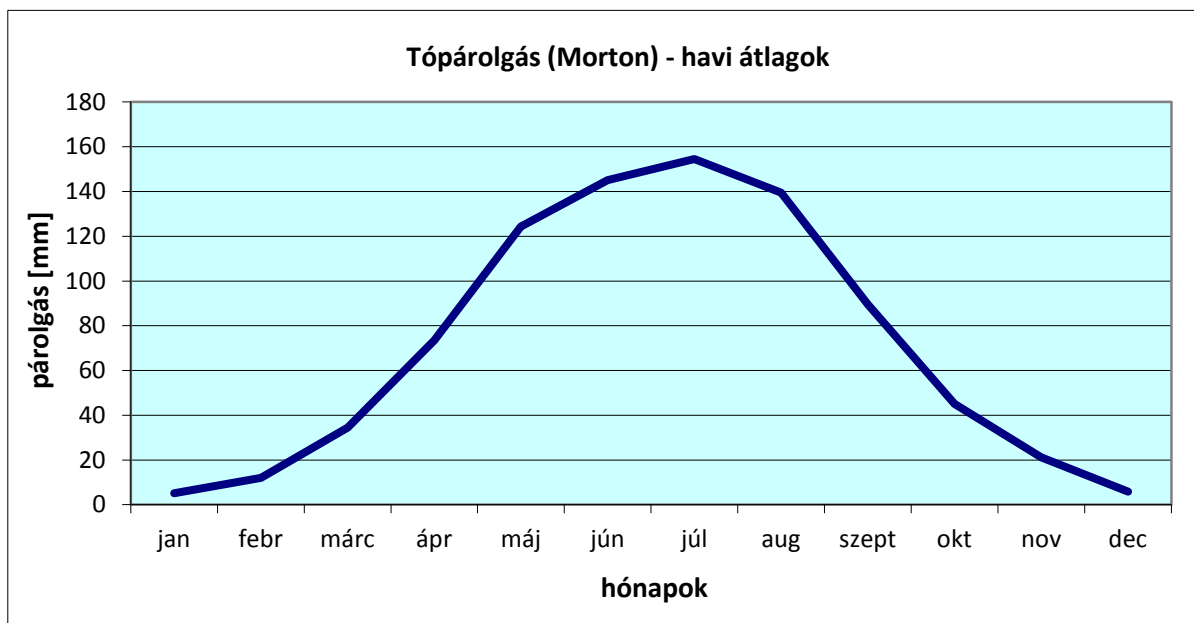
Az éves párolgásösszegek eredményein (17. ábra) megfigyelhető a szélsőséges időjárás, mivel több évben maradt a 13 éves átlag alatt a párolgás, mint amennyi meghaladja azt a vizsgált időintervallumban. Ezt az is alátámasztja, hogy mikor meghaladta az átlagot, akkor nagyobb mértékben tér el attól, mint amikor átlag alatti értéket kaptunk. Ennek ellenére a területi párolgásértékek szórása kisebb a csapadékértékek szórásánál, hiszen a legnagyobb eltérés alig haladja meg a 10 %-ot, míg ez a csapadék esetében elérte a 30 %-ot is.



17. ábra: Morton-féle területi párolgás éves összegei

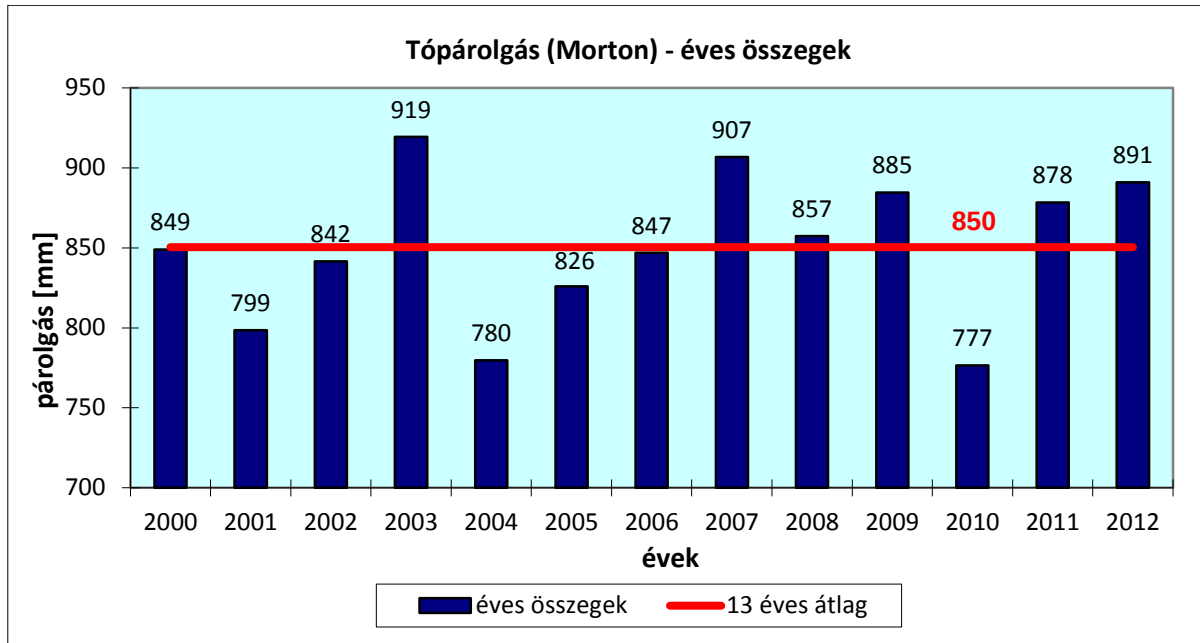
3.2.3.2. Tópárolgás

A tó párolgás meghatározásakor a Fertő tó nyíltvízi területeinek párolgását becsültük. A CRLE modell alapján kapott párolgásokat egy 85/81 értékű szorzóval növeltük, így 13 éves átlagpárolgásként 810 helyett 850 mm-t kaptunk. A korrekcióra azért volt szükség, mert Morton programja hazánkban körülbelül 5 %-kal alábecsüli a sekély tavak párolgását. Ezt bizonyítja Kovács (2011) is Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai című munkájában.



18. ábra: Morton-féle tó párolgás havi átlagai

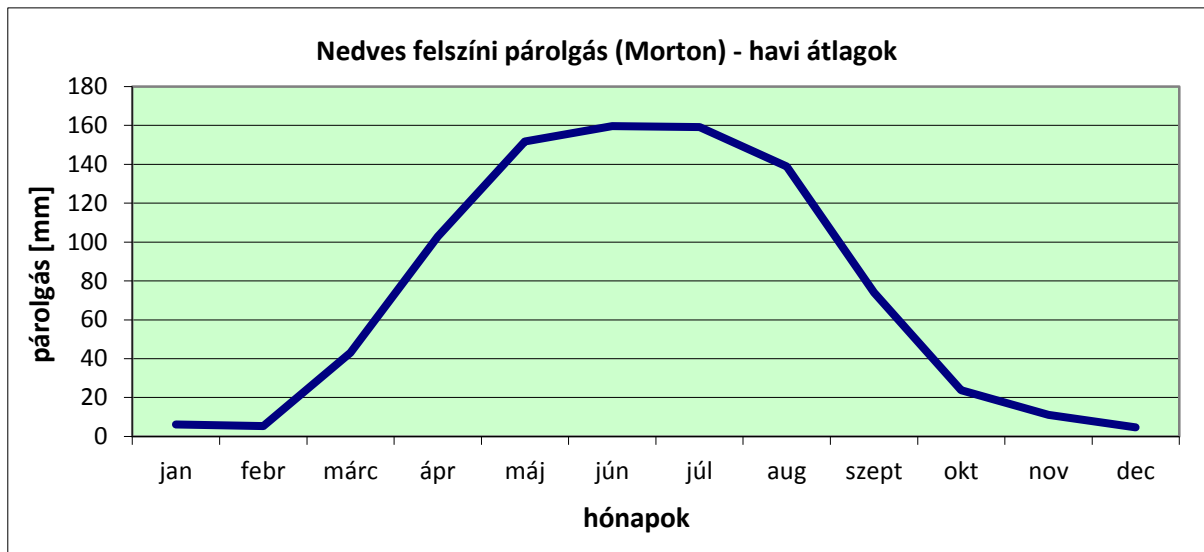
A tó vízmérlegének labilis mivoltát támasztják alá az alábbi grafikon eredményei (19. ábra). Látható, hogy a tó párolgása nagymértékben eltér a 13 éves átlagtól, nincs olyan időszak, amikor közel azonos mértékű párolgást kapnánk. Ha például összehasonlítjuk a területi vagy akár a nedves felszíni párolgással, láthatjuk, hogy ezeknek az értékeknek a legnagyobb a szórása, mely alapján ismételten arra következtethetünk, hogy a tó párolgásának vizsgálata igen fontos.



19. ábra: Morton-féle topárolgás éves összegei

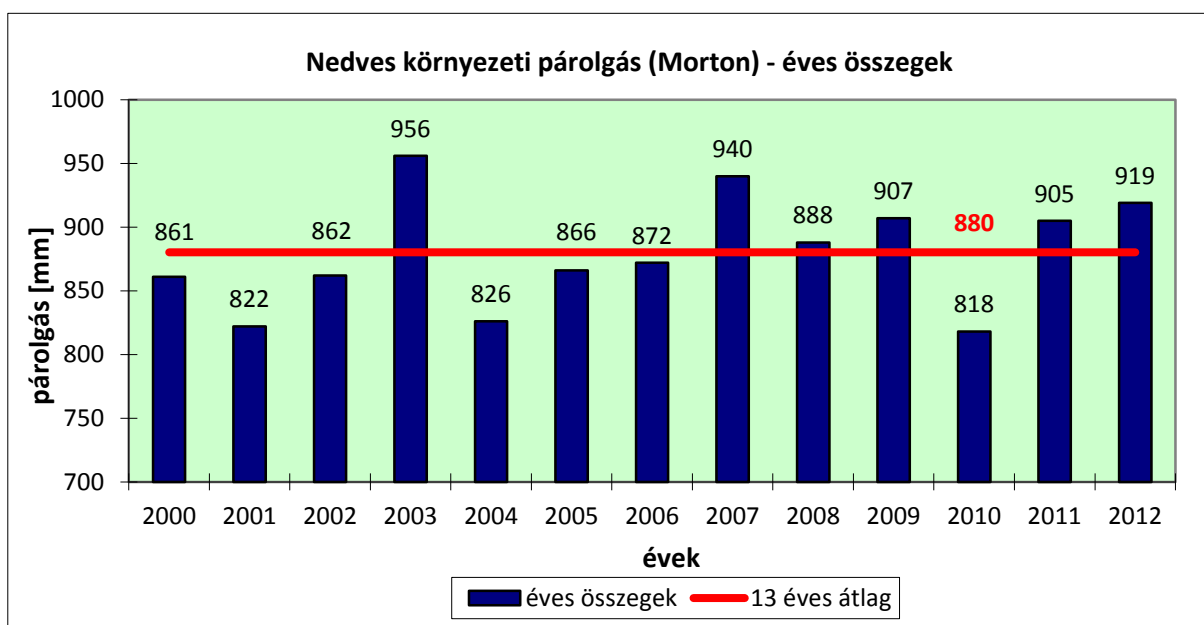
3.2.3.3. Nedves környezeti párolgás

A nedves környezeti (vagy nedves felszíni) párolgás modullal, a növényzettel fedett, bőséges vízellátottságú felszín párolgásának becslését végeztük el. A CRWE modell hazánkban szintén alábecsüli valamelyest a nedves környezeti párolgást, itt azonban korrekcióként a párolgást a program által számolt nettó radiációs sugárzás értékeivel helyettesítettük, mégpedig oly módon, hogy ahol a nettó radiációs sugárzás negatív, ott nem változtattunk a nedves környezeti párolgás eredményén. A havi átlagok hasonlóak a tó párolgás alapján kapott értékekhez (20. ábra), de ezek összehasonlításáról a következő pontban lesz szó.



20. ábra: Morton-féle nedves környezeti párolgás havi átlagai

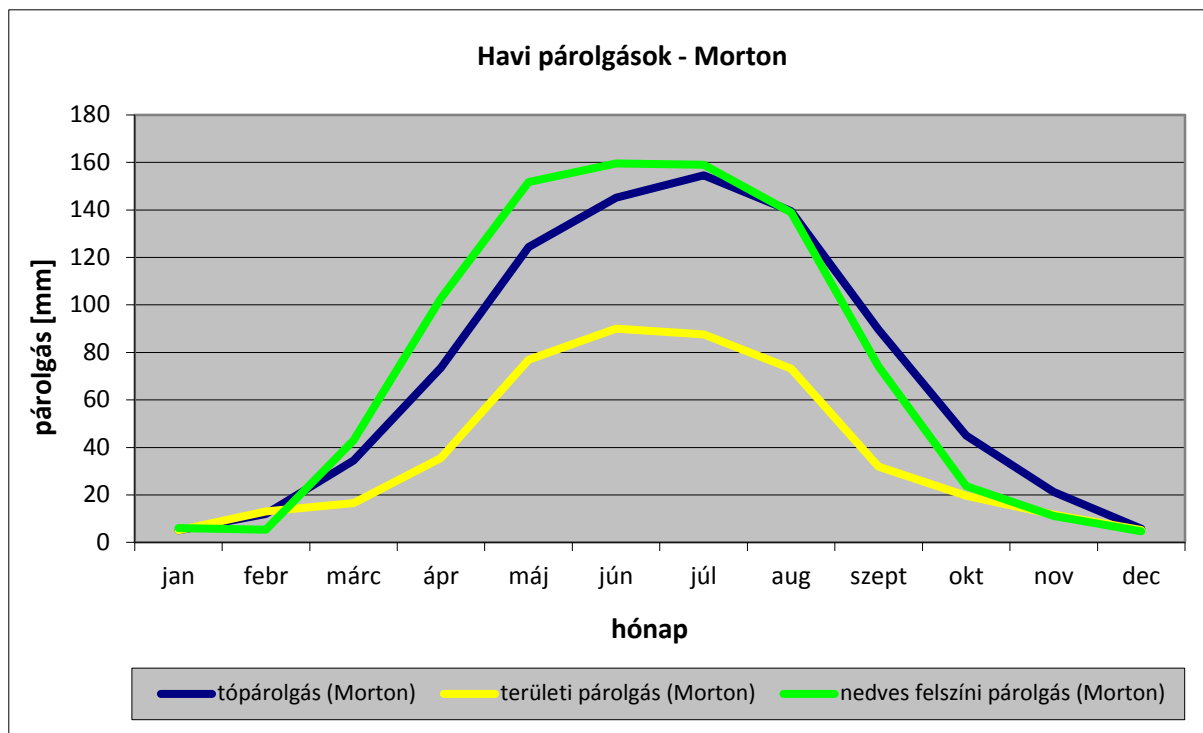
Az éves párolgásösszegek itt is nagymértékben eltérnek a 13 éves átlagtól, szórásuk mégis kisebbnek tűnik a tó párolgásénál. A maximális eltérés, ahogy a nyíltvíznél is, 10 %-on belül marad (21. ábra).



21. ábra: Morton-féle nedves környezeti párolgás éves összegei

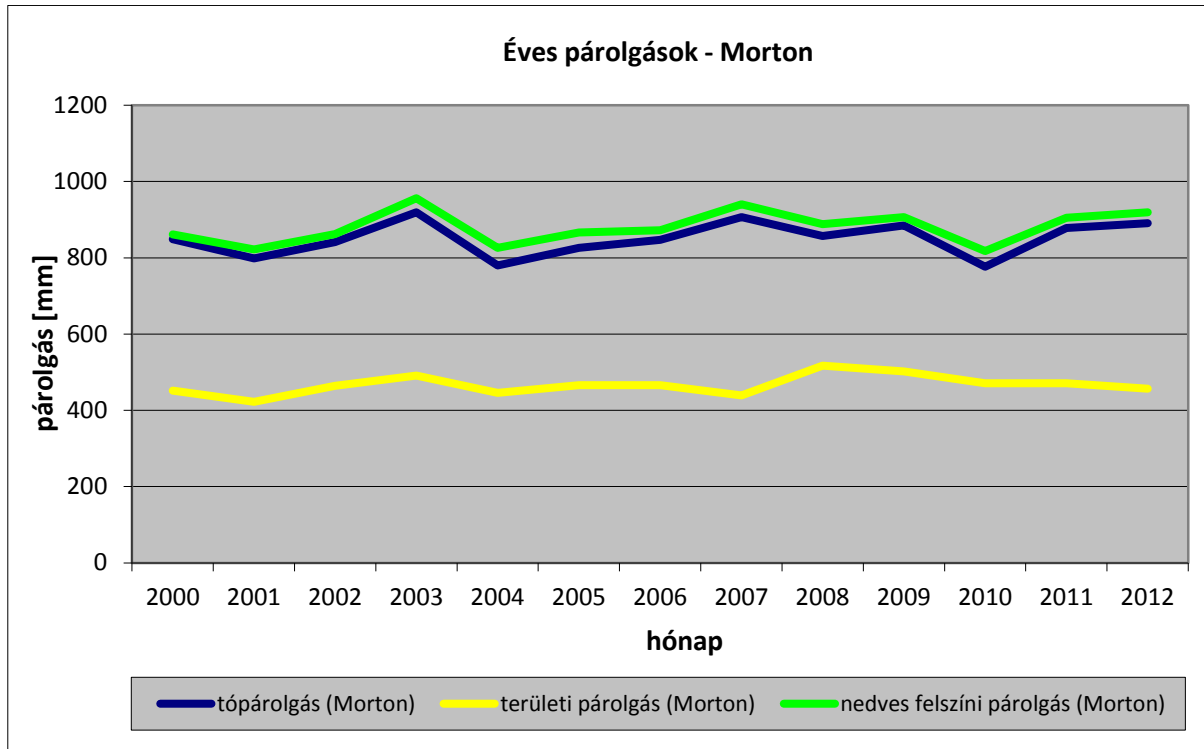
3.2.3.4. Eredmények összehasonlítása

A párolgások havi alakulásán jól látható a tó hőtározása (22. ábra), mely abban mutatkozik meg, hogy a téli hónapokat követően egészen augusztusig a sekélyebb vizű nádas terület párolgása magasabb a nyíltvíznél, ami jelzi, hogy a tó a tavaszi és kora nyári hónapok alatt lassabban melegszik fel. Ezt követően a két párolgásérték augusztusban megegyezik, majd mivel a tó lassabban hűl ki, így párolgásértékei is magasabbak az őszi hónapokban. Ez egészen decemberig tart, ahol már olyan kismértékű a párolgás, hogy a három területtípus párolgásértékei csaknem megegyeznek. Eközben a területi párolgás mértéke döntő többségben a tó- és nedves felszíni párolgás értékei alatt maradnak.



22. ábra: Morton-féle párolgások havi átlagai

Az éves párolgások eredményei azt mutatják, hogy a nedves felszín párologtat a legtöbbet az év folyamán, átlagosan 880 mm-t (23. ábra). Nem sokkal alatta van a tó párolgás értéke, mely szerint a nyíltvíz 850 mm-t párologtat el egy év alatt. A havi párolgások alapján nem meglepő, hogy a területi párolgás átlaga adja a legkisebb értéket, 466 mm-t.



23. ábra: Morton-féle párolgások éves párolgásösszegeinek alakulása

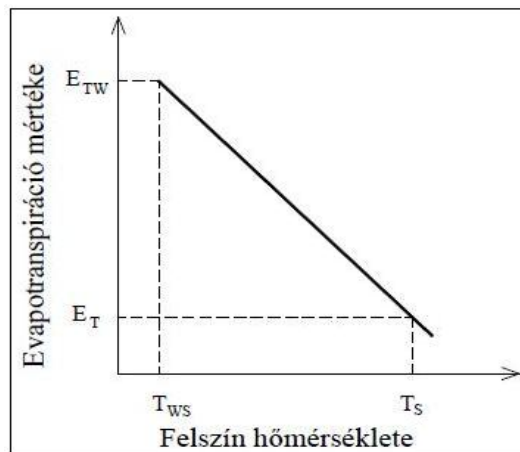
3.3. Lineáris transzformáció MODIS adatokkal

3.3.1. Lineáris transzformáció

Bár a Morton program reális párolgásértékeket ad, érdemesnek véltük más irányból is megközelíteni a számításokat. Mivel a területi tulajdonságoknak (növényborítottság, területhasználat, talajban tározódott víz mennyisége, stb.) párolgásra gyakorolt hatásait a felszíni hőmérsékletek jól jellemzik, - ugyanis a párolgás a felszínre nézve nagy hőelvonással jár - úgy gondoltuk, a CREMAP területi párolgásmodell alkalmazása szintén reális eredményekre vezet.

A CREMAP (Calibration-free Evapotranspiration Mapping) (Szilágyi és Kovács 2010, 2011; Szilágyi et al., 2011) a felszíni hőmérsékletek lineáris transzformációjára alapszik, melyhez két összetartozó pontpár szükséges (24. ábra): a nappali felszíni hőmérsékletek területi átlaga (T_s) és a hozzá tartozó területi párolgás (E_T), valamint nedves pontok átlaghőmérséklete (T_{ws}), amit a hideg pontokból számolunk – itt feltételezzük, hogy a felszín hideg pontjai egyben nedves pontok is – és a hozzá kapcsolódó nedves környezeti párolgás (E_{TW}). Az egyenes meghatározása után a felszíni hőmérséklet alapján már leolvasható a párolgás értéke (Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai; Kovács Ákos, 2011).

A módszer előnye, hogy minden olyan területen alkalmazható, ahol a párolgás komplementáris elmélete érvényes, csak a nedves pontokat kell pontosan kiválasztanunk, nem szükséges kalibráció.



24. ábra: Lineáris transzformáció

„Bár Szilágyi és Józsa lineáris transzformációját (2009b) függetlenül vezette le a népszerű és széles körben alkalmazott evapotranszpirációs modellektől, mint a SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998) és METRIC (Allen et al., 2007), alapötlete mégis ugyanarra az okra vezethető vissza: a levegő függőleges hőmérséklet-gradiense (dT/dz) a felszín közelében lineárisan függ a felszín hőmérsékletétől (Bastiaanssen et al., 1998). Ugyanígy térben állandó Q_n feltételezésével a szenzibilis hőszállítás (H) szintén leírható a földfelszín-atmoszféra

határfelületen T_s függvényében, feltéve, ha az aerodinamikus ellenállás (r_a , s/m) változása a MODIS cellák között elhanyagolható, azaz

$$H = \frac{\rho_a c_p}{r_a} \frac{dT}{dz} \approx d_1 \frac{dT}{dz} \approx d_2 T_s + d_3 \quad (3)$$

ahol ρ_a a levegő sűrűsége kg/m³-ben, c_p a levegő fajlagos hője J/kg/°C-ban és d_1 (J/m³/°C), d_2 (W/m²/°C), d_3 (W/m²) konstansok.

Semleges légköri feltételek mellett (egy nap, vagy annál hosszabb periódusnál) r_a lineárisan függ az érdességmagasság (z_{0m}) logaritmusától (Allen et al., 2007):

$$r_a = \frac{\ln(z_2/z_1) \ln(200/z_{0m})}{k^2 u_{200}} = d_4 \ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right) = d_5 - d_4 \ln(z_{0m}) \quad (4)$$

ahol k (-) a Kármán konstans, z_1 (m) és z_2 (m) a T két mérési magassága, u_{200} a térbelileg konstansnak feltételezett szél sebessége 200 méter magasan m/s-ben, végül d_4 (s/m) és d_5 (s/m) konstansok. A (4)-es egyenlet alapján a z_{0m} értékében történő térbeli változás hatása jelentősen csillapítódik a logaritmus miatt. Magyarországon az egyes 1 km oldalhosszúságú cellák növényborítottsága általában van annyira változatos, hogy az aerodinamikus ellenállás változása a cellák között elhanyagolhatónak tekinthető. A komplementáris elmülethez szükséges térbelileg konstans Q_n alatt a látens hő (LE) T_s lineáris függvénye lesz, mivel a talaj hőfluxusa általában elhanyagolható egy napnál hosszabb időperiódusra, ezért $Q_n = H + LE$, amiből $LE = aT_s + b$, melyben a és b konstansok egy számítási időperiódusra.” (Kovács Ákos Domonkos, Tó és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai, 2011, 51.o.)

3.3.2. MODIS hőmérsékleti adatok

3.3.2.1. Felhasznált adatok

A lineáris transzformációhoz szükséges felszíni hőmérsékletadatokat MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) műholdképekből nyertük ki, melyek felhasználásával lehetőség nyílt a párolgásértékek havi becslésére, valamint a párolgás térbeli eloszlásának megismerésére is.

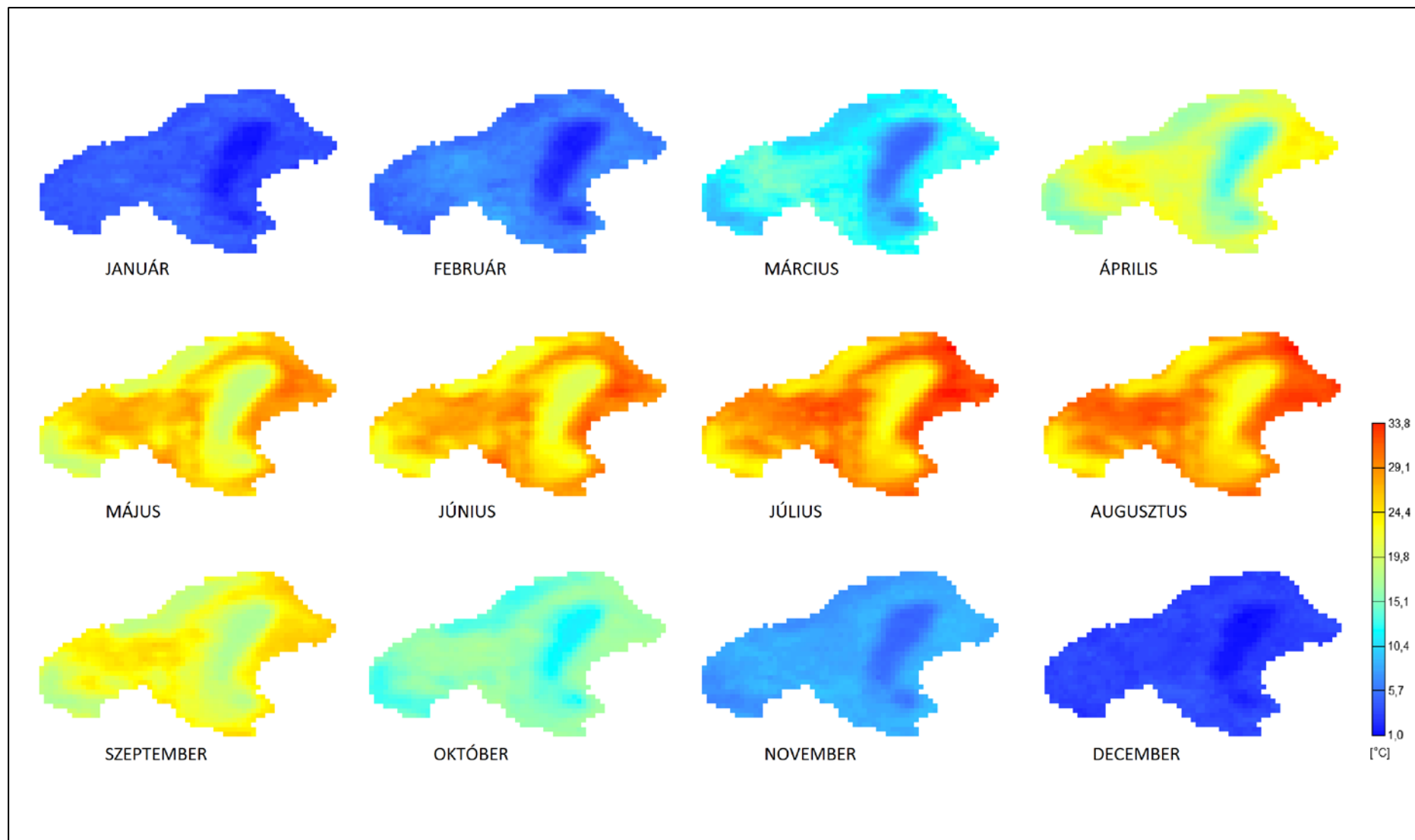
A műholdképeket a kvázi-poláris röppályán keringő AQUA és TERRA NASA-műholdak rögzítik, naponta kétszer. A hőmérsékletek a Stefan-Boltzmann-féle sugárzási törvény alapján számolt radiációs értékek.

Korábbi kutatásunk során (Baros-Szabó-Zsoldos, 2011) már alkalmaztunk MODIS adatokat, azonban a NASA mérnökei 2011 óta módosítottak a műholdas adatokat feldolgozó számítási algoritmuson, így szükségessé vált a már meglévő adatok ismételt beszerzése is, melyek továbbra is ingyenesen hozzáférhetőek a <http://modis.gsfc.nasa.gov/> oldalon. Napszak szerint nappali felszíni hőmérsékletadatokat, térbeli felbontás szerint pedig a lehető legrészletesebb, körülbelül 1x1 km-es cellákat választottunk.

A kiválasztott layer-ek érvényes adattartománya 7500-65535, a bitformátum 16 bites integer, az értékek Kelvinbe konvertálásához szükséges szorzótényező értéke 0,02. A HDF fájlok 1200x1200-as felbontásúak, valamint nagyjából 1100x1100 km-es területet fednek le. A kívánt feldolgozhatóság érdekében a fájlokon néhány fontos átalakítást kellett elvégezni, például a HDF GEOTIFF formátumba konvertálását, melyre a szintén ingyenesen elérhető Modis Tool program volt segítségünkre. Ennek elérhetősége a következő: https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool. Az elérhető 8 napos periódusokból havi időlépcsőket hoztunk létre, melyhez Mathworks Matlab és ESRI ArcGIS programot használtunk. A térbeli megjelenítés ArcGIS programban történt, a vizsgált időszak 2000. március és 2012. december közé tehető.

3.3.2.2. Havi átlagok

A 13 év adatsorából havi átlagokat képeztünk. A 25. ábrán jól látható, hogy a legalacsonyabb felszíni hőmérsékletek minden hónapban a vízfelületre adódnak, és ezzel közel azonosak a Lajta-, és Soproni hegységről származó adatok is. A hegyvidéki területeken nem csak a hőmérséklet eltérő, hanem mások a hidrológiai adottságok – így a párolgás is – ezért ezen értékek korrekció nélküli felhasználása hibás számítási eredményekhez vezetne. Erről a későbbi fejezetekben még szót ejtünk.

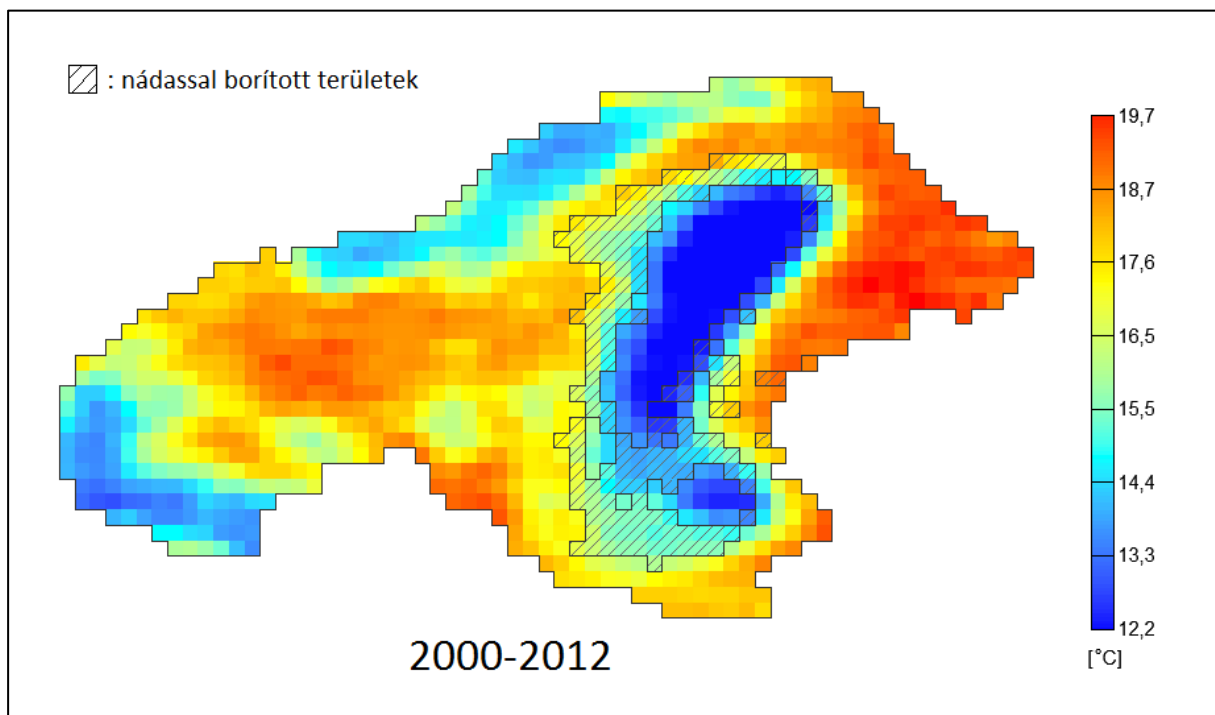


25. ábra: Felszíni hőmérsékletek havi átlaga

3.3.2.3. 13 éves átlag

A hőmérsékletek havi átlagainak vizsgálata után 13 éves átlagot képeztünk, melyen még határozottabban megjelenik, milyen hőmérsékleti differencia van a nyílt víz, a nádassal borított részek, a magasabb területek, valamint a vízgyűjtőterület fennmaradó része közt.

A felszínborítás alapján meghatározott nádassal fedett területeket a 26. ábrán külön kiemeltük, ugyanis ezeken a területeken belül is 4-5 Celsius fokos eltérések adódnak, melyek jelzik a terület inhomogenitását. Látható továbbá az is, hogy a part-menti vízfelület hőmérséklete magasabb, mint a nyíltvízé, valamint a Lajta-, és Soproni-hegységben a felszíni hőmérsékletekkel közel azonosak az értékek.



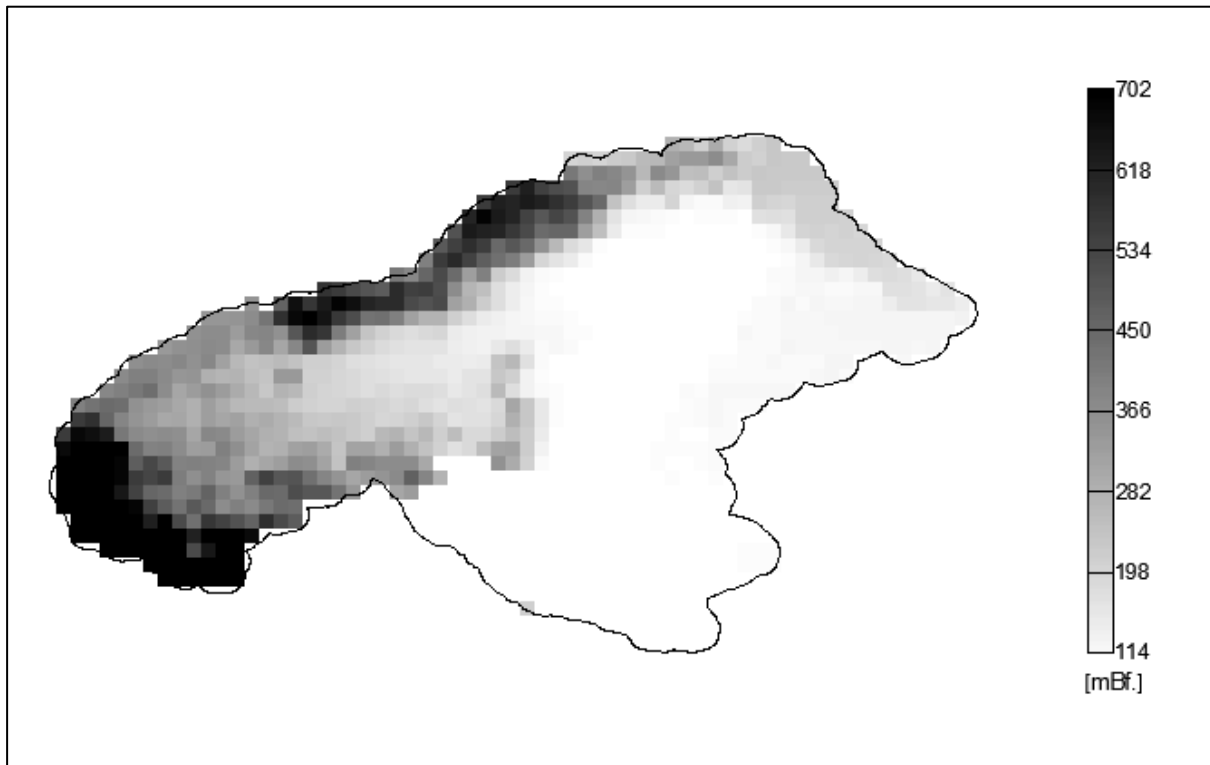
26. ábra: Felszíni hőmérsékletek 13 éves átlaga

3.3.3. Magassági korrekció

A 3.3.2. *MODIS hőmérsékleti adatok* fejezetben már említettük, hogy a lineáris transzformáció eredményes alkalmazása miatt szükségessé vált a felszíni hőmérsékletértékek azonos magasságra átszámított korrekciója, melyhez elengedhetetlen volt a magassági értékek pontos ismerete.

A legfontosabbnak a vízgyűjtőterület északi és nyugati részén elhelyezkedő Lajta-, valamint Soproni-hegység magassági adatainak megismerését tartottuk (27. ábra), ugyanis a vízgyűjtőterületen itt adódnak a legnagyobb tengerszint feletti magasságok. Mint azt korábban említettük, a hegyvidéki hőmérsékletek a vízfelületével közel azonosak, ami a lineáris transzformáció alapján arra engedne következtetni, hogy a párolgások is hasonlóan alakulnak. Ez azonban helytelen következtetés lenne, mivel a magassággal a felszíni

hőmérséklet csökken, ezért ekkora szintkülönbségek esetén korrekcióra mindenképp szükség van.



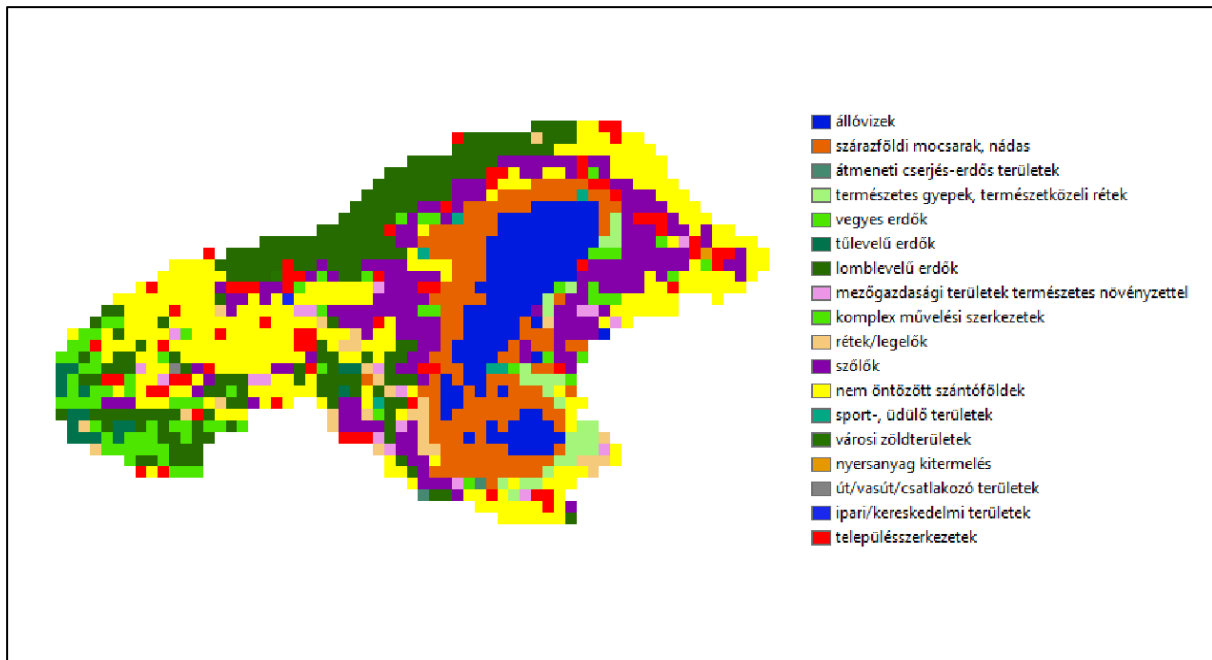
27. ábra: Magassági eloszlás

A vízgyűjtőterület domborzati térképezését az osztrák kutatók által mért magassági adatok alapján végeztük el. A szolgáltatott mérési eredmények csak az osztrák területet fedik le, azonban a lényeges adatok megismeréséhez ez is elegendőnek bizonyult.

Az értékek 114 és 702 méter között változnak, melyek jelentős eltérések, így kijelenthetjük, hogy a magasabb (hegyvidéki) területeket a tó és környezetétől eltérő meteorológiai adottságok jellemzik. A hőmérsékleti adatok korrekciójához a tó 115 méteres Balti feletti szintjét vettük alapul, és az ettől eltérő magasságokat 100 méterenként 1,5 Celsius fokkal korrigáltuk.

3.3.4. Felszíni borítottság

A párolgástérképezéshez meg kellett ismernünk a terület pontos felszínborítását is, melyhez a CORINE (Coordination of Information on the Environment) program keretén belül létrehozott CLC (Corine Land Cover) adatokat használtunk fel. Az 28. ábrán jól látható, hogy a Fertő tó jelentős részét nádassal borított területek adják, valamint a terület nyugati és keleti részein egyaránt számos szőlőültetvény, és öntözésmentes szántóföld található. A hegyvidéki részeket leginkább a lomblevelű erdők jellemzik.



28. ábra: Területi felszínborítás

Mivel a MODIS képek elérhető legfinomabb felbontása 1x1 km-es, a felszínborítást is ekkora cellákra határoztuk meg. Bár a CLC adatok képesek ennél részletesebb képet is adni, mindaddig, amíg a MODIS terén nincs fejlődés, ez a legpontosabb közelítés.

3.3.5. Párolgástérképezés

A 3.3.1. *Lineáris transzformáció* fejezetben ismertettük a módszer elvi hátterét, melyben említést tettünk arról is mely két pontpár szükséges az egyenletek felállításához.

Számításainkhoz az alábbi pontokat határoztuk meg:

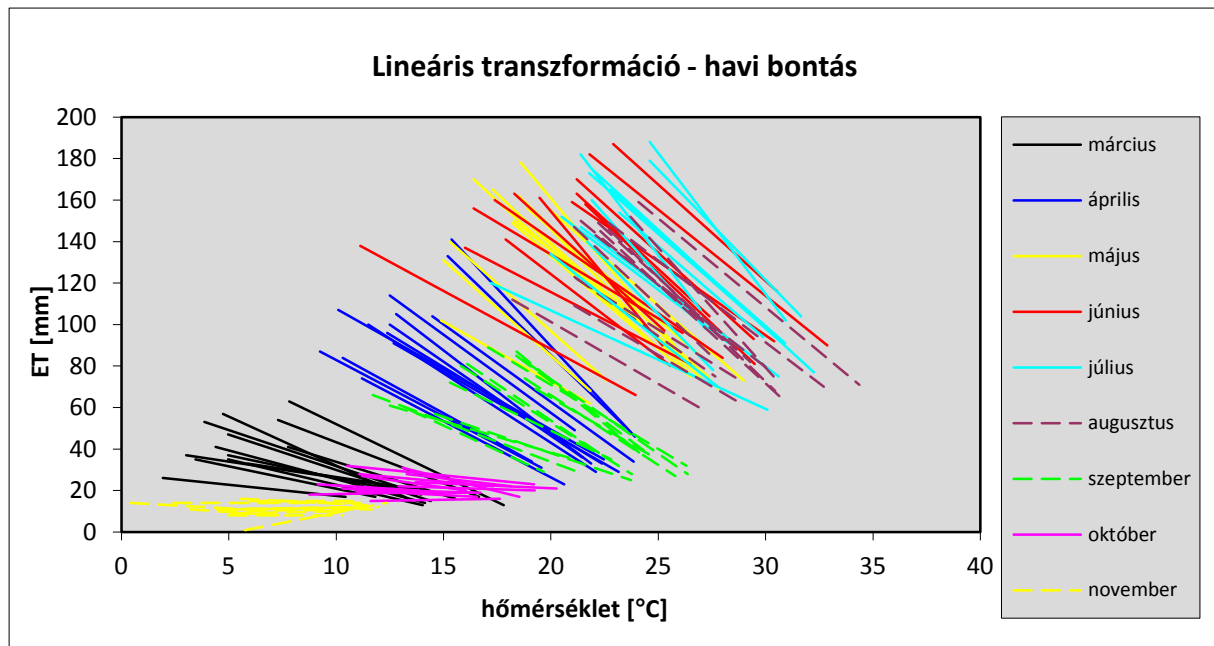
- (T_s) nappali felszíni hőmérséklet - MODIS nappali felszíni hőmérsékletadatok, a tótól nyugatra fekvő cellák átlaga
- (E_T) területi párolgás - Morton WREVP módszerből számolt párolgásértékek
- (T_{ws}) nedves pontok átlaghőmérséklete (hideg pont) – MODIS nappali felszíni hőmérsékletadatok, a tótól keletre fekvő területek leghidegebb pontja
- (E_{TW}) nedves környezeti párolgás - Morton WREVP módszerből számolt párolgásértékek

Az átlagoláshoz felhasznált nyugati cellák kiválasztásakor meghatározó volt, hogy a Morton WREVP programmal is e cellákra számoltunk párolgást – mivel az elérhető mérőállomások hidrometeorológiai adatai a vízgyűjtő nyugati területéről származnak – továbbá, hogy a tótól keletre fekvő területek mérete a nyugatihoz képest elhanyagolható.

A korábban elvégzett magassági korrekció miatt realisabb képet kapunk a hegyvidéki területek párolgásáról, azonban a valamelyest eltérő meteorológiai adottságok miatt a hideg

pontok kiválasztásakor a vízgyűjtő, tóval csökkentett területének azon részét használtuk fel – fókuszálva az átlagosnál többet párologtató nádassal borított területekre – amelyek magassági értékei a tó szintjétől nem térnek el jelentősen.

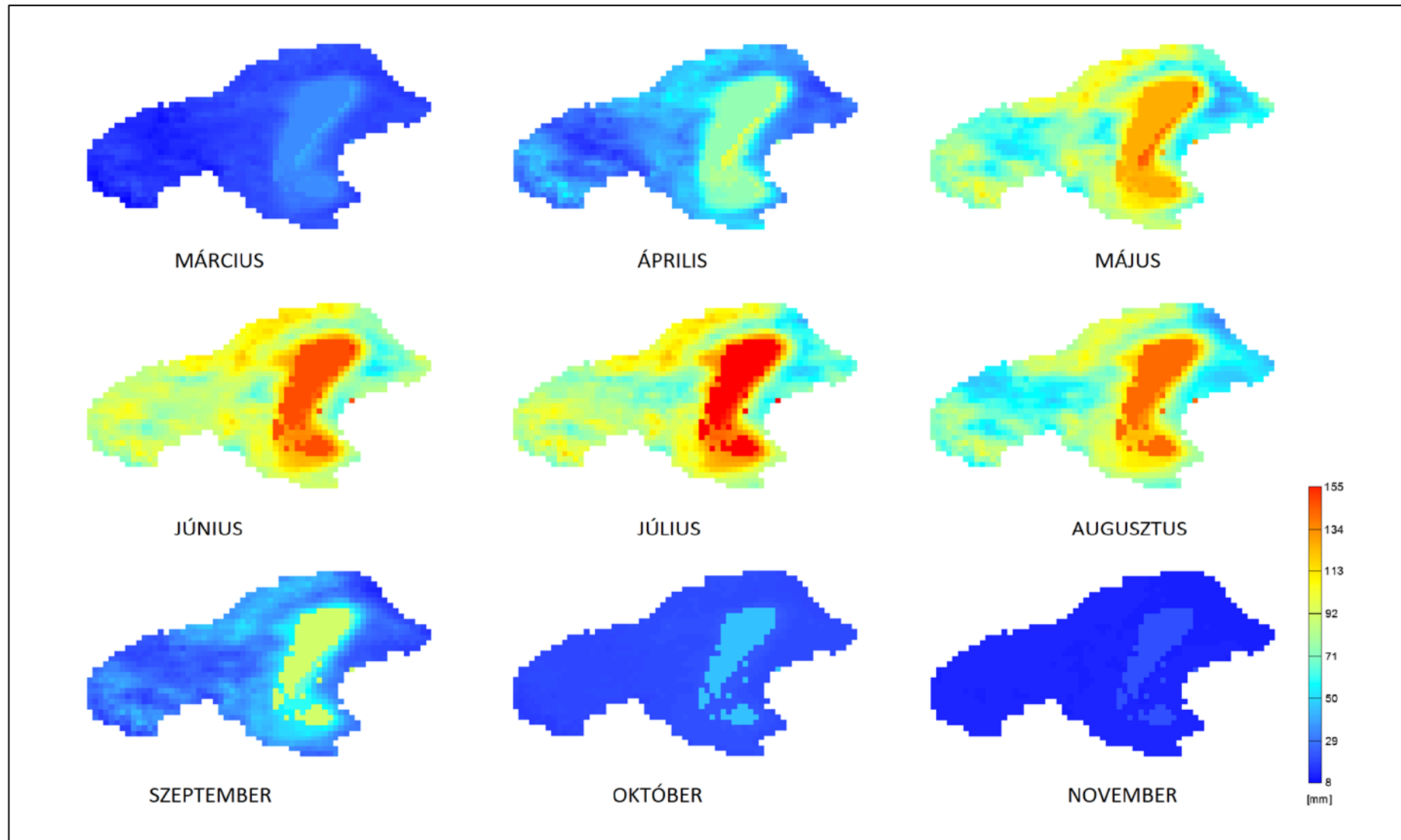
Az egyenlet felállítását a 13 év minden hónapjára elvégeztük (29. ábra), majd havi átlagokat, éves összegeket, és 13 éves átlagot képeztünk. Mivel csak 2000 márciusától áll rendelkezésünkre MODIS adat, ezért a 2000. januári és februári párolgásértékeket a Morton alapján számolt értékekkel helyettesítettük. (Ez a számításban nem okoz hibát.)



29. ábra: Lineáris transzformáció egyenletei

3.3.5.1. Havi átlagok

A területi párolgások havi átlagának meghatározásakor, a MODIS felszíni hőmérsékletadatokat csak a mértékadó március-november intervallumban használtuk fel, ugyanis a téli időszakban előforduló részlegesen havas felszín kedvezőtlenül befolyásolja az albedót. A novembertől februárig tartó időszakra, valamint a tó párolgásra Morton programmal számolt értékeket használtunk fel, mely megfelelő eredményt ad a téli hónapokra, és a tó párolgásra egyaránt. Fontos megemlíteni, hogy a párolgás döntő része a nyári időszakban zajlik, emiatt a téli hónapok értékei nem mérvadóak, azonban a legpontosabb közelítés miatt ezeket is figyelembe vettük.

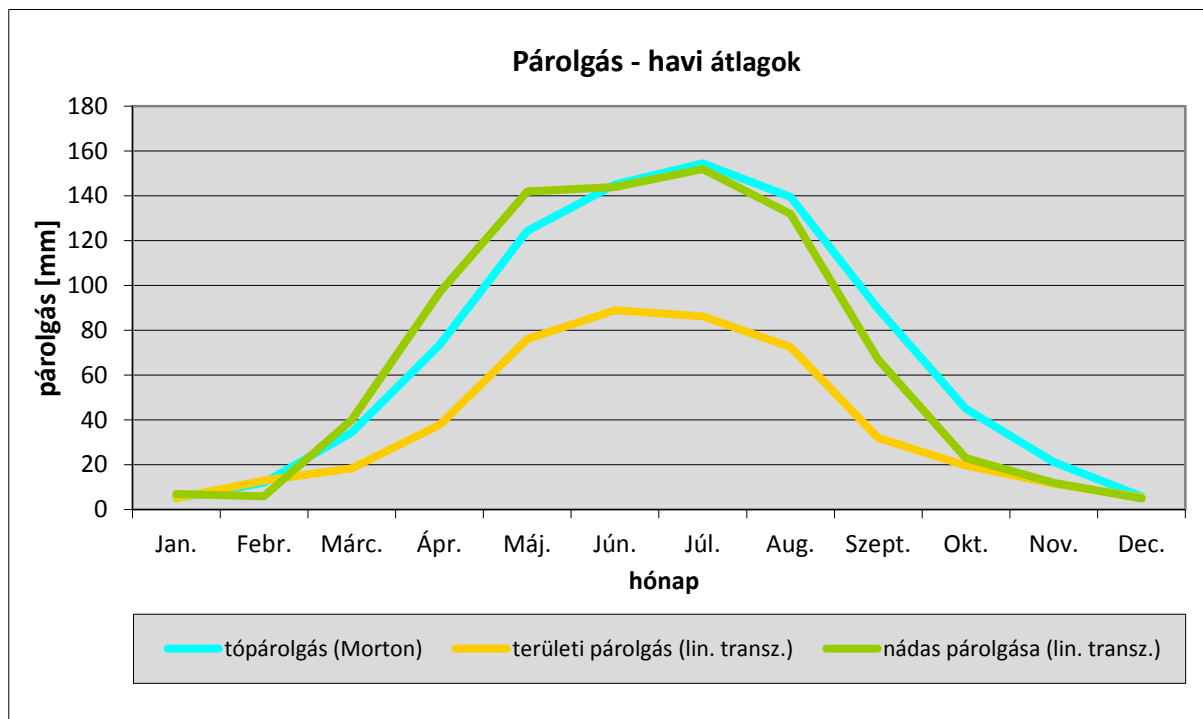


30/a. ábra: Párolgás – havi átlagok

A 30/a. ábra alapján kijelenthetjük, hogy a legtöbbet minden hónapban a vízfelület párologtatja, mellyel a nyári hónapokban nagyjából azonos értéket adnak a nádassal fedett területek. A legkisebb párolgás a vízgyűjtőterület maradék részéből adódik.

Az őszi nádelszáradás már szeptember hónapban elkezdődik, mely magyarázza, miért párologtat szeptembertől kezdve egyre kevesebbet a nádas.

A tavaszi hónapokban a tó keleti oldalán elhelyezkedő nádas párolgása adja a legmagasabb értékeket. Az uralkodó ÉNy-i szél által keltett vízmozgások során bekeveredhet a tó közepéről érkező hűvösebb víztömeg a nádas közé, továbbá a tó e részén a legnagyobb a vízmélység, ezért feltételezhető lenne, hogy ez részben magyarázata a jelenségnek. Azonban a MODIS képek nem támasztják alá ezt teljes mértékben, így ennek a pontos magyarázata további – akár áramlástan – vizsgálatokat igényel.



30/b. ábra: Párolgás – havi átlagok

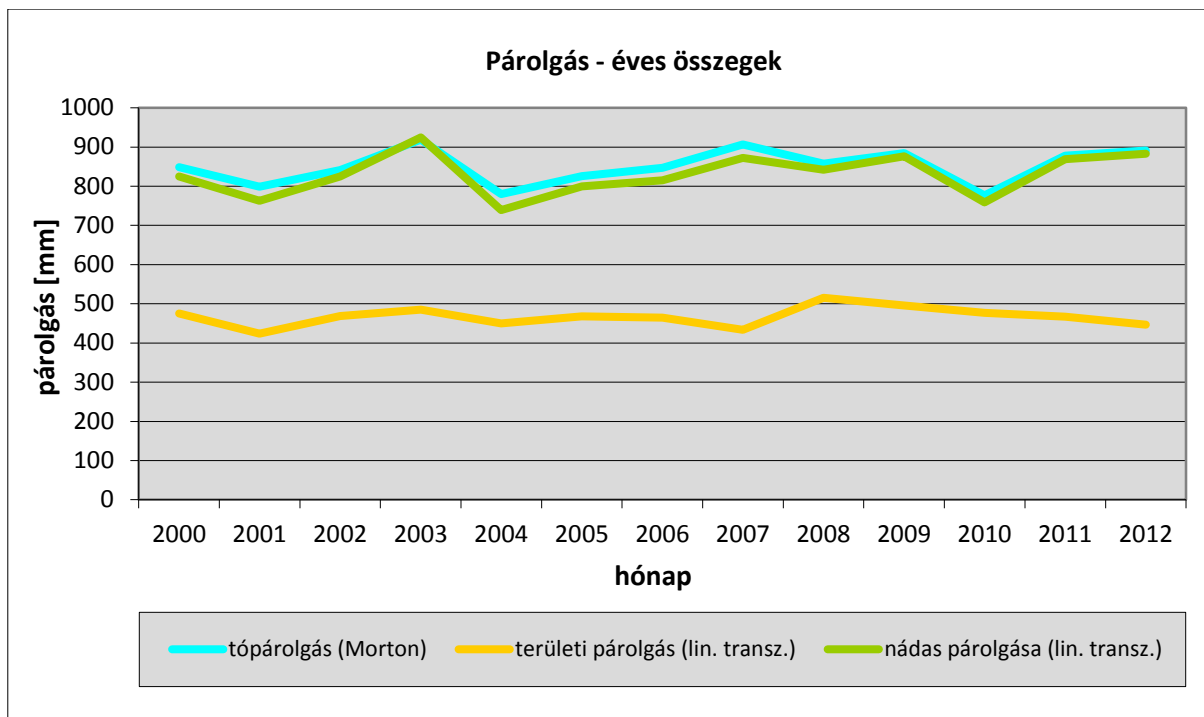
A 30/b. ábrán ábrázoltuk a 13 év havi párolgásátlagait, melyen feltüntettük a Morton alapján számolt tó párolgást is.

3.3.5.2. Éves összegek

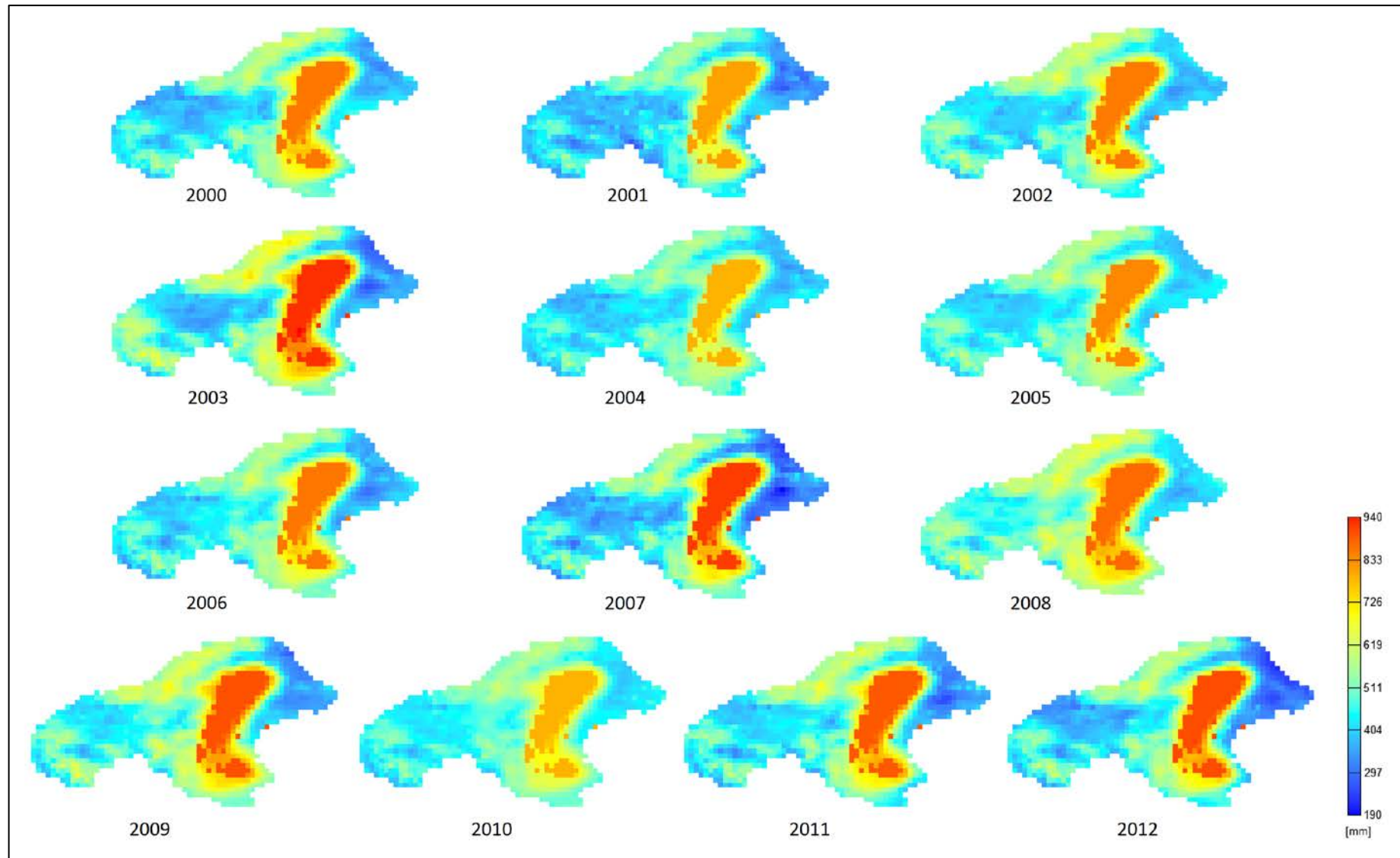
A 2000-től 2012-ig tartó időszak vizsgálata során, a tó, a nádas és a fennmaradó terület párolgása a havi értékek eloszlásának megfelelően alakul. (31/b. ábra)

A 2004 és 2010-es évek során a többi évnél nagyjából 150 mm-el kisebb párolgást kapunk, melynek oka az említett évek hűvös, csapadékos nyári időjárásának tudható be, amik a mérőállomások által mért hidrometeorológiai értékeken, valamint a MODIS műholdképeken is észrevehetőek.

A konkrét párolgásértékek alakulása a 31/a. ábrán is bemutatásra kerül, melyen szintén észrevehető a kiugróan alacsony értéket adó 2004-es év (nádas: 739 mm, tó: 780 mm, területi: 450 mm) és a 2010-es év (nádas: 759 mm, tó: 777 mm, területi: 471 mm). A két évnél csak néhány mm-rel kapunk magasabb értéket 2001-ben, azonban a 13 éves átlag jóval magasabb értékeket ad. (Ezt a 3.3.5.3. 13 éves átlag fejezetben számszerűsítjük.)



31/a. ábra: Párolgás – Éves összegek



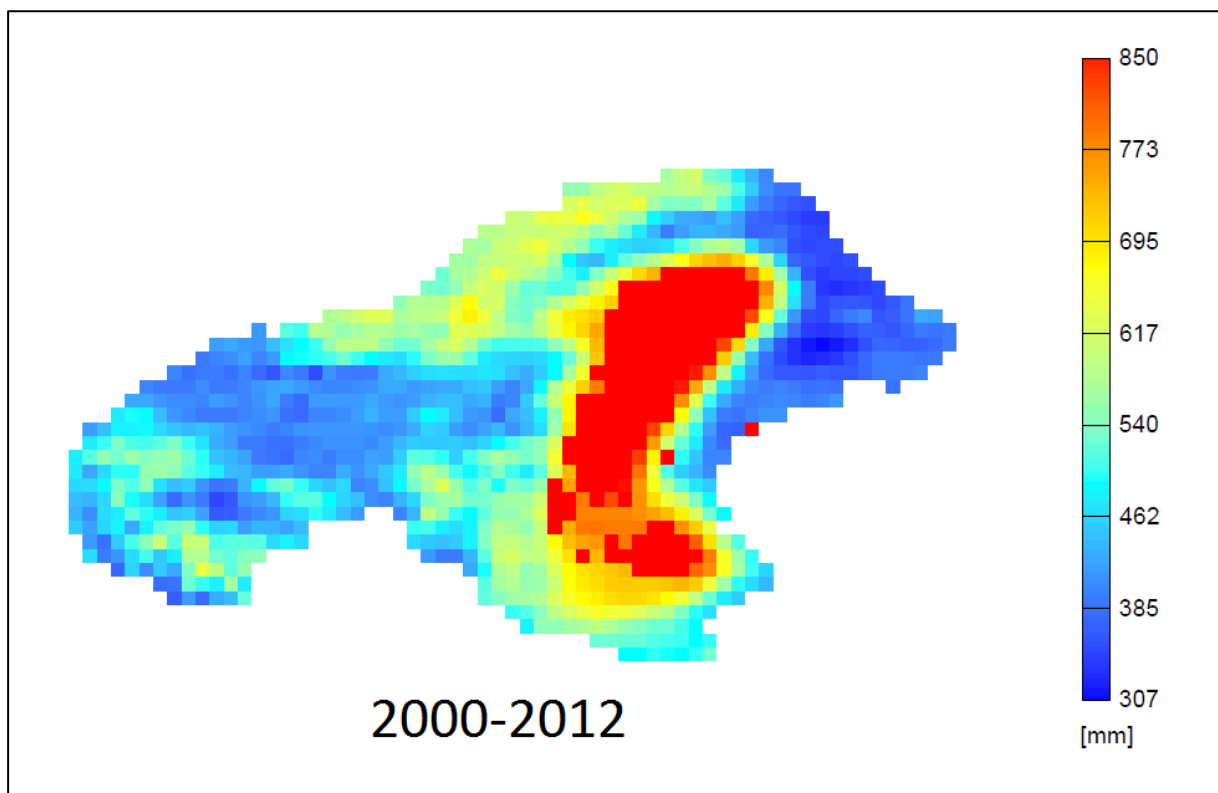
31/b. ábra: Párolgás – Éves összegek

3.3.5.3. 13 éves átlag

A vizsgált 13 év átlagát véve megállapítható, hogy a legtöbbet a tó párologtatja (850 mm-t, Morton alapján), ezt követik a legintenzívebben párologtató nádassal fedett, a nyílt vízfelszínhez közeli területek (830 mm), majd a területi párolgás (467 mm).

Ahogy a 26. ábrán is bemutattuk, a nádassal borított felületek esetében jelentős hőmérsékleti eltérések adódnak, valamint a növényzeti lefedettség sem teljesen homogén, melynek eredményeképp a nem legintenzívebben párologtató nádas rész párolgásátlaga 638 mm-re adódik.

A területi párolgás esetében a legmagasabb értékek korrekció után is a hegyvidéki területeken adódnak, míg a legalacsonyabbak a tótól keletre fekvő területeken. (32. ábra)



32. ábra: Párolgás – 13 éves átlag

4. EREDMÉNYEK ELEMZÉSE

A vízmérleg illetve a lineáris transzformáció által meghatározott párolgások az alábbi táblázatban vannak összefoglalva.

	tópárolgás	területi párolgás	nád	
	[mm]	[mm]	[mm]	
vízmérleg	850	466	878	
lineáris transzformáció	850	467	638	830
			összes cella	leghűvösebb nádas

Előző kutatásunkban bebizonyosodott, hogy a topárolgás becslésére Morton programja adja a legmegbízhatóbb eredményt, ezért mindkét esetben a WREVAP által számolt értéket vettük alapul (Baros-Szabó-Zsoldos, 2011).

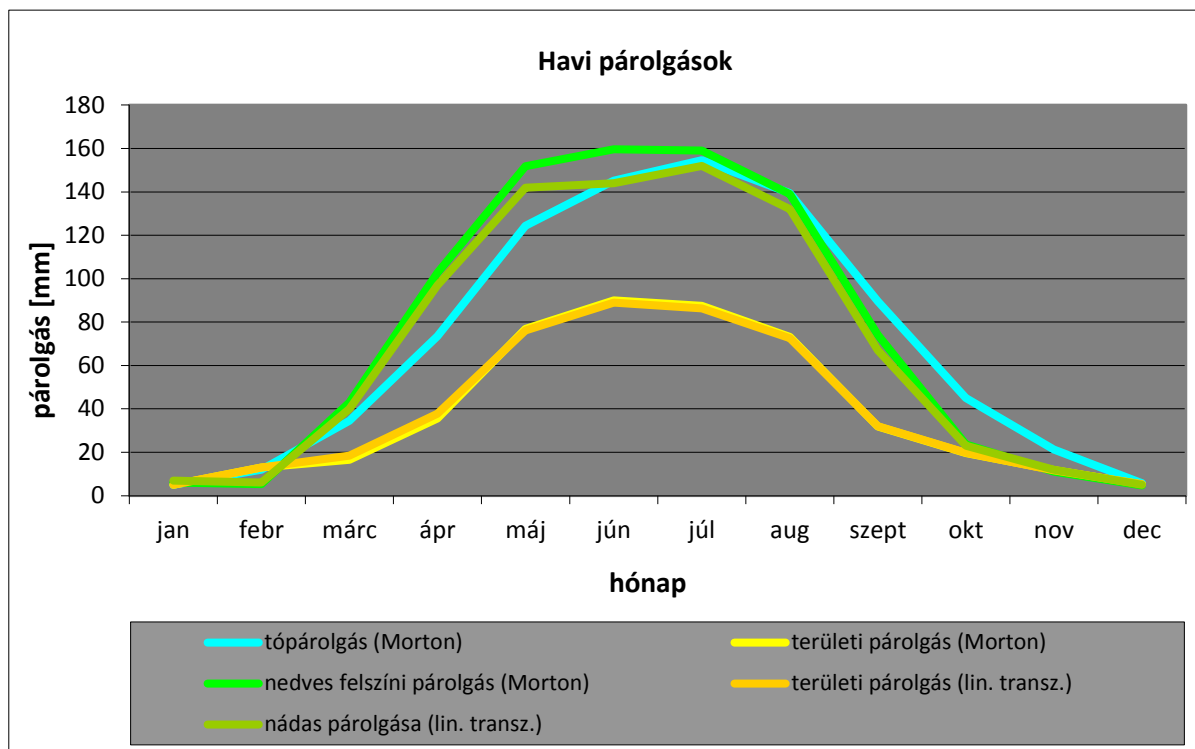
A területi párolgás esetén mindössze 1 mm eltérés adódott a két érték között. Ez lényegében elhanyagolható különbség, így a lineáris transzformáció által bizonyítható, hogy a vízmérleg alapján történő területi párolgásbecslés megfelelő eredménnyel szolgál a Fertő tó vízgyűjtőjének esetében.

A nádas párolgásának értékei között már a leghűvösebb nádas cellákra nagyobb, 20 mm az eltérés. A különbség még így is 6 %-on belül van. Ennek ellenére a vízmérleg által becsült nádpárolgást fenntartással kezeljük, hiszen szakirodalmi információk alapján a tó és a nádas párolgásának közel azonosnak kéne lennie, valamint a lineáris transzformáció eredményeként adódó érték már egy módosított párolgás.

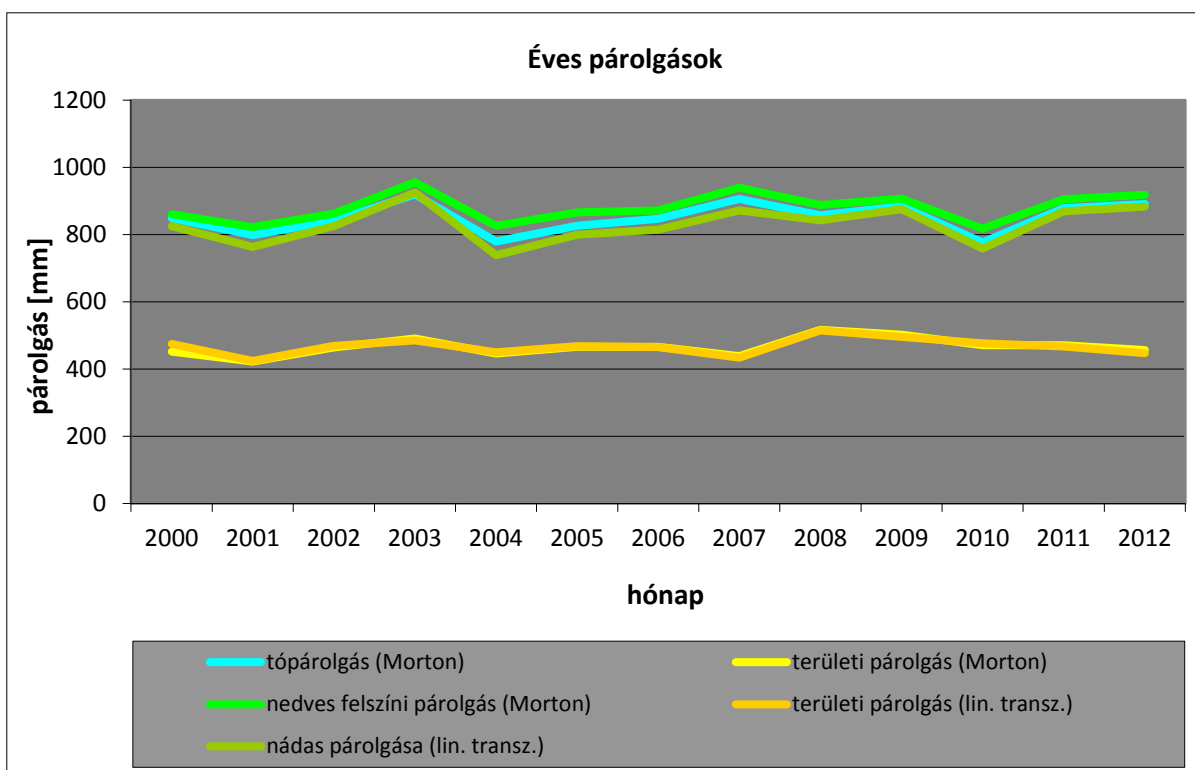
Ezen eltéréstől függetlenül a tó és nádas rész együttes párolgására a vízmérlegből 866 mm/év adódott, mely alig pár mm-rel tér el az ÉDUVÍZIG által más módszerrel meghatározott párolgástól, ami 872 mm/év.

Az összesített havi párolgások grafikonján (33. ábra) látható, hogy a fent említett területi párolgás értékei közti egyezések az egész évre jellemzőek. A nádas párolgásánál megfigyelhető, hogy a nyári hónapoknál van eltérés, míg az év többi részében az értékek közel esnek egymáshoz. A topárolgás adatai alapján itt is láthatjuk, hogy a tónak van egy minimális hőtározása sekély mivolta ellenére.

A 34. ábra értékein észrevehető, hogy a nádas illetve topárolgás mennyivel érzékenyebben reagál a felhasznált adatok változására. Példaként említhető a 2010-es év, amikor is az alacsony átlaghőmérséklet, harmatpont és napfénytartam, valamint magas csapadék hatására a 13 éves intervallum legkisebb tó- és nádpárolgás értékeit kaptuk, míg a területi párolgás nem változott olyan mértékben.



33. ábra: Összesített havi párolgások



34. ábra: Összesített éves párolgások

KONKLÚZIÓ ÉS JÖVŐBELI KITEKINTÉS

- Kutatásunk során egy olyan új és egyedülálló módszert mutattunk be, melyben a vízgyűjtőterület párolgásából kiindulva határoztuk meg a tó és a nádas párolgását. A módszer egyik nagy előnye, hogy a szükséges adatok bárki számára hozzáférhetőek, valamint ezek feldolgozásához használhatjuk a Morton WREVP programot, mellyel reális, megbízható eredményeket kaphatunk. Reményeink szerint módszerünk más kutatásoknál is hasznosulhat.
- A Morton programmal végzett számításaink alátámasztására a CREMAP területi párolgásmodellt alkalmaztuk, mely a lineáris transzformáción alapszik. A lineáris transzformációhoz szükséges felszíni hőmérsékleteket az újszerű, és szintén ingyenes MODIS műholdképek alapján határoztuk meg, így megismerhetjük a párolgás térbeli eloszlását.
- A Morton programmal számolt 13 éves párolgásértékek során a tó párolgásra 850 mm-t, a nedves környezeti párolgásra 880 mm-t, a területi párolgásra 466 mm-t kaptunk.

A CREMAP modellel a területi párolgásra 467 mm, a legintenzívebben párologtató nádasra 830 mm, míg a nehezen lehatárolható, vegyesebb felszínborítású nádasra 638 mm adódott.

- A tó párolgásra kapott 850 mm-es érték, a nedves környezeti párolgásra számolt 880 mm, valamint a legintenzívebben párologtató nádasra kapott 830 mm-es érték is kiválóan alátámasztja az ÉDUVÍZIG által a tó és nádasra együttesen, vízmérlegből becsült 872 mm-es eredményt.

A magyar eredményeknél lényegesen alacsonyabb becslést adtak az osztrák szakemberek (kb. 720mm), mely alapján tévesen arra következtethetnénk, hogy a tó jövőjét nem fenyegetheti vízhiány, nem merülhet fel a vízutánpótlás kérdése.

Bár a Fertő tó esetében nem ismeretlen a vízutánpótlás kérdése, sok ellenzője van ennek a lehetőségnek, mondván, az nem lenne jó az ottani faunának és flórának.

A Fertő tó múltja, és a szélsőséges időjárási viszonyok mellett nem tartjuk kizártnak, hogy néhány évtized múlva akár évekre újra kiszáradjon a tó, ezért szerintünk a megfelelő kérdés az, hogy mi a nagyobb katasztrófa az ottani élővilágnak: vízutánpótlás, vagy a totális kiszáradás?

- Munkánknak ez által nem csak elméleti, hanem gyakorlati haszna is van, ugyanis további kutatásokkal párolgás előrejelzést lehetne kidolgozni, melyet leginkább az aktuális párolgásra és a vízhőmérséklet alakulására alapoznánk. Egy ilyen módszer segítségével lehetőség nyílna megelőzni az esetlegesen felmerülő vízhiányt vagy kiszáradást.
- A vízmérleg alapján számolt nádas terület párolgása (878 mm/év) és a lineáris transzformációval meghatározott nedves környezeti párolgás (638 mm/év) között jelentős eltérést tapasztalhatunk. Ennek oka további vizsgálatokat indukál, mely a jelenlegi kutatásunkon túlmutat, azonban feltételezéseink jó alapot szolgáltathatnak a kutatásokhoz.

Az eltérés egyik oka lehet, hogy a jelenlegi legfinomabb 1x1 km-es MODIS cellákhoz igazított Corine CLC felszínborítási kép elég felületes közelítés. Bár a CLC részletesebb képet tud adni az adott terület növényzetéről, csak finomabb felbontású MODIS képekkel lehetne pontosítást végezni.

A lineáris transzformációval meghatározott evapotranszspiráció értéke alapján felmerülhet a kérdés, hogy az általunk felállított vízmérleg egyenletet nem szükséges-e kiegészíteni az elszivárgással is. Amennyiben a vízgyűjtőterületen nettó regionális talajvíz elszivárgás jelen van, az kellő mértékben befolyásolná az eredményeket, mivel a laterális talajvíz kifolyás (kizárásos alapon) csak a nádas párolgását módosítaná. Tegyük fel, hogy csak 10-20 mm a nettó talajvíz transzport értéke, ez – a területek aránya miatt – már megmagyarázná a párolgások közti eltérést, hiszen a nádas területe körülbelül 1/6-a a vízgyűjtőnek, így hatszorosára növekedne az elszivárgás hatása, mely nagymértékben csökkentené a különböző módon számított párolgások közti különbséget.

Szakirodalmi adatok alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a vízmérleg általi párolgásszámítás, bár nem nagymértékben, de magasabb értéket ad a nádas várható evapotranszspirációjára. Számításaink eredményeként azt vártuk, hogy a MODIS alapján meghatározott párolgás a vízmérleg egyenlet maradék tagjaként adódó nádas párolgás értékét megközelíti, ennek ellenére elég nagy eltérés tapasztalható a két érték között, így ennek pontosítása tovább vizsgálatokat igényel.

IRODALOMJEGYZÉK

- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R.,** 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-model. *J. Irrig. Drainage Eng.* 133(4), 380–394.
- Baros T., Szabó B., Zsoldos Á.,** 2011. A Fertő tó és vízgyűjtőjének párolgástérképezése MODIS műholdképek segítségével, OTDK dolgozat.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M.,** 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *J. Hydrol.* 212, 198–212.
- Bouchet,** 1963. A párolgás komplementáris elmélete, *Annual.Agronom.*14,543-824.
- Hobbins, M.T., Ramirez, J.A., Brown, T.C.,** 2001a. The complementary relationship in estimation of regional evapotranspiration: An enhanced advection-aridity model. *Water Resour. Res.* 37(5), 1389–1403.
- Kalmár I.,** 1982. A Fertő tó vízrajza (Kováts, Kozmáné Tóth, szerk.), OMSZ, Budapest.
- Kovács Ákos Domonkos,** 2011. Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai, PhD disszertáció, BME.
- Kutrucz Gy., Pannonhalmi M., Némethné Deák I., Kovács., Keserü B., Tóth I.,** 2010. A Fertő tó vizsgálatának jelene és jövője
- Morton, F.I.,** 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration, *J.Hydrol* 66, 1-76.
- Morton, F.I., Ricard, F., Fogarasi, S.,** 1985. Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – Program WREVAP, NHRI 24, Ottawa.
- Pannonhalmi M.,** A Fertő-tó vízgazdálkodása, *Vízügyi közlemények*, 1999. (81. évf.) 2. sz.
- Szilágyi, J., Józsa, J.,** 2009b. Estimating spatially distributed monthly evapotranspiration rates by linear transformations of MODIS daytime land surface temperature data. *Hydrol. Earth System Sci.* 13(5), 629–637.
- Szilágyi, J., Kovács, Á.,** 2011. A calibration-free evapotranspiration mapping technique for spatially-distributed regional-scale hydrologic modeling, *J.Hydrol. Hydromech.* 59(2), 118-130.