

HIDRAULIKUS ÁRAMLÁSI RENDSZEREK LEHATÁROLÁSA SEKÉLY FELSZÍN ALATTI VIZEK VÍZSZINT-IDŐSORAINAK STATISZTIKAI ELEMZÉSE ALAPJÁN

Szalai József³, Garamhegyi Tamás¹, Hatvani István Gábor^{2,*}, Kovács József¹

¹ ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

² Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézete

³ Országos Vízügyi Főigazgatóság

KIVONAT

Az Alföldön, a hidrometeorológiai események által vezérelt és befolyásolt felszínközeli és felszín alatti vízkészletek pótolhatatlanok voltak évszázadokon át a helyi ökoszisztémák, a mezőgazdaság és részben a gazdasági célú vízigények kielégítése szempontjából. Ugyanakkor ezek a vízkészletek a legérzékenyebben az éghajlat ingadozására, változására is.

A Duna-Tisza köze a Kárpát-medence egyik legsajátosabb adottságokkal rendelkező tájegysége. Vízháztartásában az 1970-es évek elejétől kezdődően az 1990-es évek közepéig jelentős térbeli különbségeket mutató kedvezőtlen változások zajlottak le. E változások értékelése és elemzése a sekély felszín alatti vizek szintjének alakulását figyelő kutakban mért vízszint-adatok alapján lehetséges.

A Duna-Tisza köze területe sekély felszín alatti vizei idősorainak többváltozós elemzése és a geometematikai módszerek együttes alkalmazásával lehetőség nyílt a térségben a be- és kiáramlási zónák lehatárolására, valamint a szárazodásra legérzékenyebb területrészek feltárására. Ez a tanulmány Garamhegyi et al. (2020) munkájának összefoglalása és kiegészítése, mely a Duna-Tisza köze területének mintegy 8 000 km² területrészére kiterjesztett, a sekély felszínalatti vízszintek hosszútávú, tér- és időbeli változásaira vonatkozó adatelemző vizsgálatokat részletesen ismerteti.

A vizsgálatok bemenő adatállománya 190, a sekély felszín alatti víz mennyiségi monitoring-állomásának 50 éves (1961-2010) idősora volt. Az adatsorok elemzése alapján három, egymástól szignifikánsan elkülönülő területrészeket lefedő klasztercsoport vált elkülöníthetővé (4. ábra).

Ezek az eredmények lehetővé tették az elkülönülő területrészekben a sekély felszín alatti vizek vízszint-átlagainak, valamint a vízszint-idősorok egyedi trend-, valamint a lokális meteorológiai változókkal (csapadék, párolgás, ...) való kapcsolatrendszerének vizsgálatát, végső soron a rezsim-jellemzők meghatározását.

Ezt követően kerülhetett sor a sekély felszín alatti vizek vízszint-változásai térbeli jellemzőinek lehatárolására, valamint a be- és kiáramlási zónák elkülönítésére. Megkülönböztethetővé vált a gravitáció által vezérelt áramlási rendszer és a mélyebben elhelyezkedő, túlnyomásos áramlási rendszer kiáramlási zónája is.

A trendvizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a rendelkezésre álló vízszint-adatsorok trendjei szignifikánsak ($p < 0,05$), a vizsgált 50 évben a vízszint-csökkenés a beáramlási zónában ($-0,042 \text{ m év}^{-1}$), a túlnyomásos, kiáramlási zónában ($0,009 \text{ m év}^{-1}$) volt, a terület fennmaradó részén pedig jelentéktelenek ($-0,005 \text{ m év}^{-1}$) tekinthető.

A Duna-Tisza köze területén a sekély felszín alatti vizek szintjében mutatkozó változások elemzését és okainak feltárását számos tanulmány tűzte ki célul, ezért kézenfekvő volt, hogy az elvégzett vizsgálatok eredményei azokkal összevetésre kerüljenek (6. ábra). Megállapítható volt, hogy a jelen vizsgálatok és a korábbi tanulmányok eredményei megegyeznek, azonban egyértelművé vált, hogy a statisztikai alapon nyugvó módszerekkel a korábbiaknál finomabb térbeli felbontású lehatárolás adható a rezsimterületekről.

Emellett, a sekély felszín alatti vizek szintjének alakulásában a vizsgált, az 1961-2010 közötti időszakban mutatkozó trendeket vezérlő éghajlati folyamatok azonosításával igazolhatóvá vált a beáramlási zóna sérülékenysége, valamint az is, hogy a túlnyomásos áramlási rendszer a vizsgált időszakban a csapadéktrendektől független volt.

KULCSSZAVAK: Duna-Tisza köze, sekély felszín alatti víz, áramlási rendszer, beáramlási terület; kiáramlási terület; túlnyomásos zóna; klímaváltozás, többváltozós adatelemzés.

BEVEZETÉS

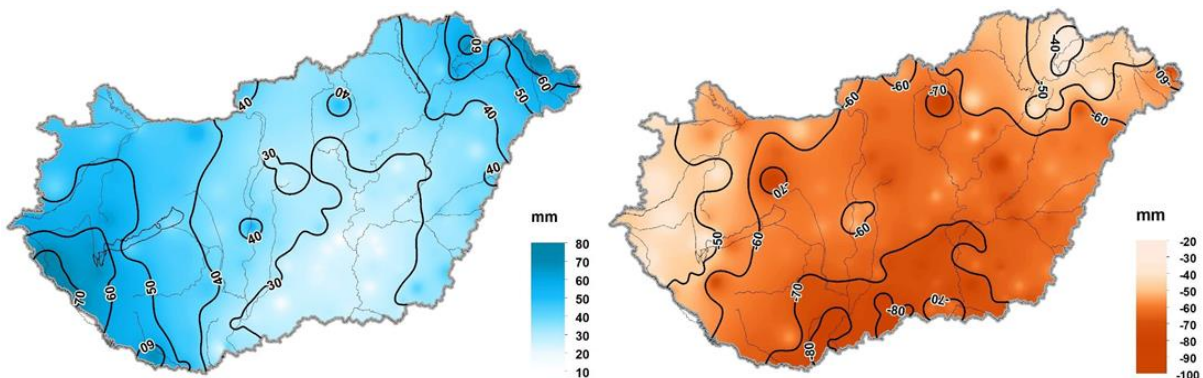
A Duna-Tisza köze a Kárpát-medence egyik legsajátosabb adottságokkal, csaknem minden természetes tájhatárán vízfolyásokkal lehatárolható tájegysége. További egyedi sajátosság, hogy elhelyezkedése, domborzati jellemzői, valamint kiterjedése miatt állandó, természetes vízfolyással nem rendelkezik, vízmérlegében a bevétel csaknem kizárólag a területére érkező csapadékból származik.

Vízháztartásában az 1970-es évek elejétől kezdődően az 1990-es évek közepéig jelentős térbeli különbségeket mutató kedvezőtlen változások zajlottak le (Ladányi-Rakonczai, 2009, Kovács et al. 2010, Ladányi, 2011.) Ezek a kedvezőtlen változások elsősorban a sekély felszín alatti vízkészletek csökkenésében, illetve annak indikátorában a vízszintek süllyedésében mutatkoztak meg. A sekély felszín alatti vízkészletek csökkenésében, azok utánpótlódásában bekövetkezett kedvezőtlen változások egyik szembetűnő jele volt a térség deflációs tavai számottevő részének részbeni vagy teljes kiszáradása, valamint a terepbejárások tapasztalatai alapján az egykori tómedrek jelentős mértékű, helyenként visszafordíthatatlan átalakulása (Szalai et al. 2021). Ikonikus példaként említhető a huszadik század első felében még élénk fürdőélettel rendelkező Kun-Fehér-tó, ami mára teljesen elvesztette a vízkészletét, s az 1960-1980-as években kialakult üdülőttelep strandja az egykori tómeder egy részletében mesterségesen fenntartott víztestként üzemel.

A szikes tavak vízkészletének pótlásában betöltött meghatározó szerepe mellett a sekély felszín alatti vízkészlet nemcsak az ökoszisztémák vagy a mezőgazdaság számára jelentett, illetve jelent fontos vízforrást, de évszázadokon át az ivóvízellátásban is nélkülözhetetlen volt. Az Alföldet egykor jellemző, bár változó sűrűségű, de kiterjedt tanyahálózat és a kapcsolódó gazdaságok fenntartása – különösen a vízrendezéseket követően – helyenként csak és kizárólag, máshol elsődlegesen a sekély felszín alatti vízkészletekre támaszkodhatott (Szalai, J. et al. 2021). Mindezekben túlmenően, a sekély felszín alatti vizek készletváltozása napjainkban is a Duna-Tisza köze – ha nem az egész ország – egyik legfontosabb vízgazdálkodási kérdése.

Az olyan rendkívül aszályos évek, mint amilyenek az elmúlt évtized egyes éveiben tapasztalhatók voltak, vagy 2020 aszályos tavasza, 2022 első negyedévének „téli aszálya” ráirányítják a figyelmet a huszadik század második felében lezajlott folyamatok lehető legpontosabb megismerésének, elemzésének fontosságára.

A 2022. évi „téli aszály” okaként, a 2022. január-március hónapok csapadékviszonyait és a sekély felszín alatti vizek szintjének alakulását az *Integrált vízháztartási tájékoztató, operatív aszály és vízhiány-értékelés* (IVHTE, 2022 április) alábbi térképei szemléltetik:



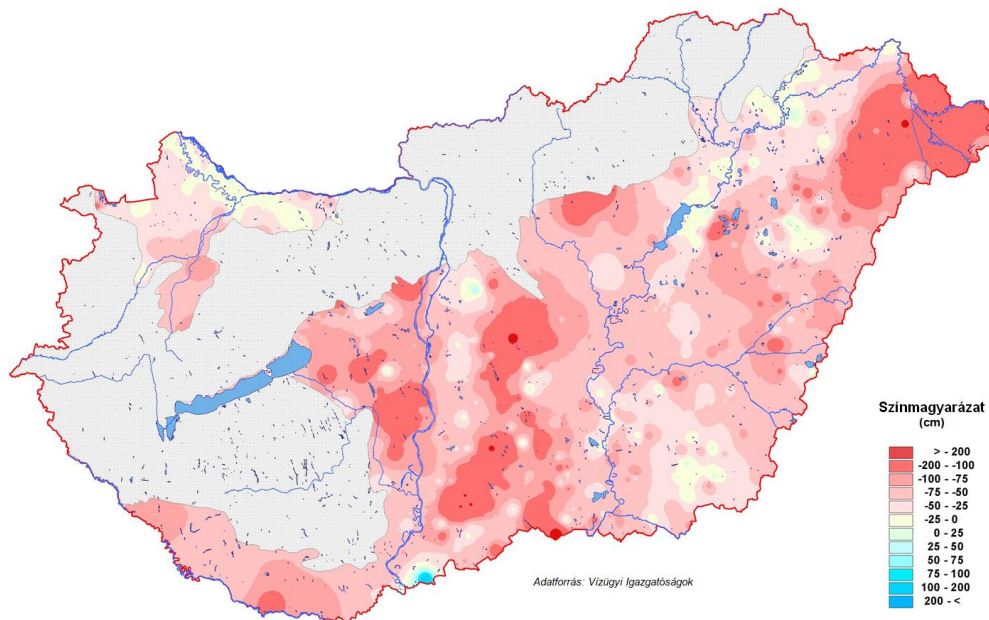
1. ábra. A 2022. január-március hónapok csapadékösszegének területi eloszlása

(A bal oldali térkép a 2022. január-március hónapok csapadékösszegének területi eloszlását, a jobb oldali pedig a 2022. január-március hónapok csapadékösszegének az átlagtól (1991-2020) való eltérése területi eloszlását szemlélteti) (www.vizugy.hu)

Az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Vízügyi Igazgatóságok által gyűjtött adatok felhasználásával szerkesztett térkép alapján megállapítható, hogy az Alföld északkeleti részén – a Nyírség, a Bodrogköz, a Hajdúság és a Hortobágy északi peremvidéke kivételével – 40 mm-nél kevesebb csapadék hullott 2022 első negyedében (1. ábra, bal oldali térkép). A Duna-Tisza köze északi tájrészletein és délkeleti felén, valamint a Tiszántúl délnyugati részén még ennél is kedvezőtlenebbül alakultak a csapadékviszonyok. Ezekben a térségben az első negyedévi csapadékösszeg kevesebb volt, mint 30 mm!

A január-március időszak sokévi (1991-2020) átlagos csapadékösszegével összehasonlítva (1. ábra, jobb oldali térkép) megállapítható, hogy az ország területének számottevő részén 50 mm-nél több volt az eltérés, vagyis a csapadékhiány. Ezen belül a Duna-Tisza köze déli részén, a Körös-Maros köze nyugati peremvidékén, Tolna és Baranya megye keleti tájain 70 mm, helyenként 80 mm-nél is több csapadékhiány mutatkozott.

A csapadékhiány következtében a felső talajrétegek nedvességtartalma is kritikus szintre csökkent, ennek következtében azoknak, illetve a vegetációs időszak kezdeti feltételeinek meghatározásában kulcsfontosságú sekély felszínalatti vizek téli utánpótlódása megszakadt. Az 1991-2020 közötti időszak március havi átlagos és a 2022. március havi közepes szintje különbségének területi eloszlását a 2. ábra szemlélteti. Megállapítható, hogy egy-két részterület kivételével valamennyi síkvidéki területen a viszonyítási időszak átlagértékénél alacsonyabban helyezkedett el a sekély felszín alatti víz. A Duna-Tisza köze területén a legnagyobb (100-200 cm, helyenként azt meghaladó) eltérések a hátsági térszíneken, azaz a beáramlási zónában fordultak elő. Az eltérés mértéke a Hátság peremterületei felé csökkent, a völgsíkokon pedig helyenként csak 25-50 cm volt. Megkülönböztetett figyelmet érdemel Kelebia és Ásotthalom térsége, ahol szintén jelentős eltérések mutatkoztak. Ugyanakkor a Dunamenti-sík egyes térségeiben (Csepeli-sík, Solti-sík egyes községei) csak kisebb, 25-50 cm eltérések alakultak ki.



2. ábra. A sekély felszínalatti vizek 1991-2020 közötti időszak március havi átlagos és a 2022. március havi közepes szintje különbségének területi eloszlása

Mindez ráirányítja a figyelmet számos más mellett azokra a kutatásokra – közöttük Kovács et al. 2010, Szalai, J. et al. 2011, Garamhegyi et al. 2018, Trásy et al. 2018. – amelyek sorába Garamhegyi és munkatársai tanulmánya is tartozik (Garamhegyi et al. 2020), s amelyek eredményei az alkalmazott kutatási eljárások és módszerek révén lehetővé teszik a Duna-Tisza

köze területén lezajlott, illetve napjainkban is zajló különböző folyamatok által érintett térségek differenciált területi lehatárolását és elkülönítését, továbbá a háttértényezők azonosítását (Kovács et al. 2010, Szalai, J. et al. 2011, Trásy et al. 2018, Garamhegyi et al. 2018, Magyar et al. 2021.). A *Garamhegyi et al. 2020* tanulmánynak a magyar nyelvű összefoglalása és kiegészítése olvasható az alábbiakban.

A KUTATÁSI TERÜLET ÁTTEKINTŐ ISMERTETÉSE

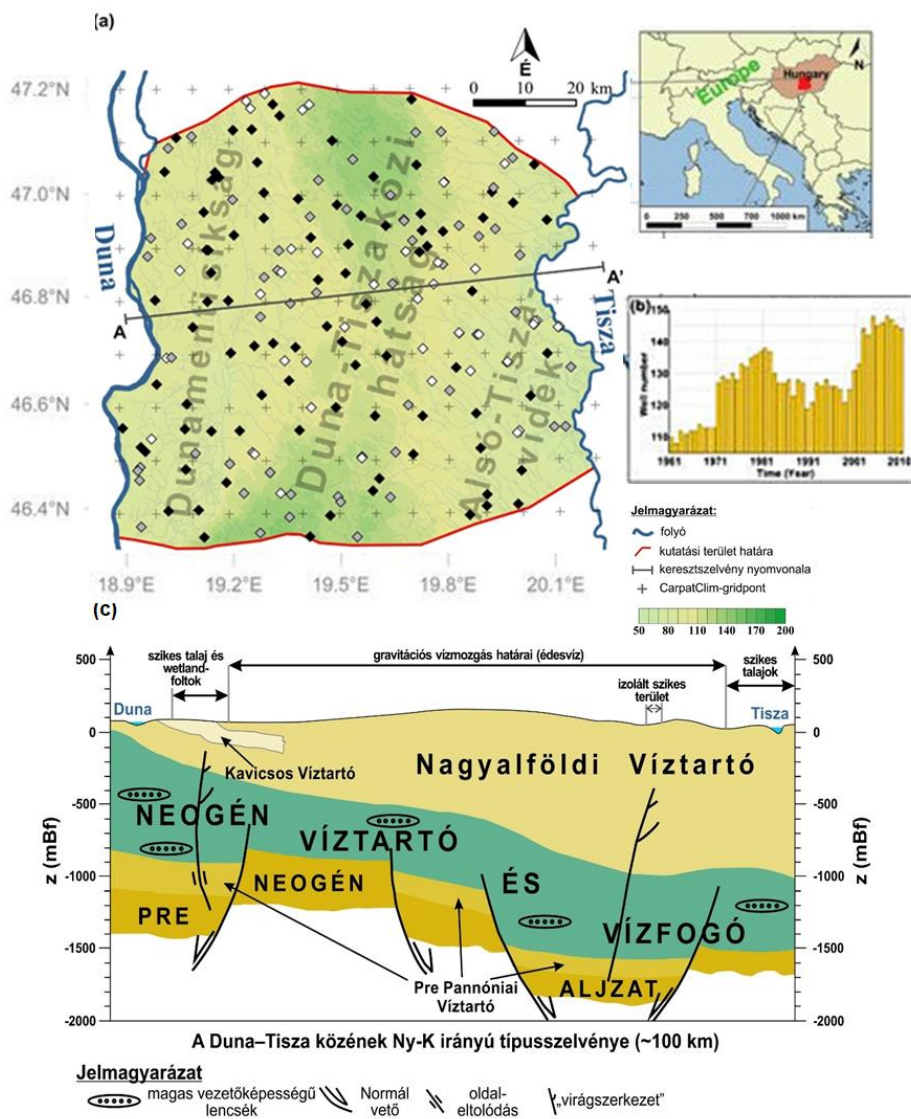
A vizsgálatok célterülete a Duna-Tisza köze, de nem terjedtek ki a Duna-Tisza köze területének egészére, csak a keleti hosszúság 18,85°-20,23° és az északi szélesség 46,32°-47,21° sarokpontokkal lehatárolható, mintegy 8 000 km² kiterjedésű területre (3. ábra). Ennek oka az volt, hogy a Duna-Tisza köze északi részén a jelenleg is intenzív külszíni nyersanyag-kitermelés miatt nem tekinthetők zavartalannak a felszín közelében elhelyezkedő víztartóban zajló folyamatok. Ugyanakkor a Duna-Tisza köze déli részének legmagasabb térszínein a sekély felszín alatti víz monitoring-állomásainak többségét az 1970-es években létesítették.

A vizsgált terület alapvetően három részre és két geomorfológiai típusra tagolható: a Duna és a Tisza széles völgsíkjai, valamint közöttük a Hátság képviselik annak részterületeit és két fő geomorfológiai típusát (3a. ábra). A folyók völgsíkjainak magassága 80-95 m B. f., a hátsági térszínnek pedig 100 m-től 120-130 m tengerszint feletti magasságig emelkednek (Kuti-Körössy, 1989).

A vizsgált terület éghajlata jelenleg mérsékelt kontinentális, azonban a térség éghajlatának jövőbeni alakulásával foglalkozó tanulmányok (Bartholy et al. 2007, Bartholy et al. 2011, IPCC, 2021) a 21. század végére emelkedő hőmérsékletet és az éghajlati szélsőségek növekedését vetítik előre. (Ami egyben a 2022-ben is tapasztalt téli aszály ismétlődését, illetve az ismétlődés gyakoriságának növekedését is jelentheti.) A legnagyobb változás valószínűleg a rendkívül meleg napok előfordulásában lesz, ami várhatóan több mint 100%-kal növekszik majd (Bartholy et al. 2011). A nyáron érkező csapadék mennyisége csökken, azonban a csapadéktevékenység intenzitása növekszik. Eközben, a tél a 21. század végére várhatóan csapadékosabb lesz (Bartholy et al. 2007, Bartholy et al. 2011.). Továbbá, a 2021-2050 közötti időszakra vonatkozó éghajlati szimulációk azt mutatják, hogy a Duna-Tisza köze területén 10-30%-kal növekszik az aszály kockázata, 2100-ig pedig további növekedéssel kell számolni (Mezősi et al. 2014.) Emellett aggodalomra ad okot, hogy ezek a modellek alábecsülik azt a tényleges változást, amellyel a mezőgazdaságnak szembe kell néznie (Molnár, S., Molnár, M., 2012).

Geológiai szempontból a vizsgált terület pre-neogén medencéje tektonikailag erősen deformált, kiemelt zónák (horst) és árokstruktúrák (graben) jellemzik (3c. ábra), amelyek domborzatában helyenként 3000 m szintkülönbség is mutatkozik (Royden et al. 2011.). A medencét neogén, félig-konzolidált, vagy konzolidálatlan tengeri, delta, tavi, eolikus és folyóvízi üledék tölti ki, melynek vastagsága a Dunától (600 m) a Tisza felé (4000 m) növekszik (Juhász, 1991). Az eredeti üledékes szerkezetet az intenzív neogén tektonikai mozgások átalakították, ami egy sajátos, normál vetőkkel és virágszerkezetekkel jellemezhető törésvonal-rendszer kialakulásához vezetett (Juhász, 1991., Horváth-Cloethingh, 1996.). Kőzettani tulajdonságai meglehetősen változatosak: összeletai többnyire agyagból, aleuritből, homokkőből és finomkavicsból álló képződmények. Ennek megfelelően a hidraulikus vezetőképesség széles tartományban, 10⁻⁹ és 10⁻² m s⁻¹ között változik (Mádl-Szőnyi – Tóth, 2009).

Az ismertett vizsgálatok jellege miatt azok csak a legfelső, a sekély felszín alatti régió összeleteire, a sekély felszínközeli víztartóra terjedt ki, ami főként nem konzolidált agyag- és homokféleségekből, valamint finom kavicsból épül fel (Mádl-Szőnyi – Tóth, 2009.).



3. ábra. A vizgált terület sekély felszínalatti vízszintmérő hálózatának térbeli (a) és időbeli (b) megoszlása.

(A fekete színnel kitöltött rombuszok a jelenlegi tanulmányban felhasznált, az üres rombuszok a fel nem használt sekély felszínalatti vízszintmérő állomások helyét jelölik. A digitális domborzati modellt (DEM) SRTM adatokból állították össze (Farr et al., 2007). A Duna–Tisza köze hidrogeológiai keresztzselvénye (c) Mádl-Szőnyi és Tóth, 2009 munkája alapján készült. (Garamhegyi et al. (2020)-ból átvéve.))

A VIZSGÁLATOK BEMENŐ ADATAI

Sekély felszín alatti vizek szintadatai

A vizsgálatba bevont területről összesen 190 db sekély felszín alatti vízszint-mérő kút 50 éves hosszúságú, az 1961-2010 közötti időszakban mért adatai álltak rendelkezésre. (3a. ábra) A méréseket a területileg illetékes vízügyi igazgatóságok (Közép-Duna-völgyi, Alsó-Duna-völgyi, Közép-Tisza-vidéki, Alsó-Tisza-vidéki) munkatársai végezték. (Az adatok forrása az akkor még működő VITUKI-ban [alapítási nevén: Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet] elhelyezett Központi Vízrajzi Adattár volt.) A mérőállomások eloszlásának átlagos sűrűsége 2 kút/100 km² volt; az 1961-2010 közötti időszakban azonban mind az állomások száma, mind pedig a vízszintmérés

gyakorisága változott (3b. ábra). A vizsgálatokhoz felhasznált bemenő adatokból a jelen tanulmányban alkalmazott éves időhorizontnak megfelelően a sekély felszín alatti vízszintek éves mediánját számítottuk, és csak azokat az éveket vettük figyelembe, amelyekben legalább 9 hónapban állt rendelkezésre adat. *(További részletek: Garamhegyi et al. (2020), 2.2. fejezetében.)*

Meteorológiai adatok

A sekély felszín alatti vizek szintje változásának lehetséges magyarázó paramétereiként a meteorológiai változékonyság mutatóinak figyelembe vételére került sor. Ezek a következők voltak: az éves átlaghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), a csapadék (mm év^{-1}), a potenciális párolgás (mm év^{-1}), a napsütés (időtartam, óra), a globális sugárzás (Jcm^{-2}), a nedvességindex (-), a Pálfi-féle Aszály Index (PAI) (-), valamint, az ariditási index (-) adatok, amelyek a CarpatClim-adatbázisból (1961-2010) származnak, és 8×8 km-es rácsfelbontással rendelkeznek (Spioni et al. 2015., Szalai, S. et al. 2020.). A CarpatClim-adatbázisból nyert különböző paraméterekhez valós átlagos idősort számoltunk a területre.

Meteorológiai indexek

A sekély felszín alatti vizek szintjének időbeli változékonysága, valamint a vizsgált területen a gridelt meteorológiai paraméterek mellett a szárazodáshoz kapcsolódó, időben elhúzódó folyamatok értelmezése a meteorológiai adatokból indexek előállítását igényelték (Mezősi et al. 2014.), közöttük a csapadék, a potenciális evapotranszpiráció kumulált változót.

A CarpatClim adatbázis havi csapadék-idősoraiból a 'precintcon R package' szoftvercsomaggal (Povoa et al. 2020, Team-Core, 2009) előállításra került a standardizált csapadékindex (SPI) (McKee et al. 1993), ami az aszályos időszakok meghatározására széles körben alkalmazott index (Hao et al. 2014).

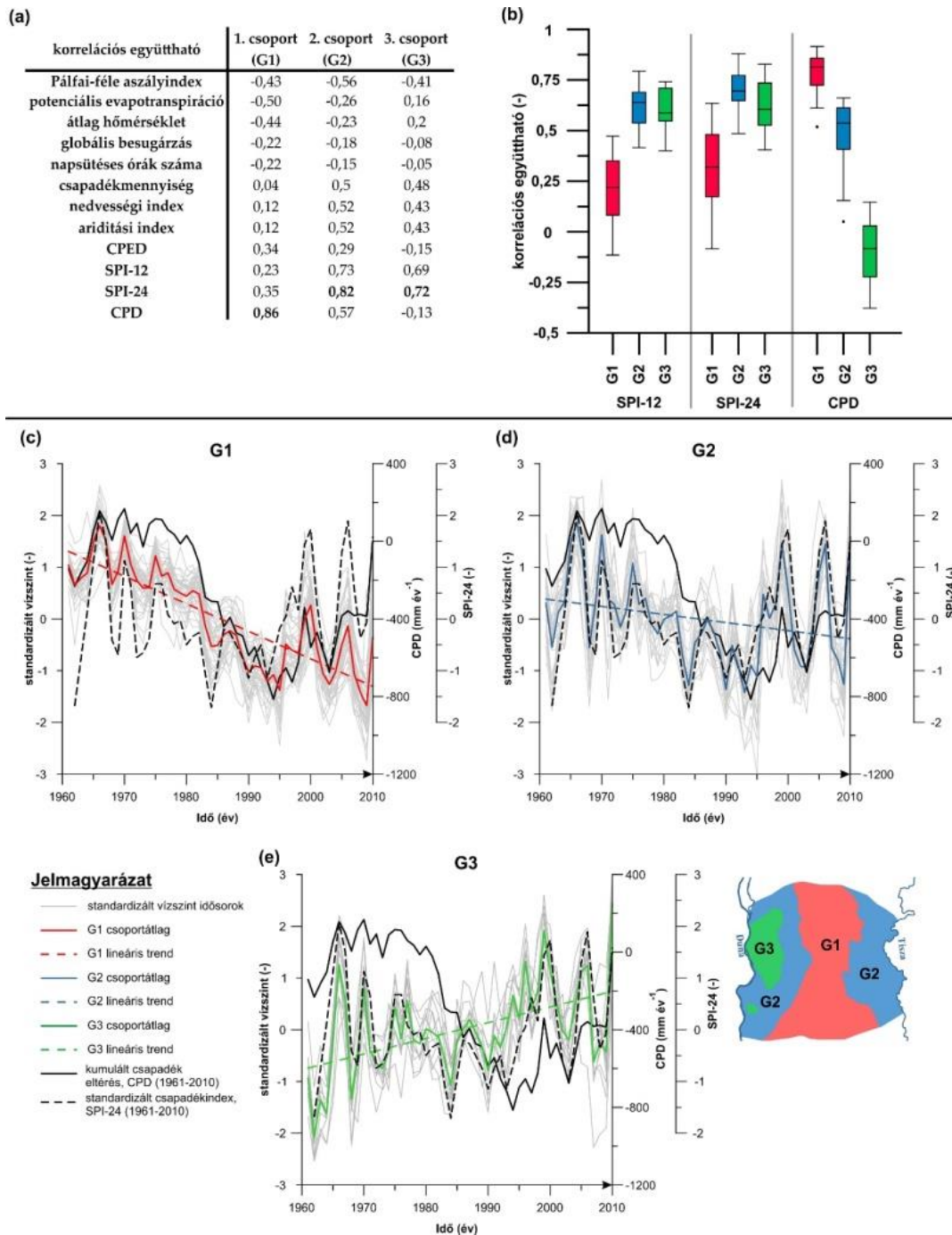
Az alkalmazott meteorológiai indexek sorát gyarapította a kumulatív potenciális evapotranszpirációs-eltérés index (mmév^{-1} , CPED) és a kumulatív csapadékeltérés index (mmév^{-1} , CPD), amelyek a csapadéktrendek meghatározására (Knowles et al. 2002), és olykor a sekély felszín alatti vízkészlet feltöltődésének leírására is használják (Butterworth et al. 1999, Xu-Van Tonder, 2001 Jianhua et al. 2014).

AZ ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZEREK

A kutatási módszerek kiválasztása széleskörű hidrológiai alkalmazhatóságuk alapján történt annak érdekében, hogy a kutatási területen meghatározható legyen a sekély felszín alatti vizek szintjének tér- és időbeli változása, valamint annak legfontosabb jellemzői. Ennek keretében négy fázisból álló vizsgálat-sorozatra került sor: mintaterjedelem térbeli eloszlásának vizsgálata (i), a hosszú idejű időbeli változások (trendvizsgálat) (ii), hierarchikus klaszteranalízis (HCA) a sekély felszínalatti vízszint-idősorok csoportosítása (iii), s ez utóbbiak, valamint a csoportátlagaik és az éghajlati paraméterek lineáris kapcsolatának (iv) értékelése. *(További részletek: a Garamhegyi et al. (2020) 2.3 fejezetében.)*

A sekély felszín alatti vizek monitoring-állomásai térbeli csoportjainak meghatározása és jellemzése

Az időben eltérő jellegzetességekkel bíró sekély felszín alatti vízszintekkel jellemezhető területeket lehatárolását követően, majd a sekély felszín alatti vizek vízszint-idősorainak előkészítése után azok klaszterezésére került sor.



4. ábra. A sekély felszín alatti vizek vízszint idősorainak és a meteorológiai paraméterek közötti lineáris kapcsolatok.

(A csoportok átlagos vízszintje és a meteorológiai változók közötti korreláció (a), ahol a CPED a halmozott potenciális evapotranszspiráció értékét, az SPI a standardizált csapadékindeket (SPI-12, SPI-24), a CPD pedig a halmozott csapadékösszegeket jelenti. A korreláció $\alpha = 0.05$ szignifikanciaszinten a ± 0.279 tartományon kívül esik. (Garamhegyi et al. (2020)-ból átvéve.))

A hierarchikus klaszteranalízis (HCA) eredményei alapján három kifejezetten eltérő jellegzetességgel rendelkező monitoring-állomásszett vált elkülöníthetővé. Ennek a megállapításnak az ellenőrzésére a lineáris diszkriminanciaanalízis (LDA) alkalmazásával történt, továbbá egyéb indexek figyelembe vételével (Garamhegyi et al. (2020)).

A sekély felszín alatti vizek monitoring-állomásainak (kutak) három csoportja térben szinte tökéletesen elkülönült. Az első csoportba tartozó kutak (G1) – kevés kivétellel – a Duna–Tisza köze hátsági részén, 105 m B. f. feletti magasságban helyezkednek el. A G2 és G3 csoportba tartozó kutak sokkal közelebb vannak (10–15 km-re) az egyik vagy a másik folyóhoz. A G3 csoportba tartozó monitoring-állomások elsősorban a Duna partja közelében vannak és meglehetősen kis magasság-tartományban helyezkednek el (4. ábra). *(További részletek: a Garamhegyi et al. (2020) 3. fejezetében.)*

A sekély felszín alatti vizek szintje, a domborzat és a lehetséges meteorológiai hatótényezők közötti kapcsolat

A (G1) és (G2) területrészlet határa 105 m B. f. feletti magasságban helyezkedik el. (Valójában a G1 a legkritikusabb, a vízszint-változásokkal leginkább kitett térség.) Ez egybevághat a gravitációs áramlási rendszerek legfőbb jellemzőivel: vagyis a felszín magasságbeli különbségei a felszín alatti áramlás elsődleges szabályozói, emiatt a sekély felszín alatti vizek szintje a domborzatot követi (Tóth, 2009, Detty-McGuire, 2010, Rinderer et al. 2014), továbbá a sekély felszín alatti víz kiáramlása nem korlátozódik a völgyek legalacsonyabb pontjára (pl. csatornák), hanem kiterjed a térség teljes alacsonyabban elhelyezkedő felére is (Tóth, 1963, 1970).

A sekély felszín alatti vizek szintje, a domborzat és a lehetséges meteorológiai hatótényezők közötti kapcsolat vizsgálata alapján megalapozottnak tűnnek az alábbi feltételezések:

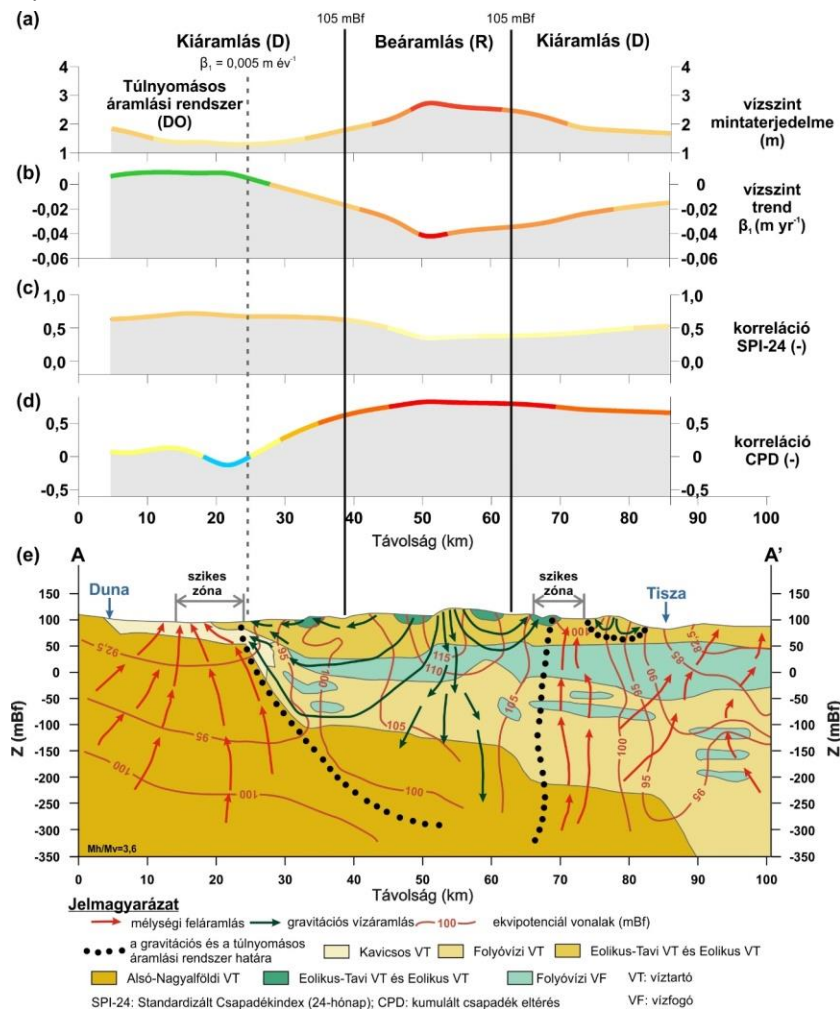
- a vizsgált terület központi része, a Hátság (G1, >105 m B. f.) gravitációs áramlási rendszer beáramlási zónája (R);
- a két folyó partjaihoz közeli és a velük párhuzamos területet (G2) kisebb változékonyság jellemzi, mint a G1-et, mégis van kapcsolata a domborzattal, így valószínűsíthető, hogy egy gravitációs áramlási rendszer kiáramlási zónája lehet (D);
- a Duna partjánál elhelyezkedő kismértékű vízszintemelkedéssel jellemezhető monitoring-állomások (kutak) (G3) feltételezhetően egy másik áramlási rendszer kiáramlási zónájához tartoznak (DO) (4., 5. ábra).

A korábbi tanulmányokkal történt összehasonlítás

A HCA alkalmazásával lehatárolt területrészek nagymértékű átfedést mutatnak a korábbi tanulmányokban meghatározott területekkel, bár ezeket (i) a különböző időhorizontokból származó - 1976-2003 (6a. ábra) (Rakonczai-Geiger, 2006) és 1970-2004, 6b. ábra) (Szalai, J. et al. 2011) sekély felszín alatti vizek vízszint-változásai alapján, valamint (ii) a terület vízrajzi monitoring-állomásait (kútjait) elsősorban geomorfológia alapokon csoportosítva (Rakonczai-Geiger, 2006, Szalai, J. et al. 2011) állapították meg. Sajnos ezeknek a vizsgálatoknak a számszerű eredményei nem állnak rendelkezésre, ezért közvetlen numerikus összehasonlításra nem, csak empirikus egybevetésre volt lehetőség (6c. ábra).

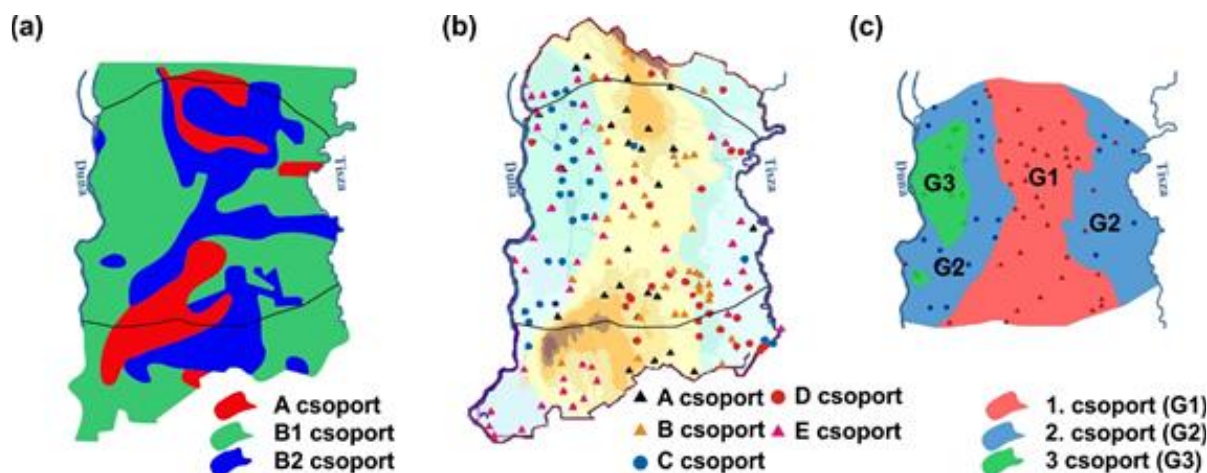
A sekély felszín alatti vízszintek idősorának 30 éves időszakra vonatkozó értékelése azt mutatta, hogy az A és B2 csoport (Rakonczai-Geiger, 2006) a jelen tanulmány központi, a Hátság területére (G1), míg a B1 csoport (Rakonczai-Geiger, 2006) a G2 és a G2 és B2 területeket fedi, a G3 pedig a két folyó partja közelében (6a,c ábra) helyezkedik el. Egy másik, mintegy 35 éves időintervallumot felölelő, a jelen tanulmányban felhasználnál lényegesen több mint kétszer annyi monitoring-állomás (kút) adatsoraira támaszkodó elemzés során öt részterületet határoztak meg, azonban ennek a csoportosításnak a numerikus validálására nem került sor (Szalai, J. et al. 2011) (6b. ábra).

Ez az öt részterület szintén jelentős átfedést mutat jelen kutatás eredményeivel (6c. ábra). Tényszerűen abban, hogy a C-csoport a G3-at lefedőnek tekinthető, míg a legtöbb elemében az E-csoport azonos a folyók partmenti sávjában elhelyezkedő monitoring-állomásokkal (kutakkal) (G2), a másik három csoport pedig átfedést mutat a Duna–Tisza közi Hátság területével (G1) (6b, c. ábra).



5. ábra. A sekély felszín alatti vizek vízszint idősorainak mintaterjedelme (1961–2010 ((a); a lineáris regresszió meredeksége (β_1) (b); korreláció a standardizált csapadékindexszel (SPI-24) (c); korreláció kumulált csapadékelteréssel (CPD) (d); Mádl-Szőnyi és Tóth(2009) munkája nyomán a területről korábban készült hidraulikus keresztmetszvény (3a ábra, A-A') mentén, (e). (Garamhegyi et al. (2020)-ból átvéve.))

A korábbi tanulmányok elsősorban a geomorfológiai jellemzők, a hosszú időn át fennálló csapadékhiány (Szalai, J. et al. 2011., Rakonczai, 2013., Ladányi, 2011.), a víztermelés az erdősítés és a belvízlevezető csatornák építése (Szalai, J. et al. 2011.) által befolyásolt csökkenő vízszintekkel jellemezhető hátsági területen talált csoportokat. A feltárt csoportok és részterületek vonatkozásában azonban nem készült hidrogeológiai vizsgálat, a Hátság jellemzésén kívül, illetve azon megfigyelésen kívül, hogy a Duna-parti kutak (C-G3 csoport) jellegzetesen különböznek a többitől, amit valamilyen helyi kiáramlás okozhatott. Jelen tanulmány ezt a hiányt kívánta pótolni, és a kapott csoportokat hidrogeológiai összefüggések közé helyezni. (További részletek: Garamhegyi et al. (2020) 4.3 fejezetében.)



6. ábra. Áttekintő térképek a vizsgált területen a monitoring-állomások (kutak) vízszint-idősorai alapján lehatárolt részterületekről

((a) 1976-2003 közötti időszak Rakonczai and Geiger, 2006.; (b) 1970-2004 közötti időszak Szalai et al. 2011.; a (c) ábrarészlet az 1960-2010 közötti időszakra vonatkozó vizsgálatok, azaz a jelen tanulmány eredményeit mutatja. Az (a) és a (b) ábrarészleten látható fekete vonal a jelentanulmány keretében vizsgált területet (c) lehatárolását szemlélteti. (Garamhegyi et al. (2020)-ból átvéve.))

EREDMÉNYEK, AZ ÁRAMLÁSI ZÓNÁK LEHATÁROLÁSA

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a terület mintegy 30 éven át tartó szárazodása térben és időben változó módon mutatkozott meg a sekély felszín alatti vizek rendelkezésre álló 50 éves idősorának alakulásában.

A monitoring-állomások (kutak) klasztercsoportjainak sajátosságaiban mutatkozó különbség a többváltozós adatelemzési módszerek és a geomatematika eszköztárának alkalmazásával lehetővé tette az eltérő áramlási rezsimok (beáramlási és kiáramlási területek) lehatárolását.

A sekély felszín alatti vizek 50 évet lefedő idősorának csoportosításával három nagy részterület volt kijelölhető, amelyek létét a korábbi vizsgálatok eredményei is igazolták.

A 105 m tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő kritikus küszöbérték meghatározása megegyezett a szakirodalmi megállapításokkal, és segítséget jelentett az egyes területrészek jellemzésében.

A 105 m tengerszint felett elhelyezkedő középső részein beáramlási zóna rajzolódott ki, átlagosan $-0,042 \text{ m év}^{-1}$ vízszint-csökkenéssel.

A 105 m tengerszint feletti magasságban futó szintvonallal párhuzamos folyómenti sávokban szintén a vízkészletek csökkenése következett be, ezek mértéke azonban egy nagyságrenddel kisebb, mint a beáramlási területeken.

Emellett egy túlnyomós áramlási rendszer kiáramlási zónája is azonosítható volt, amelyben a jelentős csapadékcsökkenés ellenére emelkedett a sekély felszín alatti vizek szintje.

Irodalomjegyzék:

- Bartholy, J.; Pongrácz, R. Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Glob. Planet. Chang.* **2007**, *57*, 83–95. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Bartholy, J.; Pongrácz, R.; Pieczka, I.; Torma, C. Dynamical downscaling of projected 21st century climate for the carpathian basin. In *Climate Change—Research and Technology for Adaptation and Mitigation*; InTech: Rijeka, Croatia, 2011. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Butterworth, J.A.; Schulze, R.E.; Simmonds, L.P.; Moriarty, P.; Mugabe, F. Hydrological processes and water resources management in a dryland environment IV: Long-term groundwater level fluctuations due to variation in rainfall. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **1999**, *3*, 353–361. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Detty, J.M.; McGuire, J.M. Topographic controls on shallow groundwater dynamics: Implications of hydrologic connectivity between hillslopes and riparian zones in a till mantled catchment. *Hydrol. Processes* **2010**, *24*, 2222–2236. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Farr, T.G.; Rosen, P.A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodriguez, E.; Roth, L. The shuttle radar topography mission. *Rev. Geophys.* **2007**, *45*. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Garamhegyi, T.; Kovács, J.; Pongrácz, R.; Tanos, P.; Hatvani, I.G. Investigation of the climate-driven periodicity of shallow groundwater level fluctuations in a Central-Eastern European agricultural region, *HYDROGEOLOGY JOURNAL* **26** : 3 pp. 677-688. , 12 p. (2018)Garamhegyi et al. 2018.
- Garamhegyi, T.; Hatvani, I.G.; Szalai, J.; Kovács, J. Delineation of Hydraulic Flow Regime Areas Based on the Statistical Analysis of Semicentennial Shallow Groundwater Table Time Series. *Water* **2020**, *12*, 828. <https://doi.org/10.3390/w12030828>
- Hao, Z.; AghaKouchak, A.; Nakhjiri, N.; Farahmand, A. Global integrated drought monitoring and prediction system. *Sci. Data* **2014**, *1*, 140001. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Horváth, F.; Cloetingh, S. Stress-induced late-stage subsidence anomalies in the Pannonian basin. *Tectonophysics* **1996**, *266*, 287–300. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Jianhua, P.; Xiaohua, W.; Craig, N. Cumulative Precipitation Departure from Average Characterizing Mountain System Recharge in Semi-arid North Okanagan, South Interior British Columbia, Canada. *J. Appl. Sci.* **2014**, *14*, 2156–2162. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- IPCC Climate Change 2021: The Physical Science Basis, 2021. (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>)
- IVHT (Integrált vízháztartási tájékoztató, operatív aszály és vízhiány-értékelés), 2022.április. Országos Vízügyi Főigazgatóság, www.vizugy.hu
- Juhász, G. Lithostratigraphical and sedimentological framework of the Pannonian (sl) sedimentary sequence in the Hungarian Plain (Alföld), Eastern Hungary. *Acta Geol. Hung.* **1991**, *34*, 53–72. [[Google Scholar](#)]
- Kovács, J.; Kiszely-Peres, B.; Szalai, J.; Kovácsné Székely, I. Periodicity in shallow groundwater level fluctuation time series on the Trans-Tisza Region, Hungary. *Acta Geogr. Geol. Meteorol. Debrecina* **2010**, *4*, 65–70. [[Google Scholar](#)]
- Knowles, L., Jr.; O'Reilly, A.M.; Adamski, J.C. Hydrogeology and simulated effects of the ground-water withdrawals from the Floridan aquifer system in lake county and in the Ocala National Forest and vicinity, north-central Florida. *Water Resour. Investig. Rep.* **2002**, *2*, 4207. [[Google Scholar](#)]
- Kuti, L.; Körössy, L. The Geological Atlas of the Hungarian Great Plain: Dunaújváros-Izsák; Magyar Állami Földtani Intézet: Budapest, Hungary, 1989. (In Hungarian) [[Google Scholar](#)]
- Ladányi, Z.; Rakonczai, J.; Kovacs, F.; Geiger, J.; Deak, J.A. The effect of recent climatic change on the Great Hungarian Plain. *Cereal Res. Commun.* **2009**, *37*, 477–480. [[Google Scholar](#)]
- Ladányi, Z. Evaluation of Soil Characteristics in a Sur-Region of the Danube- Tisza Interfluve, Illancs. Ph.D. Thesis, University of Szeged, Szeged, Hungary, 2011. (In Hungarian). [[Google Scholar](#)]
- Magyar, N.; Hatvani, I.G.; Arató, M.; Trásy, B.; Blaschke, A.P., Kovács, J. A New Approach in Determining the Decadal Common Trends in the Groundwater Table of the Watershed of Lake “Neusiedlersee”, *WATER* **13** : 3 Paper: 290 , 17 p. (2021)
- Mádl-Szőnyi, J.; Tóth, J. A hydrogeological type section for the Duna-Tisza Interfluve, Hungary. *Hydrogeol. J.* **2009**, *17*, 961–980. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Mezősi, G.; Bata, T.; Meyer, B.C.; Blanka, V.; Ladányi, Z. Climate Change Impacts on Environmental Hazards on the Great Hungarian Plain, Carpathian Basin. *Int. J. Disaster Risk Sci.* **2014**, *5*, 136–146. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

- Molnár, S.; Molnár, M.* Comprehensive assessment of climate change policies and measures in Hungary: concerns and tasks in an underestimated challenge. *Időjárás Q. J. Hung. Meteorol. Serv.* 1. 2012, 116, 297–321. [Google Scholar]
- McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J.* The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17–22 January 1993*; pp. 179–183. [Google Scholar]
- Povoa, L.V.; Nery, J.T.N.* Precintcon: Precipitation Intensity, Concentration and Anomaly Analysis. R Package Version 2.3.0. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=precintcon> (accessed on 13 March 2020).
- Rakonczai, J.* The Effects of Climate Change in the Southern Great Hungarian Plain. Doctor of Science (DSc) Thesis, University of Szeged, Szeged, Hungary, 2013. (In Hungarian). [Google Scholar]
- Rakonczai, J.; Geiger, J.* The relationship of change in shallow groundwater levels in the Danube–Tisza Interfluvium to geology and geomorphology. In *Proceedings of the Xth Congress of Hungarian Geomathematics, Mórahalom, Hungary, 18–20 May 2006*. (In Hungarian). [Google Scholar]
- Royden, L.H.; Horváth, F.; Geologists, A.A.o.P.* The Pannonian Basin: A Study in Basin Evolution; American Association of Petroleum Geologists: Tulsa, OK, USA, 2011. [Google Scholar]
- Rinderer, M.; van Meerveld, H.J.; Seibert, J.* Topographic controls on shallow groundwater levels in a steep, prealpine catchment: When are the TWI assumptions valid? *Water Resour. Res.* **2014**, 50, 6067–6080. [Google Scholar] [CrossRef]
- Spinoni, J.; Szalai, S.; Szentimrey, T.; Lakatos, M.; Bihari, Z.; Nagy, A.; Németh, Á.; Kovács, T.; Mihic, D.; Dacic, M.* Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: Climatologies and trends of 10 variables. *Int. J. Climatol.* **2015**, 35, 1322–1341. [Google Scholar] [CrossRef]
- Szalai, J.; Kovács, J.; Kovácsné Székely, I.* A Duna–Tisza köze csapadék és talajvízszint-adatainak vizsgálata klaszteranalízissel. In *Environmental Changes and the Great Hungarian Plain*; Rakonczai, J., Ed.; Nagyalföld Alapítvány: Békéscsaba, Hungary, 2011; pp. 111–118. (In Hungarian) [Google Scholar]
- Szalai, J.; Dukai, D.; Nagy, Gy.* A helyben képződött vízkészletek tározási lehetőségei Tázlár térségében, Magyar Hidrológiai Társaság XXXVIII. Országos (Online) Vándorgyűlése, 2021. szeptember 14–15. <https://vdt.uni-nke.hu/videtar/38VGY/dolgozatok.html>
- Szalai, S.; Auer, I.; Hiebl, J.; Milkovich, J.; Radim, T.; Stepanek, P.; Zahradnicek, P.; Bihari, Z.; Lakatos, M.; Szentimrey, T.; et al.* Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. 2013. Available online: <http://www.carpatclim-eu.org/pages/deliverables/> (accessed on 13 March 2020).
- Team, R.; Core. R:* A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2009. [Google Scholar]
- Tóth, J.* A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *J. Geophys. Res.* **1963**, 68, 4795–4812. [Google Scholar] [CrossRef]
- Tóth, J.* A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment. *J. Hydrol.* **1970**, 10, 164–176. [Google Scholar] [CrossRef]
- Tóth, J.* *Gravitational Systems of Groundwater Flow: Theory, Evaluation, Utilization*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2009. [Google Scholar]
- Trásy, B.; Garamhegyi, T.; Laczkó-Dobos, P.; Kovács, J.; Hatvani IG.* Geostatistical screening of flood events in the groundwater levels of the diverted inner delta of the Danube River: Implications for river bed clogging. *Open Geosci.* **2018**, 10, 64. [Google Scholar] [CrossRef]
- Xu, Y.; Van Tonder, G.J.* Estimation of recharge using a revised CRD method. *Water SA* **2001**, 27, 341–343. [Google Scholar] [CrossRef]