

**NÉHÁNY ADATELEMZŐ MÓDSZER
ALKALMAZÁSA FÖLDTUDOMÁNYI
FELADATOK MEGOLDÁSÁRA,
KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A
CSOPORTOSÍTÓ ELJÁRÁSOKRA**

MTA doktori értekezés
tézisei

Kovács József

Budapest
2018 szeptember

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a földtudományokban jelentősen megnőtt a mért paraméterek és ezeken keresztül az adatok száma. A rögzített adatok önmagukban nem vagy nem minden esetben világítanak rá a múlt és/vagy a jelen folyamataira, melyek iránya számos tényezőtől függ. Ezért a mért adatok kiértékelése szükségszerűvé teszi és igényli a modern statisztika eszközeinek alkalmazását.

Jelentősége ellenére a gyakorlatban tevékenykedő szakemberek számottevő részénél szinte egyáltalán nem kerülnek alkalmazásra a statisztika és főként a sokváltozós adatelemzés módszerei. Az értekezés ezt a „jelenséget” és néhány adatelemző módszer ismertségét egy kérdőíves felmérés eredményein keresztül mutatta be. Valószínűsíthetően a jövőben a növekvő adatmennyiség elő fogja idézni az adatfeldolgozás statisztikai eszközeinek egyre rendszeresebb használatát a gyakorlatban. Ezt segítheti egy olyan folyamatára, amely bemutatja, hogy ismert és általánosan elterjedt adatelemző programok által kínált módszerek közül adott típusú adathalmazokra milyen adatelemző eszközöket milyen sorrendben célszerű alkalmazni. Természetesen több megközelítésből lehet ilyen folyamatábrákat készíteni, az értekezés egy változatot tartalmaz, a szerző ezekből az egyébként jól ismert módszerekből „válogatott” és alkalmazta azokat. Ezek mellett a dolgozat bemutat olyan, új technikaként jellemezhető módszert, mely hagyományos eljárások ötvözése nyomán jött létre. A dolgozat több tudományterület eredményeibe is betekintést enged, a hidrológiától az öslénytaniig, bizonyítva az adatelemző módszerek széleskörű alkalmazhatóságát a földtudományokban.

2. Felhasznált adatok és programok

Az értekezés eredményeihez felhasznált adatok több intézményből származnak. A felszíni vizek kémiai, fizikai és biológiai adatai a napjainkra megszűnt Vízgazdálkodási Kutató Intézetből, a Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségtől, a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Kis-Balaton Üzemmnökségtől és a Fertő Tavi Biológiai Intézetből (Ilmitz, Ausztria) származnak. A felszín alatti vízre vonatkozó adatokat a Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt. és Ausztria Mezőgazdasági Minisztériuma Erdő, Környezet és Vízgazdálkodási Osztálya bocsátotta rendelkezésünkre. Az Atacama-sivatag permafrosztja aktív rétegének hőmérséklet idősorát a Magyar Száraz-Andok Kutatási Program, Földgömb-Atacama Expedíciók mérték. Az őslénytani adatokat Vaşile Ştefan (Bukaresti Egyetem) mérte és bocsátotta rendelkezésre.

A felhasznált programok tekintetében a kombinált klaszter- és diszkriminanciaanalízis (CCDA) számítására saját programot fejlesztettünk ki, melyet az R statisztikai szoftverre épülő csomagként bárki számára hozzáférhetővé tettünk (Kovács et al., 2014b). A waveletspektrum-analízishez a dplR 1.6.4. R csomagot (Bunn, 2010; Bunn et al., 2016), míg a balatoni és az őslénytani adatokhoz az IBM SPSS Statistics software 22. verzióját használtuk. Az ábrák véglegesítéséhez CorelDRAW programcsomag került alkalmazásra.

3. Eredmények

A megfogalmazott tézisekben megjelenő új eredményeket társszerzőkkel együtt folytatott kutató munka során értem el. Az 1.-7. tézisekhez kapcsolódó publikációkban első szerző vagyok, vezető szerepem ilyen formán egyértelmű. Azokban az esetekben, ahol nem én vagyok az első szerző, az új eredményekhez történő hozzájárulásom kevesebb, de számottevő volt: a 8. tézis saját kutatási eredményeimet tartalmazza, melynek értelmezésében paleontológus kollégák is részt vettek, a 9. tézis esetén tudományos eredményeim értelmezését egy fizikus kolléga által készített hőtani modell segítette.

1)

A kombinált klaszter- és diszkriminanciaanalízis (CCDA; Kovács et al., 2014a) két hagyományos eljárást ötvöző technika, ami a csoportosítás (klasszifikáció) során felmerülő optimális csoportszám és ahhoz tartozó csoportosítás, továbbá a csoportok között nemcsak hasonló, hanem a legnagyobb homogén csoportok meghatározását célozza. A CCDA olyan esetekben használható, amikor több származási helyről azonos paraméterkörre (azaz több dimenzióra) érhetőek el adatok, úgy, hogy minden származási helyről több megfigyelés álljon rendelkezésre. A föld- és környezettudományokban legtöbbször maguk a mintavételi pontok az említett származási helyek, de ilyen „származási helyek” lehetnek időintervallumok, például hónapok, évszakok, vagy akár évtizedek is, amelyekhez a megfigyelések tartoznak.

A CCDA iteratív módon a vizsgálandó csoportosítások mindegyikénél a lineáris diszkriminanciaanalízis (LDA) által

helyesen klasszifikált esetek arányát viszonyítja véletlen beosztásoknál helyesen klasszifikált esetek arányszámához. A csoportosítások létrehozhatók például (hierarchikus) klaszteranalízis segítségével a mért paraméterek standardizált átlagaira az egyes származási helyeken, de vizsgálhatók szakértők által létrehozott csoportosítások is. Minden egyes vizsgált csoportosításnál a módszer először meghatározza az LDA által helyesen klasszifikált esetek arányát, majd ebből kivonja N (pl. $N=100$ vagy $N=500$) véletlen beosztás helyes klasszifikációs arányszámainak 95%-os kvantilisét, ezáltal egy különbségértéket rendel az éppen vizsgált csoportosításhoz. Ez a különbségérték tehát azt adja meg, hogy mennyire jó a vizsgált csoportosítás a véletlenhez képest, illetve ezáltal az egyes csoportosításokhoz rendelt különbségértékek egymással is összevethetők. Az éppen vizsgált csoportosítási lehetőségek közül az tekinthető objektív módon optimálisnak, amelyiknél ez a különbségérték a legnagyobb (Kovács és Erőss, 2017). A pusztán átlagokból készült dendrogramra alapozott döntéssel szemben, legyen az szubjektív (Déri–Takács et al., 2015) vagy valamilyen indexre (Davies és Bouldin, 1979) alapozott, a CCDA az összes megfigyelés felhasználásával képes meghatározni az optimális csoportszámot.

Az optimális csoportosításban szereplő különböző csoportok tagjai általában hasonlóak, de nem szükségszerűen homogének. Mindez akkor fordul elő, ha a különbségérték pozitív. Ekkor a csoportosítás jobb, mint a vizsgált véletlenszerű beosztások 95%-a, azaz szignifikánsan jobb, mint a véletlen, így a csoportosítás tagjai nem tekinthetők homogénnek. Ilyen esetekben a csoportokon belüli legkisebb különbségek megtalálása érdekében a CCDA az első lépésben talált optimális csoportosításnak egynél több tagból álló

(al)csoportjait vizsgálja tovább iteratív módon mindaddig, amíg a legnagyobb különbségérték negatív nem lesz. Ekkor egyik csoportosítás sem jobb szignifikánsan, mint egy véletlenszerű csoportosítás, emiatt a vizsgált (al)csoportban levő származási helyeket homogénnek tekintjük (Kovács et al., 2014, 2015). Abban az esetben, ha egy (al)csoport csupán egy tagból/származási helyből áll, azt nem lehet tovább bontani, így ilyenkor az a tag/származási hely önmagában alkot egy homogén egységet.

A CCDA alapötletének további fontos alkalmazási lehetősége az egy rendszerben meglévő legnagyobb különbségek kimutatása, páronkénti összehasonlítások felhasználásával. Ekkor azt vizsgáljuk, hogy a származási helyek egy adott párjának milyen különbségértéke van, azaz az éppen vizsgált két származási hely mennyire különül el egymástól a véletlenhez képest. Ha azonos a mintaszám a pároknál, akkor a kapott páronkénti különbségértékek egymással is összehasonlíthatók. Mindez akkor a leginkább informatív, ha a párok pontfelhője a paraméterterben nem diszjunkt. Ellenkező esetben a különbségértékek szétválásról igen, de annak pontos mértékéről nem adnak információt. Egy „lineáris” rendszer - például egy folyó mintavételi pontjai (Chapman et al., 2016; Kovács et al., 2015) vagy egymást követő időintervallumok (Tanos et al., 2015; Kovács és Eröss, 2017) - esetében jól interpretálhatók az egymást követő párok különbségértékei, mert rávilágítanak a rendszerben bekövetkező legnagyobb változások helyeire, illetve idejére.

2)

A budapesti termálvizek 1960–2009 között 27 kútból/forrásból származó kémiai ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) és

hőmérsékleti adatait a CCDA-módszerrel vizsgáltuk. A számítások eredményeként a mért értékek standardizált átlagaira kapott dendrogramhoz tartozó $d_1, \dots, d_{27}$ különbségértékek között a hetedik csoportosításnak volt a legnagyobb különbségértéke ($d_{7^*} = 70,2\%$). Az így kapott hét csoport ($SG_1, \dots, SG_7$) tekinthető az optimális csoportosításnak. Mindegyik csoport a gravitáció által vezérelt áramlási rendszerek különböző részeit reprezentálja. A csoportok geokémiai, illetve hőmérsékleti adatai az áramlási rendszerekben lévő különbözőségeket tükrözik. Külön csoportot alkotnak az északi megcsapolódási terület, Csillaghegy, Pütkösd- és Római fürdő kútjai (SG_2), melyeknek utánpótlódási területei viszonylag közel, a Pilisben található (Alföldi et al., 1968), lokális és intermedier áramlási rendszerekhez kapcsolódnak. Ezek jellemzői geokémiai és hőmérsékleti adataikban tükröződnek, ennél a csoportnál láthatjuk a legalacsonyabb értékeket. A rózsadombi megcsapolódási terület langyos (Lukács fürdő forrásai, SG_1) és termálvizei (Lukács fürdő 4-es kút és Antal-forrás, SG_6) külön-külön csoportokat alkotnak. A langyos források utánpótlódási területe a Budai-hegység (Alföldi et al., 1968), vizüket lokális és intermedier áramlási rendszerekből nyerik. Valamennyi termálvíz-hozzákeveredés is megfigyelhető esetükben, ami az északi megcsapolódási terület kútjaihoz képest magasabb $Na^+ + K^+$, Cl^- és SO_4^{2-} tartalomban nyilvánul meg. A termálvizek, így az SG_6 alcsoport tagjai is, regionális áramlási rendszerekből származnak, melyet magasabb hőmérsékletük és oldott anyag-tartalmuk jelez. A déli, Gellért-hegyi megcsapolódási területhez a Gellért és Rudas fürdő kútjai és forrásai (SG_4) tartoznak. Az itt levő termálvizek magasabb oldottanyag-tartalommal (jellemzően Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- és SO_4^{2-}), de alacsonyabb hőmérséklettel jellemezhetők összehasonlítva az északabbra - a

Rózsadomb előterében vagy a Városligetben - található termálvizekkel. A karbonátos medence fedett részén, a pesti oldalon elhelyezkedő kutak szintén külön csoportokat alkotnak. A Margitsziget-II, Széchenyi-I, -II (SG₅) csoport regionális áramlási rendszer része, a rózsadombi terület folytatásában elhelyezkedő kutakat tartalmazza, ahol a karbonátos kőzetek egyre nagyobb vastagságban üledékkel fedettek, megnövekedett Na⁺ és Cl⁻ tartalommal és hőmérséklettel. A Csepeli fürdő termálkút (SG₃) egyetlen tagból álló csoport, regionális áramlási rendszer része. Különbözőségét a Gellért és Rudas fürdő kútjaitól és forrásaitól (SG₄) magasabb hőmérséklet mellett, magasabb Na⁺+K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻ és HCO₃⁻ tartalma jelzi. A Dagály Béke-kút, Margitsziget-III (SG₇) csoport tagjai egy természetes megcsapolódáshoz kapcsolhatók, az egykori Fürdő-sziget (Szabó, 1857) környezetében található kutakat tartalmazza. A csoport tagjai alacsonyabb hőmérséklettel és kisebb koncentrációban előforduló medence eredetű komponensekkel (Na⁺, Cl⁻) jellemezhetők az SG₆ és SG₅ csoportokkal összehasonlítva (Kovács és Erőss, 2017).

A geokémiai és hőmérsékleti adatokból kapott eredmények tükrözik az áramlási rendszerekben megjelenő különbözőségeket és összhangban vannak a Dunántúli-középhegységben (beleértve a Budai-termálkarsztot) történt megállapításokkal, melyek a langyos forrásokat intermedier rendszerekbe tartozónak, a hévforrásokat pedig regionális rendszerekhez sorolta klaszteranalízis (Bodor et al., 2014), valamint numerikus szimuláció alapján (Mádl-Szőnyi és Tóth, 2015).

3)

A Budapest területén levő 27 kútban/forrásban 1960–2009 között mért kémiai ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) és hőmérsékleti adatokra évtizedes felbontásban néztük meg, mikor következtek be a legnagyobb változások. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált paraméterek mért értékeiben szignifikáns változások következtek be az egyes évtizedek között (pozitív különbségértékek). Az utolsó vizsgált évtized (2000–2009) adatai különböznek leginkább a többi évtized adataitól, de ezen kívül az időbeli változásoknak nincs egyértelmű szerkezete (Kovács és Eröss, 2017).

4)

A Duna magyarországi szakaszán levő monitoringhálózat optimalizálását CCDA-val végeztük el az 1994-2004 évek kétheti-havi gyakoriságú mintavételezésből származó adataira (Kovács et al., 2015), melyek a legfontosabb kationok és anionok mellett a vízhozam, kémiai és biológiai oxigénigény, összes foszfor és klorofill-a paramétereket tartalmazták. A kapott eredmények alapján a Duna 12 mintavételi pontjából 9 homogén csoport volt elkülöníthető. Közülük hét önálló, - Rajka, Győrzámoly, Komárom, Almásneszmély, Szob, Dunaföldvár, Fajsz - míg egy csoport két, - Budapest, Nagytétény - egy pedig három - Baja, Mohács, Hercegszántó - mintavételi pontból állt. Így a 12 mintavételi pontból legalább 9 megtartása javasolt a vizsgálatba bevont paraméterkör és időszak alapján.

A Duna térben egy lineáris rendszernek tekinthető, ebből következően értelmezhetők a folyásiránnyal megegyezően, az egymást követő mintavételi pontok páronkénti

összehasonlításának eredményeként kapott különbségértékek. A legnagyobb különbséget Rajka és Győrzámoly mintavételi pontok között detektáltuk (2,65%). További hasonló mértékű különbségek voltak Komárom - Almásneszmély (1,44%), Almásneszmély - Szob (1,95%) és Nagytétény - Dunaföldvár (1,59%) között, míg ennél kisebb, de detektálható különbségek jellemzik Győrzámoly - Komárom (0,13%), Szob - Budapest (0,13%), Dunaföldvár - Fajsz (0,16%) és Fajsz - Baja (0,01%) mintavételi pontpárokat. Negatív különbségértékeket kaptunk Budapesttől északra és délre (-0,67%), továbbá Baja - Mohács (-0,42%) és Mohács - Hercegszántó (-0,29%) pontpárok esetén, így ezek szignifikánsan nem különböznek egymástól.

Az egymást követő mintavételi pontok között levő legnagyobb különbségek felhívják a figyelmet arra, hogy a vizsgált paraméterek alapján, hová célszerű új mintavételi helyeket kijelölni. Ahol a különbségértékek negatívak, ott mintavételi pontokat lehet összevonni szakmai döntés alapján.

5)

A föld- és környezettudományokban, amikor ugyanarra a paraméterkörre minden származási helyről azonos időpontokból vannak adataink, a származási helyek hasonlósági viszonyai időpontról időpontra változnak. Cél volt olyan eljárás kidolgozása, amely hasonlóan viselkedő időpontokban származási helyek csoportjainak meghatározására képes azok közös tulajdonságai alapján. A feladat megoldására a hierarchikus klaszteranalízis többlépcsős alkalmazását dolgoztuk ki (Kovács et al., 2012).

Első lépésben a származási helyeket csoportosítjuk minden időpillanatban, második lépésben a megfigyelési időpontokat

csoportosítjuk, harmadik lépésben a második lépésben kapott időpontcsoportokat tekintjük csak és csoportosítjuk a mérési helyeket.

Részletesen, az eljárás során először csoportosítás készül a származási helyek szerint, a mért paraméterek alapján minden mérési/mintavételezési időpontban. Az eredmény alapján kódolhatók a származási helyek aszerint, hogy melyik csoportba sorolhatók. A második lépcső, csoportosítás a mintavételi időpontok szerint, de immáron a mintavételi helyek csoportba tartozásának kódjai alapján. Ennek eredményeként meghatározhatók a mintavételezés teljes időintervallumában a hasonlóan viselkedő időpontok csoportjai. Ezek az időpontok a mintavételezés időintervallumának egy-egy összefüggő időszakát is kijelölhetik. A harmadik lépcső, csoportosítás a származási helyekre, kódok alapján, az időpontok/időszakok csoportjaiban. Végeredményként meghatározhatók a hasonló tulajdonságokkal rendelkező származási helyek a második lépcsőben megállapított időpontokban/időszakokban.

6)

A Víz Keretirányelv (VKI; WFD, 2000) a Balatont egyetlen víztestként határozza meg és egy víztest jellemzéséhez egy mintavételi pontot rendel. A VKI életbe lépése előtt szükségessé vált az „egy tó: egy víztest” koncepció Balatonra vonatkoztatott helyességének vizsgálata és esetleges felülbírálata. Választ kellett keresni, hogy a víztesten belül az eltérő vízminőség alapján hány víztájat lehet kijelölni, illetve ezek alapján hány reprezentatív megfigyelési pont megtartására van szükség? A vizsgált adathalmaz 10 mintavételi pont, 1985–2004 között történt évenkénti négy mintavételezésének, a tápanyagháztartás, és az általános vízkémia paramétereinek

mérési eredményeit tartalmazta. A hierarchikus klaszteranalízis többlépcsős alkalmazásának eredményei alapján a Balaton viselkedésében az időpontoknak három jól elkülöníthető csoportja van. A mintavételi pontoknak - a mintavételi időpontok csoportjaihoz tartozó felosztások közös részei alapján - öt csoportját lehet elkülöníteni. Ezek a Balaton víztájait jelölik ki, melyek mindegyike egy-egy mintavételi ponttal jellemezhető. Ezen eredmény alapján (legalább) öt megfigyelő pont megtartására volt/van szükség (Kovács et al., 2012). Erre az adathalmazra a CCDA objektív módon szintén öt víztájnak a létezését tárta fel, melyeken belül levő mintavételi pontok homogéneknek tekinthetők. A két számítási módszer eredményei annyiban különböznek, hogy Balatongyörök mintavételi pontot más-más csoportba sorolják (Kovács et al., 2015). A csoportosítást (víztáj felosztást) leginkább befolyásoló paramétereket két csoportra lehetett osztani. Egyikbe tartoznak az eutrofizációhoz / oligotrofizációhoz kapcsolódó, tápanyagháztartáshoz elsődlegesen köthető paraméterek, míg a másik, a szerves paraméterek csoportja.

7)

CCDA-val elvégeztük a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) monitoringhálózatának optimalizációját. A vizsgálat az 1993-2009 közötti időszak heti-kétheti mintavételezéséből származó adataira történt, alapvetően szerves és szerves vízminőségi paraméterekre. Az eredmények szerint a KBVR estében a mintavételi pontok optimális csoportszáma három. Az első csoportot elsősorban az 1985-ben átadott eutróf tó mintavételi pontjai alkották, a másodikat az 1992-ben elárasztott makrofita vegetációval borított vizes élőhely mintavételi pontjai, míg a harmadik csoportot a 205-ös mintavételi pont önállóan alkotta, ami a környezetétől izolált

kazettában helyezkedik el. A 12 mintavételi pontból 10 egyedülálló és egy kettő tagból álló homogén csoportra vált szét. A 12 mintavételi pontból (legalább) 11 megtartása szükséges (Kovács et al., 2015).

8)

A Déli-Kárpátok északnyugati részében található Hátszegi-medence maasrichti szárazföldi üledékeiből iszapolás során 1999 és 2011 között rovarpete-maradványok kerültek elő, melyek közül a legjobban megőrződött 97 példány morfometriai paramétereit lehetett adatelemző vizsgálatokba bevonni.

A leletek első elemzése klaszteranalízissel történt, ami kimutatta, hogy egy csoport egyedei jelentős mértékben különböznek a többitől mind méreteikben, mind a mikropile és az operculum morfológiája tekintetében. Így egy új genus (*Insecta* gen. et sp. nov.) és a *Knoblochia* sp. nov. genus-szintű elkülönítése vált lehetővé.

A *Knoblochia*-leletek - a maradék 92 egyed - között a klaszteranalízissel három csoport volt megkülönböztethető melyek főleg a reprodukcióval összefüggő szervek alapján különültek el.

Az első csoport első főkomponensében a hímivar-sejt bejutására szolgáló mikropile-régió és a pete formáját legnagyobb mértékben leíró és nagy jelentőséggel bíró paraméterek (hosszúság és szélesség) szerepe azonos, míg a pete felnyílására szolgáló, operculum-régió jelentősége kicsi és ellentétes előjelű. Az operculum régiójában a bordákon a felnyílást segítő felületi gyöngyözöttség még majdnem teljesen hiányzik. Ez a csoport az éretlen egyedeket tartalmazza.

A második csoport első főkomponensében a mikropile elveszíti jelentőségét, az operculum szerepe jelentősebbé válik és előjele azonos a pete méretét legjobban meghatározó paraméterekkel. Az operculum-régió tagoltságának, díszítettségének mértéke nem kifejezett. Ez a csoport az átmeneti egyedek csoportja, képviseli azokat a petéket, melyek elindultak az érés folyamatában, az alakot jellemző paraméterek egyenlőtlenül fejlődtek, a peték még nem állnak készen arra, hogy a lárva kibújjon belőlük.

A harmadik csoport első főkomponensében a mikropile ellentétes szerepű a hosszúság, szélesség és az operculum paramétereivel, mely utóbbi a lárva kibújását segítő gyöngyszerű papillákkal tagolt. Ez a csoport a kifejlett példányokat tartalmazza.

A *Knobloch* sp. nov. példányok között többváltozós adatelemző módszerek megfelelő használatával lehetővé vált az egyedfejlődés kimutatása, miszerint a leletegyüttes csoportjai nem a taxonómiai variabilitást, hanem a pete érési folyamatának különböző fázisait mutatják, az éretlen, átmeneti és érett peték különböző morfortípusait jelenítik meg (Bodor et al., in prep.).

9)

A Puna de Atacamában levő Ojos del Salado hegy (6893 m t.sz.f.) különböző magasságokban (4200, 4550, 5260, 5830, 6750 m t.sz.f.) levő mintavételi pontjain, 10, 35 és 60 cm-es mélységekben több éven keresztül órás gyakorisággal történtek talajhőmérséklet mérések. Ezek célja, hogy feltárjuk a permafroszt és a talajban levő jég jelenlétét, továbbá, hogy a mért hőmérséklet-idősorok vizsgálatával pontosabban megismerjük az aktív rétegben zajló folyamatokat (Nagy et al.,

2014, 2016). A Tejos Camp (5830 m t.sz.f.) megfigyelési ponton a permafroszt jelenléte megerősíthető. Az itt rögzített hőmérséklet-idősor reprezentatíván mutatja az aktív rétegben zajló halmazállapot-változást. Ilyenkor a porusokban levő víz/jég hőmérséklete eléri a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, egyensúlyi állapot áll be, a mért hőmérsékletek napi ingadozása alacsonnyá válik, a napi periodikus viselkedés elmarad. A jelenségnek ez utóbbi viselkedését kihasználva, a wavelet-transzformáció permafrosztkutatásba történő bevezetésével és használatával jelentősen lehetett segíteni a felszín alatti jég jelenlétére vonatkozó megállapításaink megbízhatóságát és az aktív rétegben zajló folyamat részletesebb megismerését (Nagy et al., közlésre elfogadva).

A waveletspektrum-bebecslés eredményei alapján megállapítható, hogy a mért hőmérséklet-idősorokban a napi periódus nem csak a halmazállapotváltozás során marad ki, hanem téltől a nyár felé tartó melegedés során, a felszíntől való távolság függvényében, -35 cm-en átlagosan $-1,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig, -60 cm-en átlagosan $-2,53\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig terjedő hőmérsékleti intervallumban is.

A jelenség oka a víz és a jég különböző hőszigetelő képességében rejlik. A felszín alatt, attól távolodva a napi hőmérsékletváltozás amplitúdói a mélység növekedésével csökkennek, aminek mértékét a felső fedőréteg anyagának (kőzet, levegő, víz, jég) hőszigetelése és átlagos hőkapacitása befolyásolja. Ezek nagysága az év során változik. Mivel a víznek kisebb a hővezető képessége, mint a jégnek, a tavaszi, nyári időszak emelkedő hőmérsékletének hatására a felszín közelében elhelyezkedő és a jég olvadása miatt egyre növekvő vastagságú porózus kőzet/víz/levegő összetételű réteg egyre nagyobb szigetelő hatást biztosít, nagyobb, mint a még meg

nem olvadt jeget tartalmazó porózus kőzet (Nagy et al., in prep.).

Felhasznált irodalom

Alföldi, L., Bélteky, L., Böcker, T., Horváth, J., Korim, K., Rémi, R. (Eds.), 1968. Budapest Hévízei. VITUKI, Budapest, p. 365.

Bodor, E. R., Vasile, Ş., Kovács, J., Csiki-Sava, Z. Heřmanová Z.. New morphometrical algorithm on Cretaceous insect eggs, Insect Eggs from the Romanian Upper Cretaceous as a Case Study for Morphometrics, in prep.

Bodor, P., Tóth, A., Kovács, J., Mádl-Szőnyi, J., 2014. Multidimensional data analysis of natural springs in a carbonate region. Extended Abstract, EAGE/TNO Workshop: Basin Hydrodynamic Systems in Relations to Their Contained Resources. Utrecht, Hollandia, 2015. 05. 6-8.

Bunn, A., 2010. Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia* 28 (4), 251–258.

Bunn, A., Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Mérian, P., Qeadan, F., Zang, C., 2016. DplR: Dendrochronology Program Library in R. R Package Version 1 6.4 (letöltés dátuma: 2016. 10. 17.) <http://CRAN.R-project.org/package=dplR>.

Chapman, D.V., Bradley, C., Gettel, G.M., Hatvani, I.G., Hein, T., Kovács, J., Liska, I., Oliver, D.M., Tanos, P., Trásy, B., Várbiro, G., 2016. Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. *Environmental Science & Policy* 64: pp. 141-154.

Davies, D.L., Bouldin, D.W., 1979. A cluster separation measure. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1, pp. 224-227.

Déri-Takács, J., Erőss, A., Kovács, J., 2015. The chemical characterization of the thermal waters in Budapest, Hungary by using multivariate exploratory techniques. *Environmental Earth Sciences* 74 (12), pp. 7475-7486.

Kovács, J., Nagy, M., Czauner, B., Kovács Székely, I., Kériné Borsodi, A., Hatvani, I.G., 2012. Delimiting sub-areas in water bodies using multivariate data analysis on the example of Lake Balaton (W Hungary). *Journal of Environmental Management*, 110, pp. 151–158.

Kovács, J., Kovács, S., Magyar, N., Tanos, P., Hatvani, I. G., Anda, A., 2014a, Classification into homogeneous groups using combined cluster and discriminant analysis. *Environmental Modelling and Software*, 57 pp. 52–59

Kovács, J., Kovács, S., Hatvani, I. G., Magyar, N., Tanos, P., Korponai, J., Blaschke, A., P., 2015 Spatial optimization of monitoring networks on the examples of a river, a lake–wetland system and a sub–surface water system. *Water Resources Management* 29 (14), pp. 5275-5294

Kovács, J., Erőss, A., 2017. Statistically optimal grouping using combined cluster and discriminant analysis (CCDA) on a geochemical database of thermal karst waters in Budapest. *Applied Geochemistry* 84; pp. 76-86.

Kovács, S., Kovács, J., Tanos, P., 2014b. Combined Cluster and Discriminant Analysis. pp 1–6.

Mádl-Szőnyi, J., Tóth, Á., 2015. Basin-scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region. *Hydrogeol. J.* 23 (7), pp. 1359-1380.

Nagy, B., Mari, L., Kovács, J., Nemerkenyi, Zs., Heiling, Zs., 2014. Környezetváltozás a Száraz-Andokban: Az Ojos del Salado monitoring vizsgálata. In: Cserny Tibor, Kovács-Pálffy Péter, Krivánné Horváth Ágnes (szerk.) HUNGEO 2014 Magyar Földtudományi szakemberek XII. találkozója: Magyar felfedezők és kutatók a természeti erőforrások hasznosításáért: cikkgyűjtemény, Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2014.08.20-24. Budapest: Magyarhoni Földtani Társulat, 2014. pp. 53-62. (ISBN:978-963-8221-53-7)

Nagy, B., Kovács, J., Mari, L., Ignéczi, Á., Szalai, Z., Timár, G., 2016. A krioszféra peremén: Az aktív réteg vizsgálata az Ojos del Salado magashegyi sivatagában (Szárz-Andok, Chile). In: Pongrácz R, Mészáros R, Kis A (szerk.): Kutatási és operatívfeladatok meteorológusként: Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 27.. Konferencia helye, ideje: Herceghút, Magyarország, 2016.08.23-25. Budapest: ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék, 2016. pp. 112-118. (ISBN:978-963-284-807-5)

Nagy, B., Ignéczi, Á., Kovács, J., Szalai, Z., Mari, L., Nagy, B., Ignéczi, Á., Kovács, J., Szalai, Z., Mari L: Shallow ground temperature measurements on the highest volcano of the Earth, the Mt. Ojos del Salado, Arid Andes, Chile. Permafrost and Periglacial Processes, közlésre elfogadva

Nagy, B., Kovács, J., Ignéczi, Á., Belezna, Sz., Mari, L., Szalai, Z., Physical parameters of the regolith and their geomorphological consequences in the Earth's highest desert, Ojos del Salado, Puna de Atacama, Dry Andes. Astrobiology, in prep

Szabó, J., 1857. Fürdősziget Pest és Buda között. A Magyar Természettudományi Társulat Évkönyvei, 1851-1857 3, pp. 250-256.

Tanos, P., Kovács, J., Kovács, S., Anda, A., Hatvani, I.G., 2015. Optimization of the monitoring network on the River Tisza (Central Europe, Hungary) using combined cluster and discriminant analysis, taking seasonality into account. Environmental Monitoring and Assessment 187, Paper 575. 14 p.

WFD, 2000. Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. European Union, Luxembourg. PE-CONS 3639/1/00 REV 1