

A BÜKKI KARSZTVÍZSZINT ÉSZLELŐ RENDSZER ADATSORAIN VÉGZETT PERIODICITÁS VIZSGÁLATOK FOURIER TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

NÉMETH ÁGNES¹-TURAI ENDRE²

¹Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515, Miskolc, Egyetemváros, nemeth.agnes85@gmail.com

²Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, 3515, Miskolc, Egyetemváros, gfturai@uni-miskolc.hu

Abstract: In 1992, the water companies concerned in the karst water exploitation of the Bükk had asked the University of Miskolc to work out a system for karst water level prognosis. Today, the water level is being checked at 34 sites, measuring water level, water temperature, and electric conductivity with Dataqua 2002. At the measuring places and sources we measure every 10-30 minutes, and in the well this is 15-30 minutes. As we know, the precipitation has a periodic fluctuation with the changing of the season. The basis of the investigation is to determine a conclusion between the karst water level dataset and the precipitation values. The analysis were made with an analytical version of the Discret Fourier Transformation (DFT). According to the spectral analysis were investigated 3 main cycle of both of dataset: the precipitation and the karst water level display periodicity with a 1 year long, a 1,5 year long and a 3,4 year long.

Bevezetés

A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) keretein belül az első műszerek telepítése 1992-ben történt. A méréseket a bükki karsztvizet ki-termelő vízmű Rt.-k kezdeményezték, a miskolci és Miskolc környéki lakosok megfelelő mennyiségű ivóvizének biztosítása érdekében. Ennek egyik kiváltó oka az volt, hogy a korábbi években gyakran veszélybe került a terület vízellátása. Az elmúlt 47 évben tartósan is előfordult rendkívüli aszály és rendkívüli csapadékbőség. A rendszer alapjait a Böcker Tivadar által 1983-ban tervezett és kivitelezett kutak képezték. Ezen mennyiségi monitoring keretein belül jelenleg 34 helyen, kutakban, megfigyelő kutakban és forrásokban történik folyamatos vízszint, vízhőmérséklet, ill. részben elektromos vezetőképesség mérés. (LÉNÁRT 2007)

Az évek során regisztrált értékeket a havi és éves jelentéseken kívül kutatási célokra is felhasználjuk. Az adatok kapcsolatainak vizsgálata régóta folyamatban lévő feladat, amely során folyamatosan törekszünk a minél egyértelműbb, matematikailag is megfogalmazható összefüggések feltárására és megfogalmazására (NÉMETH 2008).

A mérsékelt égövben a csapadék is azon természeti jelenségek közé tartozik, melynek az évszakok váltakozásával periodicitása van, így az általa jelentősen befolyásolt vízszintre is fel lehet állítani időben állandó ismétlődést. A csapadék és a karsztvízszint kapcsolatával már korábban is nagyon sokan foglalkoztak: kiemelkedő jelentőségű volt Kessler Hubertnek az a felismerése, miszerint a karsztvidékeken csapadékból beszivárgó utánpótlódás mennyisége számítható (*KESSLER 1954*). Böcker Tivadar értékelte a lillafüredi István-barlangban végzett csepegésmérés-vizsgálatokat, és megállapította, hogy a negyedévenként megjelenő határscsapadéktól kevesebb csapadék esetén nincs beszivárgás, míg a határscsapadék feletti mennyiség teljes egészében beszivárog (*BÖCKER 1974*). Szintén karsztos beszivárgási számításokat végzett Maucha az Aggteleki karszton (*MAUCHA 1990*). A későbbiekben Kovács József és társai dinamikus factor analízissel mutatták ki, hogy a Dunántúli – középhegység területén, ahol 1970-1990 között jelentős vízkiemelés volt, a bányászat által létrehozott vízkivétel mellett a karsztvízszint fluktuációban a csapadék is jelentős szereppel bír (*KOVÁCS 2003, KOVÁCS et al. 2007, KOVÁCS et al., 2002, 2004, MÁRKUS et al., 1997, 1999, 2003*).

Vizsgálatunk során meg kívántuk határozni a BKÉR egy tagjának csapadékkal való összefüggését, a két adatsor közötti azonos periódusidejű ciklusain keresztül.

A végzett számítások

Szakterületünkön, a hidrogeológiában, hidrológiában számos kutató próbálkozott különböző természetben lejátszódó folyamatok periodicitás vizsgálatával. Rónai a talaj- és karsztvíz szintjének változásaiban éves és többéves periódusokat állapított meg (*RÓNAI 1985*), Rétháti tiszántúli megfigyelőkutak évi relatív közepes vízállásain, autokorrelációs függvényen 12-13, és 25-26 éves ciklusokat mutatott ki (*RÉTHÁTI 1965*), Kovács Ferenc a Mátra-Bükkalja területén végzett vizsgálatokat a csapadék időbeli változására a Diszkrét Fourier Transzformációval egy 3,1-3,6 és egy 10,4-11,3 éves fő ciklust, és egy 4,7-4,9, és egy 7,2-7,3 éves mellékciklust kapott (*KOVÁCS 2005*).

Az utóbbi években azonban egyre nagyobb teret kaptak azok a periodicitás becslő eljárások, melyek háttérbe szorítják a szubjektív elemeket, és mindemellett közöttük volt olyan, amelynek működéséhez nem feltétlenül az idősor azonos időközönkénti megfigyelése, illetve volt olyan, ami képes az oszcilláló komponensek folyamatos átrendeződésének követésére. Kovács József munkatársaival ennek tükrében végzett vizsgálatokat a Duna-

Tisza közén, a Tiszántúlon (2004), a Dunántúli-középhegység területén (KOVÁCS *et al.* 2002, 2004, 2006, KOVÁCS *et al.*, 2010) és a Kisalföldön (KOVÁCS 2007).

Vizsgálataink során a Fourier transzformációt használtuk, melynek lényege, hogy tér-idő tartománybeli jeleket alakít át frekvencia alapú tartományba. Az általunk alkalmazott periódus vizsgálat nagy előnye, hogy nem szükséges az ekvidisztáns mintavételezés. Az input adatokban tetszőleges időpontokhoz tartozó értékek is megadhatóak. A mindig problémát okozó ún. ablak hatás elkerülésére offset transzformációt alkalmaztunk, ami azt jelenti, hogy a bemenő adatokat zérus sorozattá transzformáltuk, így az adatok átlagértéke zérus lett. Ez a transzformáció a periodicitást egyáltalán nem befolyásolja, csak a négyzetablak torzító hatását csökkenti. (TURAI 1983). Mint tudjuk, a hidrogeológiában a mért adatsorok nem folytonosak, hanem valamilyen mintavételi időköz segítségével mérjük azokat, vagyis diszkrét adatsorokkal van dolgunk.

Egy vizsgált intervallum 0 és T idő között felosztható N db intervallumra, ahol a mintavételi idő egyenlő: $\Delta t = T/N$. Jelölje a f_n a folytonos $f(t)$ függvény értékét t_n időnél. Az adatok időbeli indexe a következő lehet: $n=0, 1, 2, \dots, N-1$. Amennyiben a mintavételi időközt egységnyinek vesszük ($\Delta t = 1$), az idősor diszkrét Fourier transzformáltja (DFT) megadható az alábbi kifejezéssel:

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-ik\omega_0 n} \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

Míg az inverz Fourier transzformáció összefüggése:

$$f_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} F_k e^{ik\omega_0 n} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

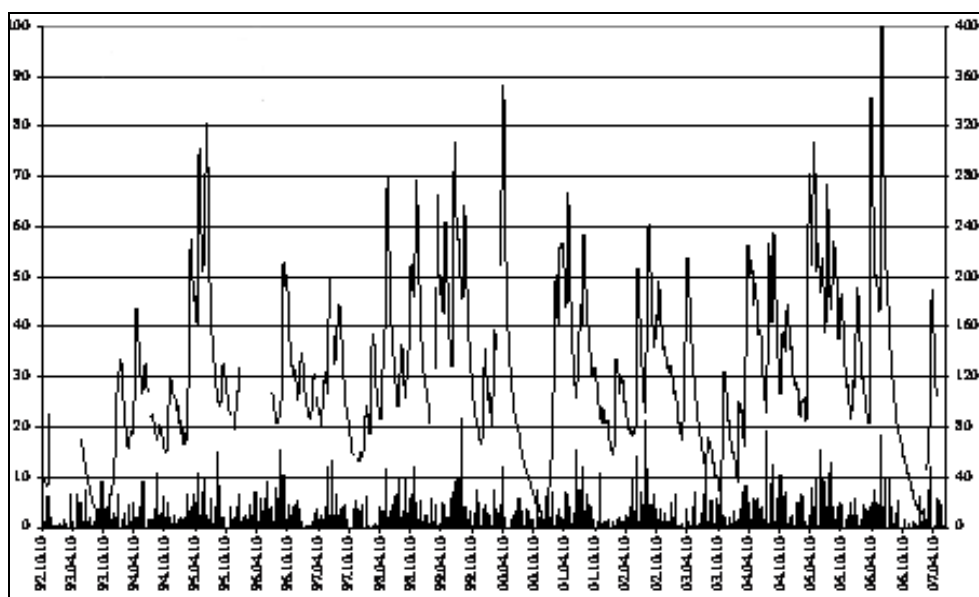
ahol $\omega_0 = 2\pi / N$

Periodikus jelek esetében mindenféleképpen célszerűnek tűnik a frekvencia tartománybeli vizsgálat, hiszen egy-egy domináns időtartománybeli periódus a frekvencia tartományban egyetlen domináns jelként jelenik meg egy-egy, az időperiódusnak megfelelő frekvencia értéknél (SZŰCS *et al.* 2006, SZŰCS *et al.* 2006). A DFT módszer alkalmazásával jól lehet vizsgálni vízszint adatok időbeli mérése alapján a hidrodinamikai rendszer főbb sajátosságait, és kiválóan alkalmas arra is, hogy megállapítsuk a fontosabb periodicitásokat.

Jelen tanulmányt a Bükk-fennsíkon található Nv-17 mérőhely karsztvízszint 15 éves adatsora alapján végeztük el, ugyanis leghosszabb és legösszefüggőbb adatsor innen áll rendelkezésünkre. Csapadék szempontjából alapvetően a Balti-tenger szintje felett 690 méterrel (továbbiakban mBf) elhelyezkedő jávorkúti csapadékmérő állomás adatai használatosak, mivel ez a hegység egészét jól jellemzi (DARABOS 2008).

Az elemzés alapjául a 1992 októbere és 2007 június-júliusa közötti intervallumot tekintettük, a mintavételezés mindkét esetben napi gyakoriságú ($\Delta t=1\text{nap}$), a minták száma pedig (N) 5291 db, illetve a csapadék adatsornál 5366 db (1. ábra) volt. (Itt megjegyeznénk, hogy a későbbiek során a minták száma folyamatosan nőni fog).

Az 1. ábrán (baloldali függőleges tengelyen a vízszint szerepel a maximum értékre normálva százalékban, a jobboldali a csapadéértékeket mutatja mm-ben) jól láthatóak az adatsorokon kialakult periodikus változások, melyek a trend és klasszikus statisztika eszközeivel ugyan meghatározhatóak, de az általunk megkívánt igényeknek nem felelnek meg. Ma már pontosabb vizsgálatok szükségesek, ezért spektrális elemzéseket végeztünk a főbb periodikus komponensek meghatározása miatt (KOVÁCS et al. 2001).



1. ábra: Az Nv-17 csapadékkal való összefüggése (folyamatos vonal: vízszint, oszlop: csapadék)
 Fig.1.: Relationship between the Nv-17 and the precipitation (continuous line: water level, column: precipitation)

A komplex Fourier spektrumot leíró négy valós spektrum (reális spektrum, képzetes spektrum, amplitúdó spektrum és fázis spektrum) közül a továbbiakban az amplitúdó spektrumokat alkalmaztuk, mely megmutatja, hogy a tetszőleges frekvencia körüli egységnyi frekvenciasávba eső harmonikus komponenseknek milyen a súlya a jel kialakításánál (TURAI 2005). A mellék ciklusok könnyebb áttekintésére az ábrázolásnál a logaritmus-lineáris skálát választottuk. Mivel mindkét adatsoron a mintavételi idő 1 nap, önkényesen 10 napnál nagyobb periódusidejű ciklusokat tételeztünk fel, bár ezen érték a későbbiek folyamán még felülvizsgálásra kerül, így a változtatás lehetőségét fenntartjuk.

A kiindulási adatok a következők:

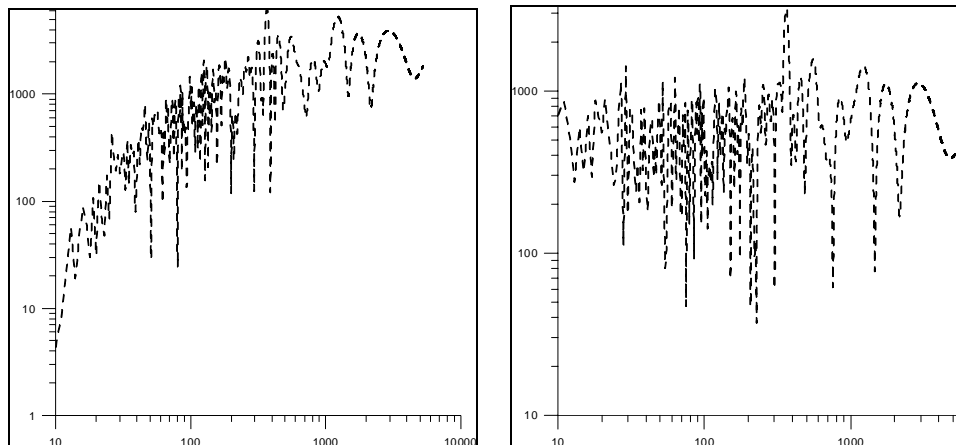
$$\Delta t = 1 \text{ nap}$$

$$T_{\min} = 10 \text{ nap}$$

$$T_{\max} (\text{Nv-17}) = 5290 \text{ nap}; T_{\max} (\text{csapadék}) = 5365 \text{ nap}$$

Eredmények

Ahogy a 2. a, 2. b ábra is mutatja, a spektrumok meghatározása után megállapítottuk az amplitúdósűrűségek amplitúdó spektrumait, majd a relatív amplitúdó spektrumokat (3., 4. ábra), melyeket a maximális spektrumértékre normáltuk. Ez esetben 0% és 100% közötti értéket kaptunk (TURAI 2005). Az ábrákon a függőleges tengelyek jelentik az amplitúdó spektrumok értékeit (mm-ben, ill. %-ban), a vízszintesek pedig a periódusidőt, napokban.



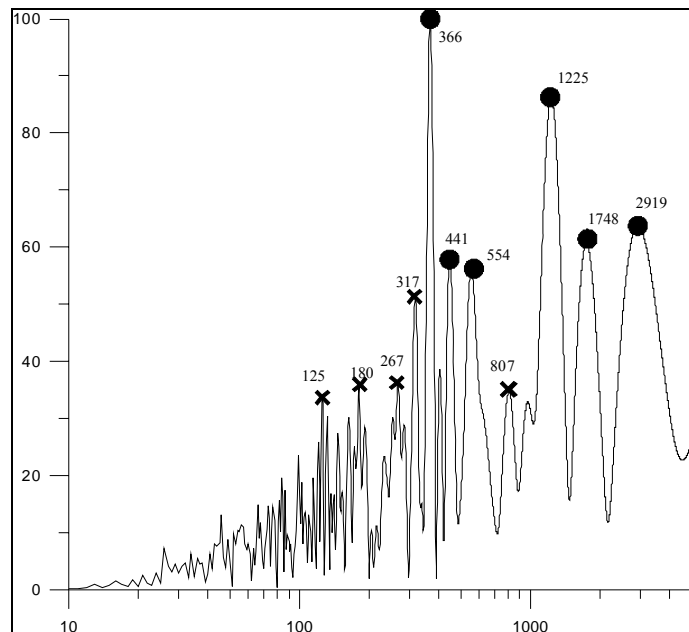
2a ábra: Az Nv-17 amplitúdó spektruma

2. b ábra: A csapadék amplitúdó spektruma

Fig. 2. a: The amplitude spectrum of Nv-17

Fig. 2. b: The amplitude spectrum of precipitation

Az Nv-17 esetében 6 fő illetve 5 mellék ciklust különböztettünk meg. A fő ciklusoknál az 50 % feletti amplitúdó sűrűségű értékeket vettük figyelembe, mellék ciklusoknál pedig a 30 % körülit. Az alábbiak alapján alakultak az eredmények (3. ábra):



3. ábra: Az Nv-17 vízszintjének fő (pont) és mellék (csillag) ciklusai
 Fig.3.: The major (point) and the supplementary (cross) periods of the water level of the Nv-17

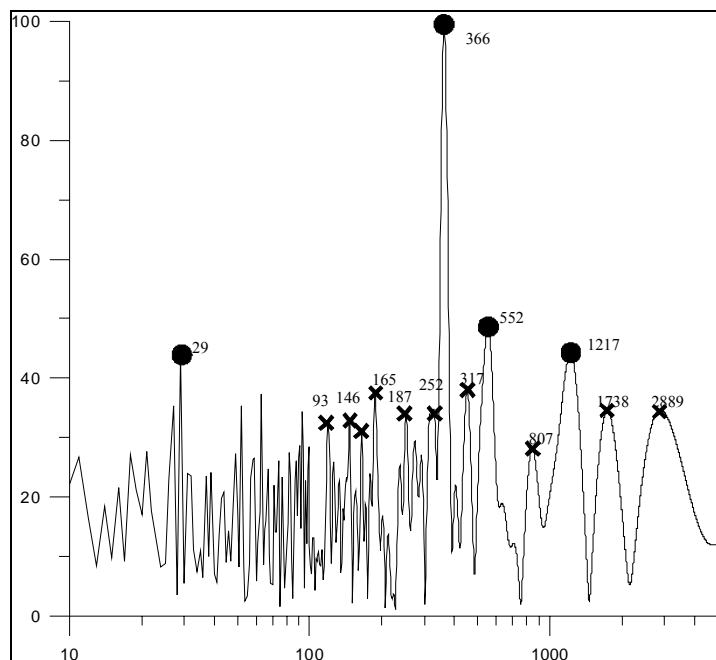
1. fő ciklus: 366 nap, 100 % relatív amplitúdó spektrum, 1 év után jelentkező ciklus, januárban
2. fő ciklus: 1225 nap, 86,29 % relatív amplitúdó spektrum, 3,4 év után jelentkező ciklus, március elején
3. fő ciklus: 2919 nap, 63,77 % relatív amplitúdó spektrum, 8,1 év után jelentkező ciklus, novemberben
4. fő ciklus: 1748 nap, 60,68 % relatív amplitúdó spektrum, 4, 85 év után jelentkező ciklus, júliusban
5. fő ciklus: 441 nap, 58,52 % relatív amplitúdó spektrum, 14 hónap után jelentkező ciklus, januárban
6. fő ciklus: 554 nap, 56,14 % relatív amplitúdó spektrum, 1,5 év után jelentkező ciklus, április elején
1. mellék ciklus: 317 nap, 49,2 % relatív amplitúdó spektrum, 10,5 hónap után jelentkező ciklus, augusztusban

2. mellék ciklus: 267 nap, 36,14 % relatív amplitúdó spektrum, 8,9 hónap után jelentkező ciklus, júliusban
3. mellék ciklus: 175 nap, 35,9 % relatív amplitúdó spektrum, 5,8 hónap után jelentkező ciklus, április közepén
4. mellék ciklus: 807 nap, 34,87 % relatív amplitúdó spektrum, 2,24 év után jelentkező ciklus, február elején
5. mellék ciklus: 163 nap, 30,24 % relatív amplitúdó spektrum, 5,4 hónap után jelentkező ciklus, április elején

A jávorkúti csapadékmérő állomás adataiban 4 fő ciklus, és 9 mellék ciklus mutatható ki. Fő ciklusoknak a 40 % feletti amplitúdó sűrűséggel rendelkező értékeket vettük, mellék ciklusoknak pedig - 1 kivétellel - a 30% feletti értékeket (4. ábra). Az eredmények a következők:

1. fő ciklus: 29 nap, 43,7 % relatív amplitúdó spektrum, 1 hónap után jelentkező ciklus, novemberben,
2. fő ciklus: 363 nap, 100 % relatív amplitúdó spektrum, 1 év után jelentkező ciklus, októberben
3. fő ciklus: 552 nap, 48,54 % relatív amplitúdó spektrum, 1,5 év után jelentkező ciklus, április elején
4. fő ciklus: 1217 nap, 44,2 % relatív amplitúdó spektrum, 3,4 év után jelentkező ciklus, március elején

1. mellék ciklus: 453 nap, 37,86 % relatív amplitúdó spektrum, 15,1 hónap után jelentkező ciklus, augusztusban
2. mellék ciklus: 187 nap, 37,3 % relatív amplitúdó spektrum, 6,2 hónap után jelentkező ciklus, április közepén
3. mellék ciklus: 807 nap, 34,87 % relatív amplitúdó spektrum, 2,24 év után jelentkező ciklus, február elején
4. mellék ciklus: 2889 nap, 34,62 % relatív amplitúdó spektrum, 8,02 év után jelentkező ciklus, novemberben
5. mellék ciklus: 93 nap, 34,26 % relatív amplitúdó spektrum, 3 hónap után jelentkező ciklus, januárban
6. mellék ciklus: 1738 nap, 34,48 % relatív amplitúdó spektrum, 4,85 év után jelentkező ciklus, júliusban
7. mellék ciklus: 317 nap, 34,03 % relatív amplitúdó spektrum, 10,5 hónap után jelentkező ciklus, augusztusban
8. mellék ciklus: 146 nap, 32,43 % relatív amplitúdó spektrum, 4,8 hónap után jelentkező ciklus, március elején
9. mellék ciklus: 252 nap, 33,76 % relatív amplitúdó spektrum, 8,4 hónap után jelentkező ciklus, június végén



4. ábra: A jávorkúti csapadékmérő állomás adatainak fő és mellék ciklusai
 Fig.4.: The major (point) and the supplementary (cross) periods of the water level of Jávorkút

Mivel a mérések 1992. október 10-én indultak, a kapott értékek a következőket jelenthetik:

A karsztvízszint 6 fő periódusa megtalálható a csapadékadatok változásában is, azonban a 14 hónap, a 4,88 év és a 8,1 év után jelentkező ciklus a csapadékmérő állomás adatsorában kisebb relatív súllyal van jelen, így ott mellék ciklusként szerepel. Ugyancsak megtalálhatók a karsztvízszint mellék ciklusai a csapadékadatok mellék ciklusaiban is (pár nap eltéréssel) (KOVÁCS, TURAI ÉS VADÁSZI, 2001).

A két adatsor eredményeit összevetve megállapítható, hogy mindkét esetben a fő ciklusok 1 év, 1,5 év, és 3,4 év után jelentkeztek, őszi, illetve tavaszi időpontban, márciusban, és áprilisban. Ez azt jelenti, hogy a nagy tavaszi esőzések okozzák a legnagyobb karsztvízszint változását. A fenti adatok alapján elmondható még az is, hogy a karsztvízszintben nagy ingadozást okoznak a nyári (július-augusztus), illetve az őszi esőzések (november) is.

Mindkét esetben megfigyelhető, hogy a görbék emelkedő tendenciát mutatnak a grafikon végén, azonban az adatok hiányában nem tudjuk, hogy

ott ténylegesen egy újabb ciklus következne, vagy csak a regisztrátum ablakosságából ered. Ez további vizsgálatokat igényel.

IRODALOM

- BÖCKER, T.* (1974): A beszivárgás meghatározása karsztvidéken a negyedévi határcsapadékok módszerével, - VITUKI beszámoló, Budapest, p. 207-216
- DARABOS, E.* (2008): A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer által szolgáltatott adatok kapcsolatainak vizsgálata, - OTDK dolgozat, Szombathely, 2009., p. 34-36.
- KESSLER, H.* (1954): A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken, - Vízügyi Közlemények, 2. p. 179-188.
- KOVÁCS F.-TURAI, E.-VADÁSZI M.* (2001): Periodicity of Precipitation Data Measured in Bataapáti. - Interpartner-2001, High Technologies Conference, Alushta-Krim, Printed Matters of Conference, 2001, p. 98-101.
- KOVÁCS, F.* (2005): A csapadék időbeli ciklikus változása, - Hidrológiai Közlöny, 2, p. 55-57.
- KOVÁCS, J.* (2007): Modern geomatematikai módszerek alkalmazása hidrogeológiai feladatok megoldására, - Doktori (Ph.D.) értékezés, Szeged, kézirat, p: 101
- KOVÁCS, J.-KOVÁCSNÉ, SZ., I.-KÖNCZÖL, A.* (2006): Periódus vizsgálati módszerek és alkalmazásuk lehetőségei, - Karsztfejlődés XI., p.: 15–24
- KOVÁCS, J.-MÁRKUS, L.-HALUPKA, G.* (2002): Measuring contamination-vulnerability of aquifers by dynamic factor analysis, - 8th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, Berlin, Terra Nostra, Volume 2, p. 463 – 468.
- KOVÁCS, J.-MÁRKUS, L.-HALUPKA, G.* (2004): Dynamic Factor Analysis for Quantifying Aquifer Vulnerability, - Acta Geol. Hung. Vol. 47/1, p. 1-17.
- KOVÁCS, J.-BÍRÓ, L.-MÁRKUS, L.* (2005): Dinamikus faktoranalízis alkalmazása a Dunántúli-középhegység karsztvízszint idősoraira. - X. Karsztfejlődés, konferencia kiadvány, Szombathely, p. 35-48.
- KOVÁCS, J.-HATVANI, I., G.-KORPONAI, J.-KOVÁCS I. SZ.* (2010): Morlet wavelet and autocorrelation analysis of long-term data series of the Kis-Balaton water protection system (KBWPS), - Ecological Engineering, Volume 36, Issue 10, p. 1469-1477.

- KOVÁCS, J.-SZABÓ, P.-CZÉH, R.-SZALAI, J.-VARGA, GY.* (2002): Talajvízállás adatok idősoros vizsgálatai a Duna–Tisza közén I., - IX. Konferencia a felszínalatti vizekről, abstract, p. 16.
- KOVÁCS, J.-SZABÓ, P.-SZALAI, J.* (2004): Talajvízállás adatok idősoros vizsgálatai a Duna – Tisza közén, - Vízügyi Közlemények, 86. évf. 3-4. sz. p. 607-624
- LÉNÁRT L.* (2007): A Bükkben keletkezett kitermelhető karsztvízkészlet folyamatos meghatározásának módszere, - XVI (Az 1992.10.10. – 2007.01.01 közötti mérések értékelése, 2007. február, Miskolc, p. 35-43
- MÁRKUS, L.-BERKE, O.-KOVÁCS, J.-URFER, W.* (1999): Spatial Prediction of the Intensity of Latent Effects Governing Hydrogeological Phenomena *Environmetrics* Vol. 10. p. 633-654.
- MÁRKUS, L.-KOVÁCS, J.-URFER, W.-BERKE, O.* (1997): Investigation of latent dynamic characteristics of space-time phenomena in ecology, Forschungsbericht (Research Report), 97/5, Dortmund University Press, p.1-40.
- MÁRKUS, L.-KOVÁCS, J.* (2003): On the Effects of Water Extraction of Mines in Karstic Areas *Mathematische Geologie* Vol 7.
- MAUCHA, L.* (1990): A karsztos beszivárgás számítása, - Hidrológiai Közlöny, p. 153–161.
- NÉMETH Á.* (2008): A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer hiányzó mérési adatainak pótlása, a pontosított adatsorok alapján előrejelzések kidolgozása, - diplomamunka, Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai - Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék , p. 71-78.
- SZŰCS, P.-LÉNÁRT, L.-SOMODY, A.-TÓTH A.* (2006): The application of discrete Fourier transform to investigate hydraulic continuity, microCAD 2006, International Scientific Conference, 16-17 march 2006, Section C, p. 123-128.
- SZŰCS P.-LÉNÁRT, L.-KOVÁCS, B.-HORÁNYINÉ CS. G.* (2006): A hideg- és melegkarsztvízes rendszer sokváltozós geostatistikai elemzése Miskolc-Tapolcán, A Kárpát-medence ásványvizei III. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda, 2006. július 28-29., Konferencia Kiadvány, p. 67-74.
- TURAI E.* (1983): A Fourier transzformáció egy numerikus módszerre és alkalmazása a GP-jelenség rendszerjellemző függvényével történő leírásánál. - Magyar Geofizika XXIV/1,(1983), p.11-19.
- TURAI E.* (2005): Spektrális adat- és információfeldolgozás. - egyetemi jegyzet., Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar. 2005 p. 1-227