

## **DINAMIKUS FAKTORANALÍZIS ALKALMAZÁSA A DUNÁNTÚLI- KÖZÉPHEGYSÉG KARSZTVÍZSZINT IDŐSORAIRA<sup>1</sup>**

KOVÁCS JÓZSEF<sup>1</sup>-BÍRÓ LÓRÁNT<sup>2</sup>-MÁRKUS LÁSZLÓ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ELTE, TTK, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, kevesolt@geology.elte.hu

<sup>2</sup>ELTE, TTK, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, elbiro@freemail.hu

<sup>3</sup>ELTE, TTK, Valószínűségelméleti és Statisztikai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, markus@cs.elte.hu

*Abstract: In karstic areas fluctuation of the groundwater level can be caused by cumulative effects. It is practically impossible to measure directly these effects. Generally conventional tool to determine latent or background effects governing variability or fluctuations is factor analysis. Since ordinary factor analysis has been elaborated for independent observations and the observed karstwater levels represent realizations of time series at a certain location, dynamic factor analysis has to be used instead. Then/This way the obtained dynamic factors can be identified as water infiltration from precipitation and human interference/effects on the water resources of a certain area*

### **Bevezetés**

A Dunántúli – középhegység területén a bányászat a csapadékvízből történő utánpótlódást meghaladó mennyiségű vizet emelt a felszínre a karsztvíz betörések elkerülésére. A beavatkozás következtében, az addigi természetes vízszintingadozásokat, nagy területre kiterjedő karsztvízszint süllyedések váltották fel. Ennek hatását az egész középhegység területén lehetett érezni. A meglévő determinisztikus modellek mellett, az idősoros vizsgálati módszerek lehetőséget adnak a hatótényezők sztochasztikus értelmezésére is. Egyáltalán nem nyilvánvaló, miként lehet meghatározni egy adott megfigyelési ponton a vízkiemelés hatását, különösen ha figyelembe vesszük a csapadékból származó utánpótlódás véletlen jellegét. A vízszintingadozások alapjául szolgáló rejtett háttérhatások meghatározásának hagyományos eljárása a faktoranalízis. Ez azonban független megfigyelésekre kidolgozott módszer - ami viszont a karsztvízszint idősorok

---

<sup>1</sup> A kutatást támogatta az OTKA T047086 számú pályázata

esetében nem áll fenn, hiszen azok dinamikus szerkezetét figyelembe kell venni – ezért faktoranalízis helyett a dinamikus faktoranalízist kell alkalmazni.

### **A probléma leírása**

Az 1950 – 90 közötti időszakban jelentős bauxit – és szénbányászat jellemezte a Dunántúli – középhegységet. A medence süllyedékekben elhelyezkedő hasznosítható ásványi nyersanyagok bányászatára jelentős veszélyt jelentett a triász képződményekből álló főkarsztvíztároló hatalmas vízkészlete. Ezért az 1950-es évek végétől az 1990-es évek elejéig, megelőző védekezésként, a víztárolóból jelentős mennyiségű – több száz m<sup>3</sup>/perc – karsztvizet emeltek ki. Ennek hatását nem lehetett korlátozni a bányák környékére, így a vízszint csökkenés és környezeti károsodás a főkarsztvíztároló csaknem teljes területére kiterjedt.

Ez a tanulmány a Dunántúli – középhegységben a triász képződményekre szűrőzött figyelő kutak karsztvízszint idősorait vizsgálja. A környezeti károk a vízkiemelés nyomán hamar nyilvánvalóvá váltak, ezért az 1970 – es évek elejére megfigyelőrendszer épült ki, ahol az esetek többségében heti, vagy még sűrűbb észlelés történt. A vizsgálatba vont idősorok eddig az időszakig nyúlnak vissza. Az 1990 utáni megfigyeléseket – habár rendelkezésre állnak – nem vetjük figyelembe ebben a tanulmányban. Az előálló társadalmi, gazdasági változások miatt a bányák bezártak, ami a karsztvízemelések megszűnéséhez vezetett. Ez a tény egy új típusú változást hozott létre aminek nyomán az eddigiekkel éppen ellentétes visszatöltődési folyamat kezdődött el karsztvíztartó rendszerben. Ahhoz, hogy a dinamikus faktoranalízist bevezessük a hidrogeológiába, és kipróbáljuk mint lehetséges vizsgálati módszert, „tiszta” körülmények közötti alkalmazás tűnt célszerűnek. Ilyen megfontolások indokolták az 1970-1990-es időintervallum választását. Ebből adódóan 117 megfigyelőkutat tudunk kiválasztani vizsgálatainkhoz, melyek elfogadhatóan folyamatos adatsort szolgáltatottak ebben az időben. Az *1. ábrán* a vizsgálatba bevont kutak területi eloszlása látható. A megfigyelések az időben nem egyenletesen, hanem - főleg a 70 – es években - gyakran szórványosan történtek. Ez indokolta, hogy a vízszint idősorok – hidrográfok – éves átlagait vonjuk be a vizsgálatokba.

A karsztvízszint ingadozásban létezik egy természetes véletlen ingadozás, melyet a csapadék beszivárgásából származó vízutánpótlódás és a források megcsapolása okoz. Mivel a források hozamát a beszivárgott víz mennyisége szabja meg, ezért a vízszint-ingadozás fő oka végső soron mégis a beszivárgás

lesz. Léteznek más háttértényezők, faktorok is, melyek a vízszintingadozást befolyásolják. Ilyen például a szomszédos víztartók közötti hidraulikai kapcsolat eredményeként történő átszivárgás. Ennek mértéke csak becsülhető, de ezen túlmenően a beszivárgáshoz viszonyítva lényegesen kisebb a szerepük, ezért a vizsgálatban elhanyagoltuk. A karsztvízszint ingadozás természetes menetét a bányák nagy arányú vízkivétele következtében kialakuló vízszintsüllyedés váltotta fel. Ennek mértékét az *1. ábrán* arányos oszlopokkal jelenítettük meg. A kommunális és bányászati célú vízkivétel a vizsgált időszakban átlagosan  $654\text{m}^3/\text{p}$  volt. Ez olyan nagymértékű, hogy például a főkarsztos források vízhozama felére-harmadára csökkent, de nagy számban voltak olyanok is, amik teljesen kiszáradtak. A kiemelt bányavíz mennyisége, a művelés alá vont területek vízföldtani helyzetének függvényében, jelentős ingadozásokat mutatott.

E megfontolások lehetővé tették egy valószínűségelméleten nyugvó matematikai modell kialakítását. Az egyes megfigyelő kutak által biztosított adatok időfüggő véletlen mennyiségek megfigyeléseinek, méréseinek tekinthetők, s így az egyes kutak hidrográfiai felfoghatóak sztochasztikus folyamatok realizációiként. Az egyes kutakhoz tartozó folyamatok azonban nem önmagukban álló, egymástól független jelenségek, hanem egy és ugyanazon természeti jelenség különböző lokális körülmények közötti megnyilvánulásai. Ezért természetes ezeket a folyamatokat összefogva, egyetlen többdimenziós folyamat komponenseiként szemlélni, mely komponensek természetesen valószínűségelméletileg összefüggőek. Hangsúlyozni kell azonban, hogy ez az összefüggés térbeli szerkezethez kötött, és ekkor az adatok egyetlen egydimenziós, de tér-idő-függő sztochasztikus folyamat megfigyeléseként interpretálhatóak, azonban jelen cikkünkben nem ezt a megközelítést tartjuk célravezetőnek. A térbeli függésről azt feltételezzük, hogy a különböző helyeken megfigyelt folyamatok ugyanazon néhány látens hatás - beszivárgás, vízkiemelés - befolyása alatt állnak, és csupán e hatások intenzitása függ a helytől. Így először ezen hatások identifikálása, majd pedig intenzitásuk térbeli eloszlásának becslése a célunk.

### **A dinamikus faktoranalízis**

Látszólag nagyon összetett időfüggő véletlen folyamatokat gyakran csupán néhány - általában lényegesen egyszerűbb dinamikus struktúrával rendelkező - háttérhatás vagy tényező vezérel. A becslési vagy előrejelzési eljárások nagy mértékben javíthatóak e hatótényezők ismeretében. A háttérhatások meg-

határozásához a faktoranalízis a statisztika alapvető eszköze. Először *ANDERSON* (1963) hívta fel a figyelmet arra, hogy a faktoranalízis többdimenziós idősorokra alkalmazva nem szolgáltat korrektt eredményt, különösen akkor, amikor késleltetett összefüggés van az egyes komponensek között. Ennek oka, hogy a hagyományos faktoranalízist független megfigyelésekre fejlesztették ki, s e függetlenség az idősorokra nem áll fenn. E tény egy új eljárás létrehozását igényli, mely figyelembe veszi a megfigyelések illetve a faktor-idősorok dinamikus jellegét.

A mi faktoranalízis modellünk a faktor-idősorokat autoregressziós jellegűnek tételezi fel, és egy olyan költségfüggvényt minimalizál, mely az előrejelzés és az állapot becslés feltételes varianciájának lineáris kombinációja, biztosítva ezáltal, hogy a faktorok jól előrejelezhetők és az eredeti idősorok belőlük jól reprodukálhatóak legyenek. A dinamikus faktormodellek további részleteivel kapcsolatban *BÁNKÖVI-VELICZKY-ZIERMANN* (1979), *BÁNKÖVI-VELICZKY-ZIERMANN* (1992), *ZIERMANN-MICHALETZKY* (1995) és *TUSNÁDY-ZIERMANN* (1986) munkáira hívjuk fel az olvasó figyelmét.

A következőkben az általunk használt dinamikus faktor-modell rövid leírására kerül sor.

Egy szokásos faktor-modell egyenlőség:

$$Y = \mathbf{A} \cdot F + \varepsilon \quad (1)$$

azt fejezi ki, hogy az  $Y$  megfigyelés úgy áll elő, mint néhány látens hatásnak (a faktorok  $F$  vektora) az  $A$  mátrix által meghatározott lineáris kombinációjához adódott véletlen zaj ( $\varepsilon$ ) eredője. A megfigyelhető idősorok száma általában jelentősen nagyobb, mint a faktorok száma, így a faktormodell alkalmazása egyfajta dimenzió redukciót jelent. A dinamikus faktormodellek esetén figyelembe vett döntő különbség az, hogy mind a megfigyelések, mind a faktorok empirikus idősorok, s nem az általános modelleknél feltett független megfigyelések. A modell leírásának teljessé tételéhez a faktorok dinamikus szerkezetét pontosabban meg kell adni. Mindenek előtt az  $A$ -mátrix révén adott lineáris transzformációnak időtől függetlennek kell lennie. A megfigyelések időfüggőségét hangsúlyozandó,  $t$  függvényeként írjuk őket:

$$Y(t) = (Y_1(t), \dots, Y_N(t))', \quad 0 \leq t \leq T.$$

és ezen N-dimenziós idősor gyenge stacionaritását is feltételezzük – eltekintve egy lehetséges lineáris trendtől. Ezzel a rendszert - trendtől eltekintve – stabilnak, azonos valószínűségi törvényszerűséget követőnek tételezzük fel az időben. Így (1) új formája az alábbi:

$$Y(t) = \mathbf{A} \cdot F(t) + \varepsilon(t) . (2)$$

melyben az A-mátrix N×M tagú és determinisztikus. A faktor idősor F(t) ennek megfelelően M dimenziós -  $M \ll N$  - és ugyancsak gyengén stacionáriusnak, továbbá komponenseit korrelálatlanoknak feltételezzük.

$$F(t) = (F_1(t), \dots, F_M(t))', \quad 0 \leq t \leq T,$$

Végezetül az egyenletben szereplő

$$\varepsilon(t) = (\varepsilon_1(t), \dots, \varepsilon_N(t))', \quad 0 \leq t \leq T.$$

egy N dimenziós Gauss fehér zaj. Jegyezzük meg itt, hogy ha a faktor is Gauss folyamat, akkor a modell linearitása miatt a megfigyelések is Gauss-folyamatok lesznek, és a gyenge stacionaritásból az erős is következik.

Az F(t) faktorok bizonyos értelemben véve optimális becslésének megtalálására törekszünk:

$$\hat{F}(t) = (\hat{F}_1(t), \dots, \hat{F}_M(t))'$$

Modellünk becslésének a következő három, természetes követelményre kell összpontosítania:

(i) A faktorok becslésének a megfigyelések idő-független homogén, lineáris transzformációinak kell lenniük.

$$\hat{F}(t) = \mathbf{B} \cdot Y(t) (3)$$

(ii) Az  $F_j(t)$  faktor idősor-komponenseknek múltbeli viselkedésük alapján lineárisan jól előrejelezhetőeknek kell lenniük. E követelmény biztosan teljesül, ha azokat  $L_j$  rendű autoregressziós folyamatoknak tekintjük, egy konstanst is megengedve az autoregresszióban, a lineáris trend leírására:

$$F_j(t) = c_{j,0} + \sum_{k=1}^{L_j} c_{j,k} \cdot F_j(t-k) + \delta_j(t) \quad (4)$$

Ebben az egyenletben a  $\delta_j(t)$ -k Gauss fehér zajok, függetlenek egymástól és  $\varepsilon(t)$ -től. Az autoregresszió választását nem csak egyszerű dinamikus szerkezete indokolja, hanem az a tény is, hogy a megfigyelőkutak hidrográfjai egyébként megbízhatóan modellezhetők autoregresszív folyamatokkal.

(iii) A faktorok időfüggetlen lineáris transzformációja

$$\hat{Y}(t) = \mathbf{D} \cdot \hat{F}(t) \quad (5)$$

az  $Y(t)$  megfigyelések „jó” becsléseit kell eredményezze – ezeket faktor-prediktoroknak nevezzük.

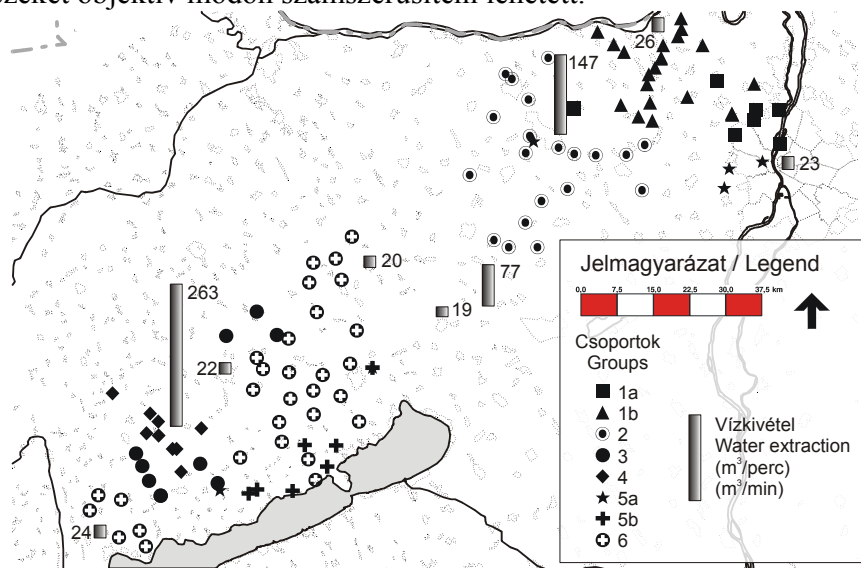
### **Alkalmazása karsztvíz-szint adatokra**

A leírt dinamikus faktoranalízist alkalmaztuk annak érdekében, hogy a megfigyelt tapasztalati idősorokat (hidrográfokat), a befolyásoló faktorok lineáris kombinációjára bonthassuk.

A faktorok számának meghatározására több módszer létezik. A mi esetünkben a hidrográfok viselkedésének leírásában három faktor bizonyult kielégítő pontosságúnak. A három faktor mindegyikét elsőrendű autoregressziós folyamatként modellezve mind az Akaike mind a Bayes információs kritérium minimumot ad így a rend növelése nem szükséges.

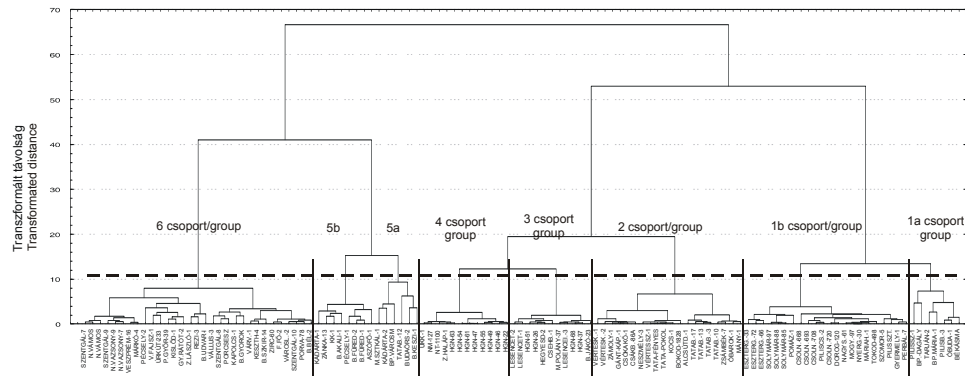
A számításokhoz a Michaletzky, Tusnady, Zierman és Bolla által kifejlesztett programot használtuk. Mivel nem volt okunk arra, hogy egyik vagy másik megfigyelő kút, vagy faktor viselkedését hangsúlyosabbá tegyük, egyenlő súlyt alkalmaztunk. A dinamikus faktoranalízis használatának közvetlen célja a hidrográfok alakját befolyásoló fő hatások meghatározása és ezen hatások térbeli eloszlásának megadása. Amint az várható volt, a kapott faktorok értelmezé-

se világosan megfelel annak a jól ismert ténynek, hogy a hidrográfok lefutását két fő tényező, a vízkivétel és a beszivárgás határozza meg. Az analízis talán legértékesebb eredményeként azt kaptuk, hogy a dinamikus faktorok súlytényezői egy adott helyhez tartozó hatások intenzitásának mértékeként szolgálnak, így ezeket objektív módon számszerűsíteni lehetett.



1. ábra A megfigyelőkutak és a vízkivételi helyek  
Figure 1. Monitoring wells and points of water extractions

A vizsgált területen – az 1. ábra tanúsága szerint is – Nyírádon és Tatabányán voltak a fő szivattyúzási központok. Egyéb, de jóval kisebb mértékű vízkivétel történt néhány más bauxit- és szénbányában, továbbá kommunális célokkal. Az analízisben elegendőnek tűnt a domináló vízkivételi adatokat használni, megjegyezve, hogy a helyi vízkiemelések is fontos szerepet játszanak regionálisan. A vízkiemelés közelében levő megfigyelőkutak hozzávetőleg 80 méteres karsztvíz-szint csökkenést regisztráltak, de még a vízkivételi kutaktól távolabb is meghaladta e csökkenés a 20 métert. A csökkenés nem volt egy-séges, üteme az idővel változott.



2.ábra: A kutak dendrogramja  
Figure 2. Dendrogram of wells

Előzetesen, az értelmezést segítő, a vízszint megfigyelő kutak idősorait csoportosítottuk. A hasonló mintázatú hidrográfokat kívántuk egy csoportba sorolni. Ehhez klaszteranalízist használtunk Ward módszerrel és négyzetes euklideszi távolsággal. Az eredményezett dendrogramot a 2. ábra mutatja, míg a 3. ábrán figyelhetjük meg. Ha a csoportok térbeli elhelyezkedését vizsgáljuk, szembe tűnik, hogy mintegy gyűrűszerűen helyezkednek el a vízkiemelések helye mint centrum körül (lásd 1. ábra). Jól látható, hogy nem elsősorban a vízkiemelés helyétől mért abszolút távolság a döntő, hanem a kút vízföldtani helyzete a mérvadó. Az ez alól kivételt képező megfigyelőkutak erőteljes lokális hatásokat jeleznek. Jól látszik a különböző vízkivételek különböző hidrográf mintázatokat hoztak létre, ezért nem kerülnek egy csoportba a két fő depresszió körüli kutak. A depressziós tölcser peremén különböző hidrogeológiai helyzeteknek megfelelő kútcsoportok illetve azok mintázatait láthatjuk.

Az I. csoportba a Dunántúli-középhegység ÉK-i részének olyan hidrográfjai kerültek, melyek az 1970-es évek elején visszatöltődési jeleket mutatnak, vagy az időtartomány egy jelentős részében nem érte őket a vízkiemelés hatása. Különösen látható ez az I.b. csoportban, amely hidrográfok 1982-1983 óta mutatnak vízszint csökkenést. Olyan megfigyelési pontok vannak itt, melyek Dorog és Tatabánya között helyezkednek el. A II. csoport kútjai egyenletes vízszintsüllyedést mutatnak, Tatabánya környékiek, az itt történt vízkiemelés hatása alatt állnak. A III., IV., és VI. csoport megfigyelési pontjai a Bakony és a Keszthelyi-hegység területén helyezkednek el. Mindegyikük jelentős vízszint-



süllyedést mutat. A IV. csoportban vannak a nyírádi depresszió középpontjához legközelebbi, majd egy „körrel” kijebb foglalnak helyet, a III. csoport és még egy „körrel” kijebb a VI. csoport kútjai. Az V. csoport kútjai egyáltalán nem mutatnak depressziós hatásokat, sőt az V.a. csoportban lévők még kis vízszint-emelkedést is jeleznek. Ezek a karsztvíz megfigyelési pontok a Balaton-felvidéken vannak. Hidrogeológiai helyzetük egyedi, mert a Litéri-feltolódás eddig megakadályozta a vízkivétel hatásának megjelenését ezen a területen.

A kapott faktormegoldások azonosításához kerestük a kapcsolatot azokkal a tényezőkkel, amelyek szakmai szempontból szóba jöhetnek. Az egyik ilyen nyilvánvalóan a vízkivétel. Ennek legegyszerűbb számszerűsített vizsgálati lehetősége az, ha a hidrogáfok hasonlóságainak alapján keressük a kapcsolatot a faktorokkal. Ezért korrelációs együtthatókat számoltunk, a klaszterezéssel meghatározott csoportok, és a faktorok között. A becslési eredményt mutatja az I. táblázat.

I. táblázat  
Table I.

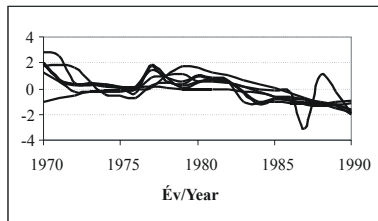
Korreláció a hidrogáfok csoportjai és faktorok között  
Correlations of factors and groups of hydrographs

csoporth	I. faktor	II. faktor	III. faktor
1a	0.53	0.73	0.07
1b	0.40	0.91	0.08
2	0.77	0.62	0.06
3	0.91	0.41	0.04
4	0.96	0.26	0.00
5a	-0.22	-0.77	0.13
5b	0.01	0.09	0.98
6	0.86	0.39	0.30

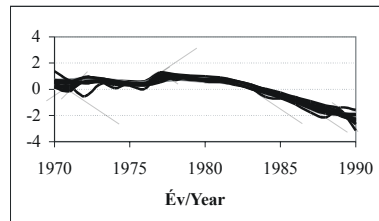
II. táblázat  
Table II.

Korreláció a számított beszivárgások és a III. faktor között  
Correlations of factor3 and computed infiltrations

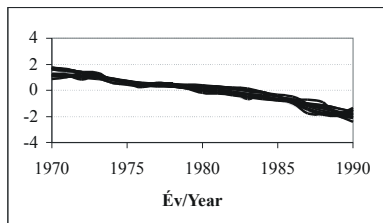
beszivárgás	korreláció
Kessler 1	0.81
Kessler 2	0.80
Böcker	0.60
Maucha	0.38
Morton	0.47



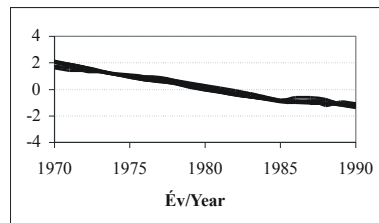
1a csoport/group



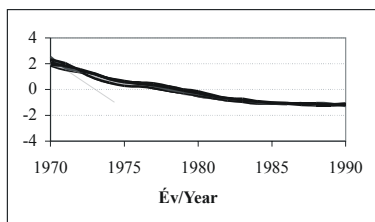
1b csoport/group



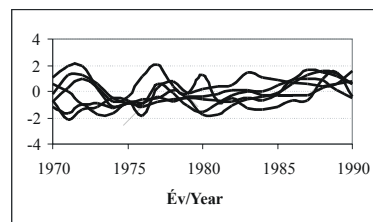
2 csoport/group



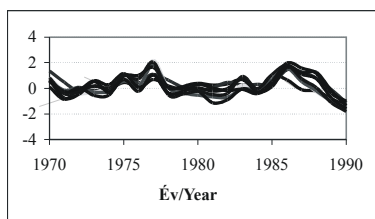
3 csoport/group



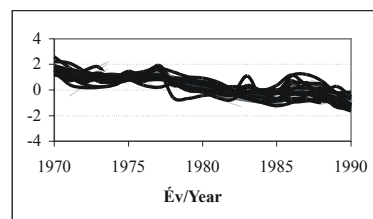
4 csoport/group



5a csoport/group



5b csoport/group



6 csoport/group

3. ábra: A kútcsoportok fluktuációi  
Figure 3. Fluctuation of well groups

III. táblázat  
Table III.

Korreláció a beszivárgás számítási módszerek között, Dorog meteorológiai állomáson  
Correlations of computed infiltrations at Dorog (Mid-West Hungary) meteorological station

beszivárgás	Kessler 1	Kessler 2	Böcker	Maucha	Morton
Kessler 1	1.00	0.9	0.76	0.63	0.53
Kessler 2	0.99	1.00	0.79	0.71	0.57
Böcker	0.76	0.79	1.00	0.69	0.62
Maucha	0.63	0.71	0.69	1.00	0.52
Morton	0.53	0.57	0.62	0.52	1.00

IV. táblázat  
Table IV.

Korreláció a beszivárgás számítási módszerek között, Várpalota meteorológiai állomáson  
Correlations of computed infiltrations at Várpalota (Mid-West Hungary) meteorological station

beszivárgás	Kessler 1	Kessler 2	Böcker	Maucha	Morton
Kessler 1	1.00	0.99	0.70	0.51	0.77
Kessler 2	0.99	1.00	0.75	0.63	0.77
Böcker	0.70	0.75	1.00	0.63	0.75
Maucha	0.51	0.63	0.63	1.00	0.50
Morton	0.77	0.77	0.75	0.50	1.00

Az első faktor a Bakony-hegység kútjaival mutat szoros kapcsolatot, és kevésbé szorosat a földtani értelemben vett távolabbi kutakkal, mint például a Keszthelyi-hegység megfigyelési pontjai (VI. csoport). Amint látható a kapcsolat a IV. csoporttal a legerősebb. Ezek az eredmények valószínűsítik, hogy az első faktor a nyírádi vízkiemelés hatását tükrözi. A vízkiemelési ponttól távolodva annak hatása csökken, hiszen a vízkiemelés jelentős szerepe mellett más háttértényezők is nagyobb szerephez jutnak. Ezt mutatja a III. és VI. csoport csökkenő korrelációs együtthatója és a megfigyelhető, egyre nagyobb szerephez jutó fluktuáció. A második faktor is vízemelésekkel van kapcsolatban, aminek oka, hogy a teljes Dunántúli-középhegység területén nem egyetlen jelentős vízkiemelés „szabályozza” a vízszintek ingadozását, hanem több. Így fordulhat elő, hogy a második faktor is a vízkiemelésekkel, mégpedig a Dorog és Tatabánya környékiekkel van kapcsolatban. Ez az eredmény új elem a módszer alkalmazásának eddigi történetében. Az eddigi esetekben ugyanis egy háttértényezőt egy faktor írt le MÁRKUS-BERKE-KOVÁCS-URFER (1999), KOVÁCS-MÁRKUS-HALUPKA (2004). Itt azonban az eltérő vízkiemelések külön-

böző háttértényezőként jelennek meg. Ez természetes, hiszen a vízkiemelések között jelentős eltérések mutatkozhatnak

A harmadik faktor – a táblázat tanúsága szerint – a Balaton-felvidéki kutakkal mutat közvetlen és nagyon szoros kapcsolatot. Mivel ezen megfigyelési pontokon a Litéri-feltolódás miatt még nem érződik a hatása, a vízkiemeléseknek csak a beszivárgás lehet a vízszintingadozás alakító tényezője. Érdemes ezért megtekinteni, hogy milyen kapcsolatban van a számított beszivárgással a harmadik faktor. Az eredményt az *II. táblázat* mutatja be.

A számításaink a következőképpen készültek. A Dunántúli-középhegység 45 csapadék-mérő állomására ötféle módszerrel (*KESSLER* (1954) első és javított, *BÖCKER* (1974), *MAUCHA* (1990), *MORTON* (1993) *CSEPREGI* (1995) által módosított módszerekkel) számított beszivárgások átlagát vettük és ezeknek a korrelációját a harmadik faktoral. Fontos megjegyezni, azért vettük a beszivárgás egész területre vonatkozó átlagát, mert a számított faktorok is a teljes fedettséget biztosító 117 megfigyelési pontra vonatkozik. A legjobb korrelációs együtthatókat Kessler módszereire kaptuk. Ez fontos eredmény. A beszivárgás számítások mindegyike ugyanis, a csapadékot súlyozza valamilyen módon. Az alkalmazott módszerek azonban nagyon eltérő eredményeket szolgáltatnak. Ugyanarra a csapadékmérő állomásra, ugyanarra az időszakra a számított beszivárgások egymással való kapcsolata némely esetben csak 0.50 - 0.60 korrelációs együtthatókkal jellemezhető. Ezt jelenítik meg a *III., IV. táblázatok* (véletlenszerűen választottuk ki a Dorog, Várpalota csapadékmérő állomásokat).

Szemléletesen látható az a bizonytalanság, ami a beszivárgás számítást kíséri, hiszen egyes beszivárgási módszerek szinte kapcsolatban sincsenek egymással pl egy 0.50 korrelációs együttható ugyanis azt mutatja, hogy a lineáris kapcsolat az esetek 25%-ban van csak meg! Mivel a faktorokat a telített zóna vízszintingadozásaiból becsültük, és az egyes faktorok az egyéb hatások nélküli, „*tiszta*” folyamatokat reprezentálják, jelen esetben a középhegységi beszivárgás időbeli folyamatát kaptuk meg. Ez a megállapítás segítséget nyújthat az adott területen alkalmazható legjobb beszivárgás számítási módszer kiválasztásában, aminek segítségével pontosíthatók a dinamikus utánpótlódó vízhozam számítások.

## Összefoglalás

A Dunántúli – középhegység területén sikerült az első két dinamikus faktort a vízkiemelések, míg a harmadikat a beszivárgás hatásaként azonosítanunk. Az, hogy e két hatás nagyban meghatározza a hidrográfok lefutását az egész vizsgált területen természetes a hidrogeológus számára. Amiben e nyilvánvaló ténynél többet tudunk mondani egyrészt az, hogy a beszivárgás folyamatára a víztartó telített zónájában bekövetkezett vízszint változásokból következtetünk. Ez lehetőséget nyújt a klasszikus, a csapadékból kiinduló beszivárgászámítási módszerek értékelésére. Az eredmények alapján esetünkre a Kessler féle beszivárgászámítás bizonyult a legjobbnak. A dinamikus faktoranalízis másik hozadéka, hogy a faktorokhoz faktorsúlyokat is rendel. Ezek az adott látens hatás intenzitásának mérőszámai, hiszen azt a súlytényezőt adják meg, amennyivel az adott faktor a megfigyelést, azaz a hidrográfot előállító lineáris kombinációban szerepel. Esetünkben tehát a faktorsúlyok a beszivárgás és a vízkiemelés intenzitásának egy adott megfigyelési helyhez tartozó objektív mérőszámai. Ezek ismerete fontos, mert megnyitja az utat a sérülékenység egzakt kvantitatív vizsgálatához. Ennek az utóbbi ténynek az ismertetése azonban túlmegegy e tanulmány keretein.

## IRODALOM

- ANDERSON, R. L.* (1963): The use of factor analysis in the statistical analysis of multiple time series - *Psychometrika* Vol. 28. p.1-25.
- BÁNKÖVI, GY.-VELICZKY, J.-ZIERMANN, M.* (1979): Dynamic models for prediction of the development of national economies - In: *Models and Decision Making in National Economies*, eds.: Janssen, J. M. L., Pau, L. F., Straszak, A., North-Holland, Amsterdam, p.257-267.
- BÁNKÖVI, GY.-VELICZKY, J.-ZIERMANN, M.* (1992): *Dinamikus Faktor Analízis* - Marx Károly Közgazdasági Egyetem, Budapest, p.81.
- BÖCKER T.* (1974): A beszivárgás meghatározása karsztvidéken a negyedévi határcsapadékok módszerével - *VITUKI beszámoló*, Budapest, p. 207-216.
- CSEPREGI A.* (1995): A talajvíz utánpótlódásának vizsgálata az Alföldön a csapadék és a területi evapotranszpirációs adatok alapján - *Kézirat*, Vituki Rt, p. 11.

- KESSLER H.* (1954): A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken - *Vízügyi Közlemények*, 2. p. 179-188
- J. KOVÁCS – L. MÁRKUS - G. HALUPKA* (2004): Dynamic Factor Analysis for Quantifying Aquifer Vulnerability - *Acta Geol. Hung.* Vol. 47/1, p. 1-17.
- MAUCHA L.* (1990): A karsztos beszivárgás számítása - *Hidrológiai Közlöny*, 70. évf. 3. szám, p. 153-161., Budapest
- 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
- MORTON, F. I.* (1983) : Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice - *Journal of Hydrology*, Vol. 66, 1-76.
- TUSNÁDY, G.-ZIERMANN, M.* (1986): *Idősorok analízise* - Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- ZIERMANN, M.-MICHALETZKY, GY.* (1995): *Idősorok faktoranalízise* - *Sigma*, Vol. 26. No. 3-4., p.77-91.