

# KÜLÖNBÖZŐ IDŐSOR-ELEMZÉSI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA EGY METEOROLÓGIAI ADATSORON

## COMPARISON OF DIFFERENT TIME SERIES' ANALYSIS EXAMINATIONS ON A METEOROLOGICAL DATA SERIES

Kocsis Tímea<sup>1</sup>, Töröcsvári Zsolt<sup>1</sup>, Anda Angéla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Gazdasági Egyetem Kereskedelmi, Vendéglátóipari és Idegenforgalmi Kar Módszertani Intézeti Tanszéki Osztály, 1054 Budapest Alkotmány u. 9–11., [jakuschnekocsis.timea@uni-bge.hu](mailto:jakuschnekocsis.timea@uni-bge.hu); [torocsvari.zsolt@uni-bge.hu](mailto:torocsvari.zsolt@uni-bge.hu)

<sup>2</sup>Pannon Egyetem Georgikon Kar Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék 8360 Keszthely Festetics u. 7., [anda-a@georgikon.hu](mailto:anda-a@georgikon.hu)

**Összefoglalás.** Keszthelyen a meteorológiai mérések igen hosszú múltra tekintenek vissza. 1871 óta folyamatos a meteorológiai elemek megfigyelése, mérése. A meteorológiai megfigyelések során a meteorológiai állomás kevés alkalommal költözött, és mivel kisvárosról van szó, a költözés távolságban sem volt jelentős. Ennek a városnak 1871-től 2014-ig terjedő havi bontású csapadék-adatsorait használtuk fel vizsgálatunkban. Különböző típusú idősor-elemzési vizsgálatokat végeztünk annak érdekében, hogy megállapítsuk, melyik típusú elemzési elv írja le legpontosabban az adatsorok alakulását. A gazdaságtudományi képzésben oktatott idősor-elemzési módszereket felhasználva teszteltünk az additív és multiplikatív analitikus trendszámítási modelleket lineáris trend, exponenciális trend és hatványkitevős trend segítségével, valamint a szezonális meghatározásával, és kerestük a legjobban illeszkedő függvényt. Az elemzés statisztikai módszertani vonatkozásai mellett a csapadékmennyiség változásában kimutatható tendenciákat is értelmeztük, és azt találtuk, hogy a lineáris trend írja le legpontosabban az adatok alakulását, és csak a tavaszi évszakban és a havi összegek elemzése során áprilisban és októberben mutatható ki szignifikáns csapadécsökkenés.

**Abstract.** Meteorological observations at Keszthely have long historical background. Observations and measurements of the meteorological elements are continuous from 1871. The position of the meteorological observatory has changed few times and as Keszthely is a small town, these changes don't mean much of distance. Monthly precipitation sums measured at this station were used in this research. Several methods for analysis of time-series were applied to determine which method is the best fitting to the data base. Methods for analysis of time-series taught in the field of economic studies were tested: analytical trends as linear-, exponential- and power trend in additive and multiplicative context with estimation of seasonality. Beside the statistical methodology concept, changes in precipitation were examined. Linear trend was the best fitting trend function for all time-series and it can be concluded that in spring and among the months April and October show significant decreasing tendencies at 5% significance level.

**Bevezetés és irodalmi áttekintés.** A klímaváltozás egyike azoknak az égető problémáknak, amikkel a 21. században az emberi társadalom szembesülni kényszerül, és hatásaival számolnia kell. Az IPCC (2013) Ötödik Helyzetértékelő Jelentése szerint 95%-os valószínűséggel az emberi tevékenység meghatározó szerepet játszott az éghajlati rendszer jelenleg zajló változásában. Ez a változás a Föld minden területén éreztetni fogja hatását. Ez alól az Európa szívében fekvő Kárpát-medence sem lesz kivétel. Ez a térség egyike a legsérülékenyebb és egyben legkevésbé megértett régióknak. Esetenként a klímamodellek által szolgáltatott szimulációs vizsgálatok egymással ellentmondó nagyságú és irányú változásokat jósolnak erre a területre vonatkozóan. A számítógépes modell-szimulációk mellett érdekes felvetést ad *Prista et al.* (2015). A szerzők földtörténeti analógiákat kerestek a várható megváltozott éghajlati feltételekre, és az IPCC forgatókönyveknek megfelelően a pliocén egy melegebb időszakát jelölték meg, mint az Európában várható melegebb éghajlat analógiáját.

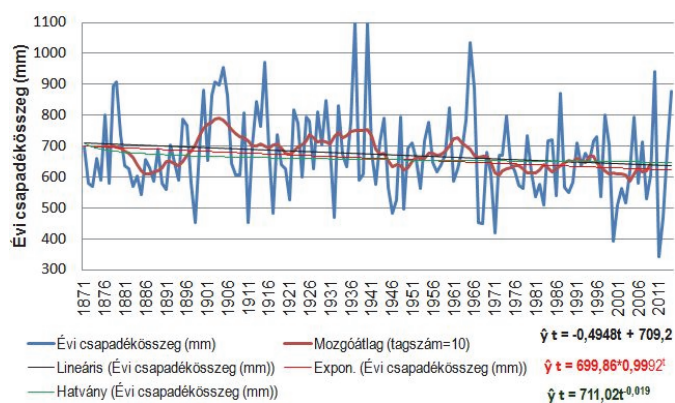
A klímaváltozás egyik hatása a hidrológiai ciklus módosulása lehet. Az IPCC (2013) Ötödik Helyzetértékelő Jelentése szerint 1901 óta nőtt a lehullott csapadék mennyisége az északi félteke közepes földrajzi szélességű szárazföldi területein (közepes megbízhatósággal megadott érték). Ugyanezekben a területeken számban és intenzitásban is megszorodtak a nagycsapadékú események (90%-os megbízhatóság mellett) a jelentésben fog-

laltak szerint. Ez a tavak vízháztartását, mint a vízmérleg egyik fontos bevételi tagja (a másik alapvető meghatározó mérleg-bevételi tag maga a csapadék), jelentősen befolyásolhatja. *Olichwer and Tarka* (2015) Lengyelországban vizsgálták a lefolyás változását a klímaváltozás hatására, és azt találták, hogy nem mutatható ki szignifikáns változás a le- és elfolyás összegében, de csökkenés mutatható ki a felszín alatti elfolyásban, és a csökkenő mennyiségű elfolyással párhuzamosan növekedés várható a felszín feletti lefolyás mértékében. A hidrológiai ciklus módosulása jelentősen befolyásolhatja a sérülékeny területek, mint például a Balaton vízmérlegét.

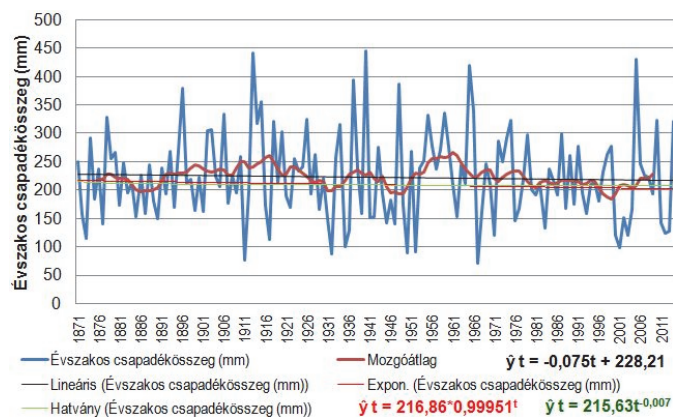
A klímaváltozás Kárpát-medencére gyakorolt hatásainak előrejelzésére *Bartholy et al.* (2004) dolgozott ki megfelelő felbontású sztochasztikus-dinamikus regionális klímamodelleket, amik az ECHAM/GCM nagytérségi modellek eredményeinek leskálázásával adnak előrejelzést a Balaton Sió-csatorna vízgyűjtőterületre vonatkozóan. *Bartholy et al.* (2005) szerint a csapadékmennyiség 25-35%-os csökkenése várható a nyári félévben, és 0-10%-os csökkenés jelezhető előre a téli félévben a vízgyűjtőterületen.

A Kárpát-medence térségére regionális klímamodellek segítségével készültek előrejelzések az A2 és B2 globális kibocsátási scenáriók felhasználásával (IPCC, 2007). Az eredmények alapján 2,5–4,8 °C mértékű hőmérséklet-emelkedés várható minden évszakban, mindkét scenárió szerint (*Bartholy et al.*, 2007). 20–33%-os csapadék-

csökkenés várható a nyári félévben. Ugyanakkor nagy bizonytalanság jellemzi az előrejelzést a téli időszakra (Bartholy et al., 2007). A korábban hivatkozott eredményekkel egybecsengenek a szerzők PRUDENCE Projektben kimutatott későbbi eredményei is (Bartholy et al., 2009). Ezeket a megállapításokat szintén megerősítik Bartholy et al. (2008) és az Országos Meteorológiai Szolgálat (2010) kutatásai további modell szimulációk alapján. Az ENSEMBLES projekt eredményei szerint télen és ősszel a csapadékmennyiség növekedése várható hazánkban, míg nyáron erős csökkenés, miközben az évi csapadékösszeg nem fog változni szignifikánsan (Pongrácz et al., 2011). A várható tendenciákat Kis et al. (2014) vizsgálatai is megerősítik, ami szerint nyáron



1. ábra: Keszthely évi csapadékösszegének tendenciái (1871–2014)

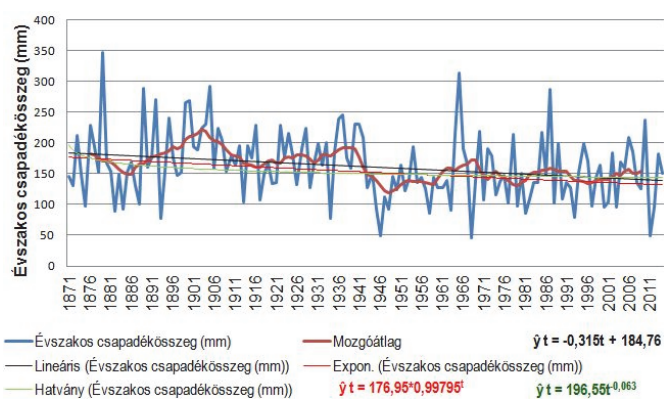


3. ábra: Nyári csapadékösszegek alakulása és tendenciái 1871 és 2014 között

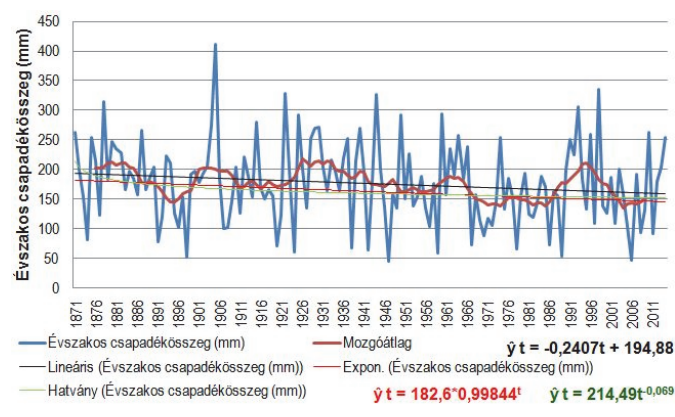
szárazabb, télen csapadékosabb időjárásra számíthatunk. Pongrácz et al. (2014) szerint az aszály gyakorisága szignifikánsan nőni fog a 21. század végére. Bartholy et al. (2015) a csapadék-indexek elemzése során azt tapasztalta, hogy az extrém csapadékmennyiséggel járó események száma nőni fog Közép-Európában, kivéve a nyári időszakot, amikor ezek csökkenő száma lesz jellemző. Szalai et al. (2005) vizsgálatai szerint az évi csapadékmennyiség 11%-kal csökkent 1901 és 2004 között hazánkban. A legnagyobb csökkenés a tavaszi hónapokban volt kimutatható, 25% ugyanabban az időszakban. Bodri (2004) szerint hazánkban lassú csapadékcsökkenés figyelhető meg a 20. század során a változékonyság erős növekedésével párhuzamosan. Magyarország csapadékellátottsága várhatóan a mediterrán területekkel fog ha-

sonlóságot mutatni. Hazánk vízmérlege hiányt mutat. Lakatos és Bihari (2011) szerint 1901 és 2009 között a legintenzívebb csapadékcsökkenés tavasszal következett be hazánkban, közel 20%. Bartholy and Pongrácz (2007, 2010) számos csapadék extrém-index elemzése során kimutatta, hogy a múlt század második felében megszáporodtak és intenzívebbé váltak ezek az események a Kárpát-medence térségében. A legszélsőségesebb csapadékesemények a nyári hónapokban fordultak elő (Bartholy and Pongrácz, 2005).

Vizsgálatainkkal nem áll szándékunkban megkérdőjelezni a globális klímaváltozás, a hőmérséklet-emelkedés vagy a csapadék-csökkenés tényét. Elemzésünk célja többért. Egyrésztől szeretnénk rávilágítani az idősor-



2. ábra: A tavaszi csapadékösszegek alakulása és tendenciái 1871–2014 között

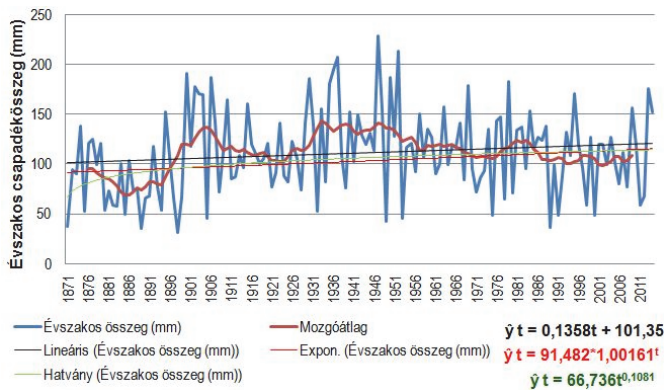


4. ábra Az őszi csapadékösszegek tendenciái Keszthelyen 1871–2014 között

elemzéssel kapcsolatos néhány statisztikai módszertani vonatkozására. A másik célja a tanulmánynak, hogy bemutassa, hogy annak a területnek a szívében, ahol a nagytérségi trendek a legintenzívebb csapadékcsökkenést jelzik (Dunántúl; Lakatos és Bihari, 2011), van egy olyan kis terület, ahol ezek a törvényszerűségek nem érvényesülnek. Mikroklímájának és a földrajzi helyzetének köszönhetően Keszthely „kakukktójsának” tűnik. Keszthely azért is számíthat kitüntetett figyelemre a hazai meteorológiai állomások között, mert több mint 144 éve folyamatosan végeznek itt méréseket, ami lehetővé teszi egy kivételesen hosszú idősor elemzését. Számításainkhoz a hagyományosan alkalmazott, legelterjedtebb és legkönnyebben értelmezhető idősor-elemzési módszereket használtuk, bár tisztában vagyunk ezek hibájával is, hogy

jelentősen leegyszerűsítik a probléma megoldását. A meteorológiai elemek mennyiségeinek időbeli alakulása igen ritkán írható le ezekkel a tendenciákkal megbízhatóan.

**Felhasznált adatok és elemzési módszerek.** Vizsgálatainkban a Keszthelyen mért havi csapadékösszegeket használtuk fel 1871 és 2014 közötti időszakra vonatkozóan. Ezek az 1871 óta minimális megszakításokkal folyó mérések szorosan kötődnek a régi Georgikon Mezőgazdasági Akadémiához és utódintézményeihez. Az adatbázist a Pannon Egyetem Georgikon Kar Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszéke gondozza, és bocsátotta rendelkezésünkre. Ez az adatsor azért tekinthető különlegesnek, mert kevés meteorológiai állomás büszkélkedhet hazánkban ilyen hosszú, több mint 140 éves adatsorral, aminek történeti háttere is részletesen feltárásra került (Kocsis és Anda, 2006).



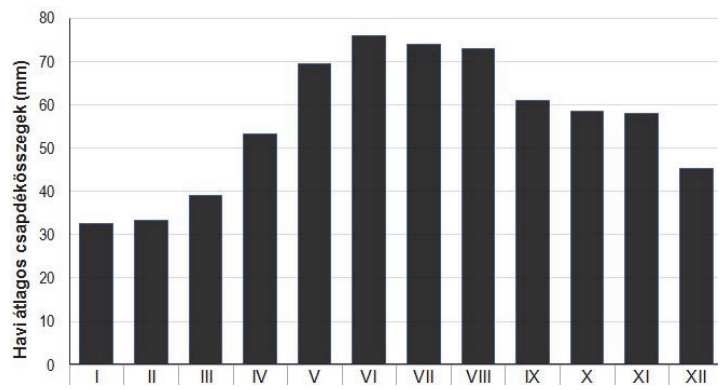
5. ábra: A téli évszak csapadékösszegeinek alakulása (1871–2014)

A csapadékmennyiségek adatsorait többféle felbontásban determinisztikus idősor-elemzési módszerekkel vizsgáltuk. Az analitikus trendek számításához háromféle bontást alkalmaztunk: évi csapadékösszegek elemzése, évszakos összegek (meteorológiában szokásos bontásban) és havi összegek elemzése. Így minden adatsor 144 elemből állt. Háromféle analitikus trendszámítási módszerrel használtunk: lineáris-, exponenciális- és hatványkitevős trendfüggvény illesztése. A függvények illesztése (paraméterek számítása) érdekében a 0 mm csapadékosszegű hónapok esetében (két esetben fordult elő az adatbázisban) a havi csapadékösszeg értékét 0,01 mm-re cseréltük, ami a csapadékmérés pontosságát szempontjából nézve 0 mm-nek tekinthető, de lehetővé teszi az exponenciális trend paramétereinek számítását.

Dekompozíciós idősor-elemzés segítségével vizsgáltuk, hogy az alaptendencia mellett milyen típusú szezonális írja le legjobban az idősort. Ehhez az összes havi adat egyesített idősorát használtuk, ami 1728 elemből állt. Kiszámítottuk, hogy melyik típusú trend és az azt befolyásoló szezonhatás additív (szezonális eltérés) vagy multiplikatív (szezonindex) módon illeszthető-e legjobban az adatokra. A korrigált szezonális eltérések és a szezonindexek számításánál követtük Korpás (1997) leírását.

Az idősorokban feltételezett alaptendencia nem függvényyszerű megjelenítésére a mozgóátlagolású trendszámítást használtuk. Ez az idősor adatain láncolatosan továbbhaladó számtani átlagok képzését jelenti, aminek következtében lerövidül az idősor, és a kiugró értékeket ez az átlagolás kisímtja (Korpás, 1997). 144 adat esetében a mozgóátlagolás tagszámának 10-et választottunk a klímanormálok képzésénél alkalmazott 10 éves csúsztatást alapul véve. Az 1728 adatból álló idősor esetében a tagszámot az éven belüli szezonok számának megfelelően 12-nek vettük.

Olyan egyszerű statisztikai módszerek, mint a lineáris trend, igen hasznos az éghajlat-elemzésben. Az adatokra illeszthető egyenes meredeksége egyszerű, könnyen értelmezhető képet fest a vizsgált időszakban bekövetkezett változásról (Boyles and Raman, 2003). Általában éppen ezért a leggyakrabban alkalmazott vizsgálati módszer az éghajlati elemek alakulásának jellemzésére, noha



6. ábra: Havi átlagos csapadékmennyiségek Keszthelyen (1871–2014)

tudjuk, hogy ezek alakulása igen ritkán tekinthető lineárisnak. A lineáris trend függvény paramétereinek becslését az alábbi képletek szerint végeztük (1, 2, 3):

$$\hat{y}_t = b_0 + b_1 t \tag{1}$$

$$b_1 = \frac{\overline{t \cdot y} - \bar{t} \cdot \bar{y}}{\sigma_t^2} \tag{2}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \cdot \bar{t} \tag{3}$$

ahol  $t=1, 2, \dots, n$ ,  $\hat{y}_t$  a  $t$ . időszak trendfüggvény szerinti értéke,  $t$  időszakok száma (időkódolás),  $n$  az idősor elemeinek száma,  $b_0$   $t=0$  időszak trendfüggvény szerinti értéke,  $b_1$  az egyenes meredeksége, az időegység alatti átlagos abszolút változás mértékét mutatja meg,  $\bar{y}$  az idősor adatainak átlaga,  $\bar{t}$  az idő kódok átlaga,  $\sigma_t^2$  az idő kódok sokasági varianciája.

A lineáris trend  $b_1$  paraméterét (meredekség) 5%-os szignifikancia szinten ( $\alpha$ ) kétoldali t-próbával teszteltük. Lakatos és Bihari (2011) szerint az exponenciális trend jobban szemlélteti a csapadék-változást %-ban kifejezve, mint a lineáris trend mm-ben. Az exponenciális trend egy nem lineáris, de logaritmus transzformáció révén linearizálható függvény. Ezt a típusú trendfüggvényt is illesztettük, paramétereit az alábbi képletek szerint határoztuk meg (4, 5, 6):

$$\hat{y}_t = b_0 \cdot b_1^t \tag{4}$$

$$\log b_1 = \frac{\overline{t \cdot \log y} - \bar{t} \cdot \overline{\log y}}{\sigma_t^2} \tag{5}$$

$$\log b_0 = \overline{\log y} - \log b_1 \cdot \bar{t} \tag{6}$$

ahol  $t=1, 2, \dots, n$ ,  $\hat{y}_t$  a  $t$ . időszak trendfüggvény szerinti értéke,  $t$  az időszakok száma (időkódolás),  $n$  az idősor elemeinek száma,  $b_0$  a  $t=0$  időszak trendfüggvény szerinti értéke,  $b_1$  a vizsgált jelenség időegység alatt bekövetkezett átlagos relatív változására utal ( $b_1-1\%$ -ban kifejezve adja meg ezt),  $\overline{\log y}$  az adatok logaritmusainak átlaga,  $\bar{t}$  az időkódok átlaga,  $\sigma_t^2$  az időkódok sokasági varianciája. Harmadik analitikus trendfüggvényként a hatványkitevős trendet illesztettük, aminek a paraméterei még könnyen értelmezhetők. Ezeket az alábbi képletekkel határoztuk meg (7, 8, 9):

$$\hat{y}_t = b_0 \cdot t^{b_1}, t=1, 2, \dots, n \tag{7}$$

1. táblázat: Keszthely évszakos csapadékösszeg adatsorainak leíró statisztikai jellemzői

mm	tavas	nyár	ősz	tél
Átlag	162	223	177	111
Szórás	54	77	68	42
Alsó kvartilis	128	166	132	78
Medián	153	216	179	110
Felső kvartilis	195	268	217	138
Terjedelem	302	373	367	198
5% percentilis	85	104	65	47
95% percentilis	268	374	294	187

$$b_1 = \frac{\overline{\log t \cdot \log y} - \overline{\log t} \cdot \overline{\log y}}{\sigma_{\log t}^2} \tag{8}$$

$$\log b_0 = \overline{\log y} - b_1 \cdot \overline{\log t} \tag{9}$$

ahol  $\hat{y}_t$  a  $t$ . időszak trendfüggvény szerinti értéke,  $t$  időszakok száma (időkódolás),  $n$  az idősor elemeinek száma,  $b_0$   $t=1$  időszak trendfüggvény szerinti értéke,  $b_1$  A vizsgált jelenség átlagos relatív változása  $t$  egységnyi relatív változása alatt (%),  $\overline{\log y}$  az adatok logaritmusainak átlaga,  $\overline{\log t}$  az időkódok logaritmusainak átlaga és  $\sigma_{\log t}^2$  az időkódok logaritmusainak sokasági varianciája. A tényadatok és trendadatok közötti eltérések (hibatagok) négyzet-összegének számítása (SSE) (10) segít annak eldöntésében, hogy melyik trendfüggvény illeszkedik legjobban az adatokra:

$$SSE = \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \tag{10}$$

ahol  $t$  az időkódoklás ( $t=1, 2, 3, \dots, n$ ),  $y_t$  az idősor tényadata,  $\hat{y}_t$  a trend függvény által becsült adat  $t$  időszakra. Az eltérésnégyzet-összegek segítségével meghatározható

a becslések relatív hibája, amit százalékos formában adunk meg, és a trendbecslés hibáját fejezi ki (11). Ez alapján a mutató alapján matematikai szempontból megalapozott döntést hozhatunk, hogy melyik trendfüggvénnyel jellemezzük az idősort:

$$V_e = \frac{\sqrt{\frac{SSE}{n}}}{\bar{y}_t} \tag{11}$$

ahol  $\bar{y}_t$  az idősor adatainak átlaga,  $n$  az idősor elemeinek száma.

Azt a trendet kell választanunk, és értelmeznünk, amelyik a legkisebb hibával becsülhető, a legjobban illeszkedik az idősor adataira. Vizsgálataink során a legjobban illeszkedő függvény paramétereit értelmeztük.

Az adatsorokat leíró jellegű statisztikai jellemzőkkel is jellemeztük Péczely (1998) útmutatásai szerint: átlag, szórás, maximum, minimum értékek, alsó és felső kvartilis és 5%-os, illetve 95%-os percentilis.

**Eredmények. Évi adatok elemzése.** A keszthelyi meteorológiai állomáson mért évi csapadékösszegek átlaga

2. táblázat: A különböző trendfüggvények relatív hibája

a trendbecslés relatív hibája	tavas	nyár	ősz	tél
lineáris trend	32,54%	34,54%	37,87%	37,10%
exponenciális trend	33,00%	35,06%	38,69%	37,89%
hatványkitevős trend	33,58%	35,10%	38,71%	37,26%

(1871–2014) 673 mm volt, ami hazánkban átlagos mennyiségnek számít. Az adatok szórása 138 mm volt. Az eloszlásra utal, hogy az adatok 25%-a magasabb volt, mint 772 mm, és 75%-a volt magasabb, mint 580 mm. A legalacsonyabb évi csapadékösszeg értékek (az 5%-os percentilis 456 mm volt) 2011, 2000, 1971, 1968, 1911, 1898 és 1967-ben fordultak elő (növekvő sorrendben). Az adatok közül a legmagasabb értékek 1879, 2010, 1905, 1915, 1965, 1940 és 1937-ben fordultak elő, növekvő sorrendben (a 95%-os percentilis 908 mm volt). A medián 654 mm volt, az átlagnál alacsonyabb évi csapadékösszegek túlsúlya jellemzi az adatok eloszlását.

A függvényszerű tendenciák közül először a lineáris trendet vizsgáltuk, és azt találtuk, hogy nem volt kimutatható az idősor esetében szignifikáns lineáris tendencia (1. ábra). A mozgóátlagolású trendszámítás ( $k=10$ ) a vizsgált időszak második felében csökkenési tendenciát jelez (1. ábra). Az évi csapadékösszegek szignifikáns lineáris csökkenési tendenciáját mutatta ki Szalai (2011) Magyarországon 1901 és 2008 közötti időszakban, és csökkenő trend a Dunántúlon intenzívebbnek mutatkozott. Keszthely ennek a régióknak a középső részén fekszik, mégsem mutatható ki az adatsorból a szignifikáns



tendencia. Érdekes azonban megjegyezni, hogy ez a megállapítás 5%-os szignifikancia szint mellett igaz a vizsgált időszakban. A trend-egyenes meredekségéhez tartozó empirikus szignifikancia szint (p-érték) 7,34%, vagyis 10%-os szignifikancia küszöb mellett már szignifikáns eredményt adna.

Az exponenciális és a hatványkitevős trendbecslés után elmondható, hogy a relatív hiba alapján a lineáris közelítés írja le legjobban az évi csapadékösszegek alakulását. A lineáris trend relatív hibája 20,18%, az exponenciális trendé 20,29%, a hatványkitevős trendé 20,47% volt.

**Évszakos adatok elemzése.** Az évszakos adatok leíró statisztikai jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze. Az egyes évszakokban a csapadékösszegek változásának tendenciáit a 2–5. ábrák mutatják be, melyeken a háromféle trendbecslés egyenletei és a mozgóátlagos trend (k=10) alakulása látható.

A háromféle trendbecslés relatív hibáinak számítása alapján a lineáris trend illeszkedett minden évszak esetében a legjobban az adatokra (2. táblázat).

Mivel a lineáris tendencia írja le legjobban az idősorok alakulását, a meredekséget jelölő  $b_1$  paramétert teszteltük. Az empirikus szignifikancia szintek (p-érték) szerint (ha  $\alpha=5\%$ ) tavasszal szignifikáns csökkenő tendencia mutatható ki, melynek mértéke 100 évre vetítve átlagosan 31,5 mm-nek adódott (3. táblázat). Itt is érdemes megjegyeznünk, hogy ha a szignifikancia küszöbértékét 10%-ra emelnénk, akkor az őszi csapadékösszegek esetében is kirajzolódna a csökkenő tendencia.

**Havi csapadékösszegek elemzése.** Keszthely havi csapadékösszeg adatsorainak átlagértékeit mutatja be a 6. ábra. Magyarországon a csapadékmennyiség éven belüli eloszlását egy főmaximum (május-június) és egy másodmaximum (szeptember-október), valamint egy februári minimum jellemzi. Az átlagos csapadékösszeg adatok esetében a másodmaximum elmosódása látszik 144 év adatai alapján.

A havi adatok idősoraira is illesztettük a lineáris, az exponenciális és a hatványkitevős trend függvényeket. Relatív hibáik alapján elmondható, hogy minden esetben a legjobban illeszkedő függvény a lineáris trend volt (4. táblázat). 5%-os szignifikancia szint mellett a lineáris becslés két hónap esetében adott statisztikailag igazolható eredményt, április és október hónapokban (5. táblázat). 100 évre vetítve áprilisban 14 mm-rel csökkent a csapadék mennyisége átlagosan a vizsgált időszakban, októberben 23,5 mm-rel. Szintén érdemes megfigyelni, ha a szignifikancia küszöböt 10%-ban határoznánk meg, már május esetében is igazolódna a csapadékcsökkenés ténye.

**Dekompozíciós idősor-elemzés.** A dekompozíciós idősor-elemzés során a havi csapadékösszegeket egy nagy adatsorként kezeltük, ami 1728 elemből állt. Először illesztettük a háromféle trendfüggvényt, melyek egyenletei a 7. ábrán láthatók, paramétereit a 6. táblázat tartalmazza. A függvények illeszkedését vizsgálva arra a következtetésre jutottunk, hogy ebben az esetben is a lineáris

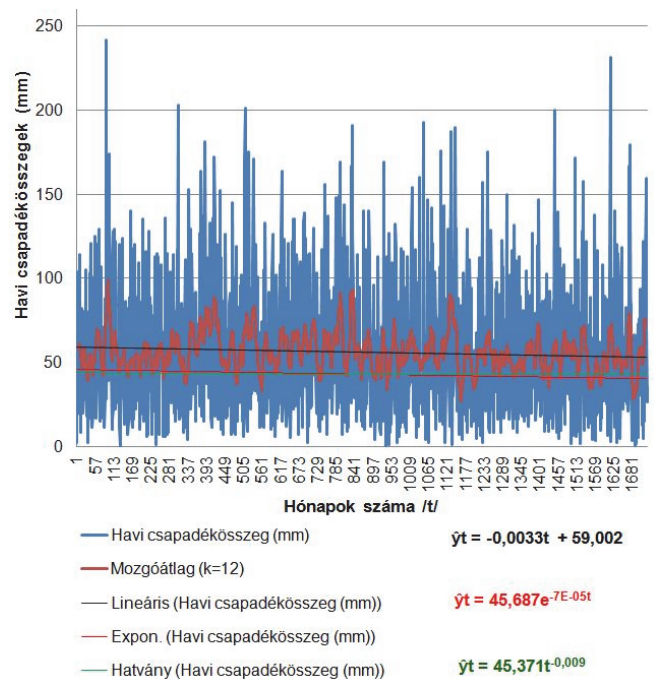
trend írja le legjobban az adatok tendenciáját (6. táblázat). A lineáris trend 5%-os szignifikancia szint mellett nem ad szignifikáns eredményt, de a p-értékből látható, hogy 10%-os szignifikancia küszöb mellett már az lenne. A mozgóátlagos során (k=12) látható az adatsor ingadozásának csökkenése, de kifejezett tendencia nem rajzolódik ki.

Az alaptendencia meghatározása mellett figyelembe vettük a szezonális hatást is korigált szezonális eltérések (additív modell) és korigált szezonindexek (multiplikatív modell) formájában. Vizsgáltuk így is az illeszke-

3. táblázat: Az évszakos csapadékmennyiségek soraira illesztett lineáris trend meredekségének szignifikanciája

	tavasz	nyár	ősz	tél
lineáris trend meredeksége ( $b_1$ )	-0,315	-0,075	-0,241	0,136
p-érték	<b>0,4%</b>	63,0%	7,8%	10,5%

**szignifikáns  $b_1$  paraméter, ha p-érték alacsonyabb, mint 5%, kétoldali t-próba alapján**



7. ábra: Havi csapadékösszegek idősorának tendenciái Keszthelyen 1871. január és 2014. december között

dést, és a relatív hiba azt jelezte, hogy a lineáris additív modell illeszkedik a legjobban az adatokra, vagyis az alaptendencia lineáris és az idősor komponensei között additív kapcsolat van (7. táblázat). Látható az illeszkedés jóságát jelző relatív hiba értékeiből, hogy mivel azok igen nagy értékek, valószínűleg nem az alkalmazott módszerek a legmegfelelőbbek az idősor jellemzésére, bár ezek a leggyakrabban használt és legkönnyebben értelmezhető eljárások.

**Következtetések.** Kutatásunk megerősítette korábbi vizsgálataink eredményeit. Elemzésünk alapján összefoglalható (8. táblázat), hogy minden elemzett adatsorra

4. táblázat: A különböző trendbecslések relatív hibái

hónap	Ve LIN	Ve EXP	Ve HAT
I	60,93%	65,23%	64,54%
II	72,59%	78,52%	78,00%
III	64,00%	67,12%	67,32%
IV	59,83%	62,71%	63,29%
V	49,03%	51,00%	51,35%
VI	48,47%	50,52%	50,55%
VII	59,82%	62,27%	62,33%
VIII	61,22%	64,36%	64,40%
IX	57,99%	61,26%	61,28%
X	66,54%	71,66%	72,82%
XI	59,81%	62,96%	62,94%
XII	56,75%	59,55%	59,30%

6. táblázat: A különböző trendbecslések relatív hibái

hónap	Ve LIN	Ve EXP	Ve HAT
I	60,93%	65,23%	64,54%
II	72,59%	78,52%	78,00%
III	64,00%	67,12%	67,32%
IV	59,83%	62,71%	63,29%
V	49,03%	51,00%	51,35%
VI	48,47%	50,52%	50,55%
VII	59,82%	62,27%	62,33%
VIII	61,22%	64,36%	64,40%
IX	57,99%	61,26%	61,28%
X	66,54%	71,66%	72,82%
XI	59,81%	62,96%	62,94%
XII	56,75%	59,55%	59,30%

5. táblázat: A lineáris trendbecslés szignifikanciája

hónap	lineáris meredeksége (b1)	p-érték
I	0,03	44,4%
II	0,06	24,2%
III	-0,06	26,1%
IV	<b>-0,14</b>	<b>3,1%</b>
V	-0,12	8,9%
VI	0,01	90,1%
VII	-0,05	54,1%
VIII	-0,03	74,4%
IX	-0,02	79,3%
X	<b>-0,24</b>	<b>0,3%</b>
XI	0,01	85,0%
XII	0,05	35,9%

**Szignifikáns b1 paraméter, ha p-érték alacsonyabb, mint 5%, kétoldali t-próba alapján**

7. táblázat: A lineáris trendbecslés szignifikanciája

hónap	lineáris meredeksége (b1)	p-érték
I	0,03	44,4%
II	0,06	24,2%
III	-0,06	26,1%
IV	<b>-0,14</b>	<b>3,1%</b>
V	-0,12	8,9%
VI	0,01	90,1%
VII	-0,05	54,1%
VIII	-0,03	74,4%
IX	-0,02	79,3%
X	<b>-0,24</b>	<b>0,3%</b>
XI	0,01	85,0%
XII	0,05	35,9%

**Szignifikáns b1 paraméter, ha p-érték alacsonyabb, mint 5%, kétoldali t-próba alapján**

8. táblázat: Az eredmények összehasonlítása korábbi eredményeinkkel

	szignifikáns (5%) tendencia 100 évre vonatkoztatva		
	1871-2000	1871-2010	1871-2014
	(Kocsis 2008)	(Kocsis 2015)	
évi csapadékösszegekben	nem mutatható ki	nem mutatható ki	nem mutatható ki
évszakos csapadékösszegekben	tavaszi (-35 mm)	tavaszi (-29 mm)	tavaszi (-31,5 mm)
havi csapadékösszegekben	október (-26 mm)	október (-25 mm)	április (-14 mm) és október (-23,5 mm)

a lineáris trend illeszkedett a legjobban. Keszthelyen az évi csapadékösszeg adatsorban nem mutatható ki szignifikáns csökkenési tendencia 5%-os szignifikancia szint mellett, de tavasszal már bizonyítható csapadékcsökkenési tendencia igazolható a vizsgált időszakban.

Ezek a megállapítások párhuzamosak Szalai et al. (2005) valamint Lakatos és Bihari (2011) megállapításaival, miszerint a legintenzívebb csapadékcsökkenés tavasszal jelentkezett hazánkban. Analízisünkben a korábbi vizsgálatainkhoz képest bővítettük az adatsort, és az 1871–2010

közötti időszak elemzéseinek eredményeihez képest a havi adatok tendenciái között az október hónap mellett április hónapban is kimutatható volt a lineáris csapadékcsökkenési tendencia.

Az idősorokban esetlegesen fellelhető függvényyszerű tendencia meghatározására számos trendfüggvény alkalmazható. Tudjuk, hogy az éghajlati elemek tendenciái ritkán illeszkednek egy lineárisra, mégis a legegyszerűbb és legkönnyebben értelmezhető közelítése ez a változásnak. *Lakatos és Bihari* (2011) szerint a csapadékváltozásokat jobban szemlélteti a százalékos változás, amit az exponenciális trend fejez ki, mint a milliméterben megadott (lineáris trend). De nem található arra vonatkozó információ, hogy milyen matematikai módszer indokolja a függvények közötti döntést, vizsgálták-e azok illeszkedését. Matematikai szempontból mindenképpen egzaktabb megközelítés a függvények becsléséhez tartozó relatív hiba meghatározása, ami megalapozza és alátámasztja a függvények közötti választást. A vizsgálatok során minden trendfüggvény illesztése a relatív hiba számításával zárult, így minden esetben az adatsorokra legjobban illeszkedő függvényt értelmeztük. Minden vizsgált adatsor (évi-, évszakos-, havi csapadékösszegek) esetében a lineáris trendfüggvény írta le legjobban az idősor alakulását, a dekompozíció során a lineáris additív modell illeszkedett legjobban az idősorra (havi csapadékösszegek).

## Irodalom

- Bartholy, J. and Pongrácz, R.*, 2005: Extremes of ground-based and satellite measurements in the vegetation period for the Carpathian Basin. *Physics and Chemistry of the Earth* 30, 81–89.
- Bartholy, J. and Pongrácz, R.*, 2007: Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change* 57, 83–95.
- Bartholy, J. and Pongrácz, R.*, 2010: Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20<sup>th</sup> century and climate simulation for 2050 and 2100. *Physics and Chemistry of the Earth* 35, 43–51
- Bartholy, J., Mika, J., Pongrácz, R. és Schlanger, V.*, 2005: A globális felmelegedés éghajlati sajátosságai a Kárpát-medencében. In: *Takács-Sánta, A. (szerk.): Éghajlatváltozás a világban és Magyarországon*. Budapest, 105–139.
- Bartholy, J., Pongrácz, R. and Gelybó, Gy.*, 2007: Regional climate change in Hungary for 2071–2100. *Applied Ecology and Environment Research* 5, 1–17.
- Bartholy, J., Pongrácz, R. and Kiss, A.*, 2015: Projected changes of extreme precipitation using multi-model approach. *Időjárás* 119, 129–142.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy. and Szabó, P.*, 2009: Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using the PRUDENCE results. *Időjárás*, 112, 249–265.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy. and Szabó, P.*, 2008: Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using the PRUDENCE results. *Időjárás* 112, 249–264.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Matyasovszky, I. és Schlanger, V.*, 2004. A XX. században bekövetkezett és a XXI. századra várható éghajlati tendenciák Magyarország területére. *AGRO-21 Füzetek* 33, 3–18.
- Bodri, L.*, 2004: Tendencias in variability of gridded temperature and precipitation in Hungary (during the period of instrumental record). *Időjárás* 108, 141–153.
- Boyles, R. P. and Raman, S.*, 2003: Analysis of climate trends in North Carolina (1949–1998). *Environment International* 29, 263–275
- IPCC*, 2007: Summary for Policymakers. In: *Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. (eds.): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) 5, 7.
- IPCC*, 2013: Summary for Policymakers. In: *Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. S., Allen, K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P. M. (eds.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Kis, A., Pongrácz, R. és Bartholy, J.*, 2014: Magyarországra becsült csapadéktrendek: hibakorrekció alkalmazásával. *Léggör* 59 (3): 117–120.
- Kocsis, T. és Anda, A.*, 2006: A keszthelyi meteorológiai megfigyelések története. *PE-GMK*, Keszthely ISBN 963 9639 07 9
- Kocsis, T.*, 2008: Az éghajlatváltozás detektálása és hatásainak modellezése Keszthelyen, *PhD dolgozat*. Pannon Egyetem
- Kocsis, T.*, 2015: A keszthelyi csapadékösszegek éghajlatstatisztikai jellemzése 1871–2010 között. 10. *Magyar Ökológus Kongresszus*, Veszprém
- Korpás, A. (szerk.)*, 1997: Általános statisztika II. *Nemzeti Tankönyvkiadó Rt.*, Budapest ISBN 978-963-19-2781-8: 242–277.
- Lakatos, M. és Bihari, Z.*, 2011: A közelmúlt megfigyelt hőmérséklet- és csapadéktendenciái. In: *Bartholy, J., Bozó, L. és Haszpra, L. (szerk.): Klímaváltozás–2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére*, 159–169.
- Olichwer, T. and Tarka, R.*, 2015: Impact of climate change on the groundwater run-off in south-west Poland. *Open Geosciences* 7, 1–14.
- Országos Meteorológiai Szolgálat*, 2010: Klímamodellezési tevékenység, eredmények (2010). [http://www.met.hu/doc/tevekenyseg/klimamodellezes/Klima\\_modellezesi\\_eredmenyek\\_2010.pdf](http://www.met.hu/doc/tevekenyseg/klimamodellezes/Klima_modellezesi_eredmenyek_2010.pdf)
- Péczely, Gy.*, 1998: Éghajlatlan. *Nemzeti Tankönyvkiadó Rt.*, Budapest
- Pongrácz, R., Bartholy, J. and Kiss, A.*, 2014: Estimation of future precipitation conditions for Hungary with special focus on dry periods. *Időjárás* 118, 305–321.
- Pongrácz, R., Bartholy, J. and Miklós, E.*, 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Applied Ecology and Environmental Research* 9, 387–398.
- Prista, G. O., Agostinho, R. J. and Cachao, M., A.*, 2015: Observing the past to better understand the future: a synthesis of the Neogene climate in Europe and its perspectives on present climate change. *Open Geosciences* 7, 65–83.
- Szalai, S.*, 2011: Magyarország hidroklimatológiai jellemzése. *KLÍMA-21 Füzetek* 65, 17–28.
- Szalai, S., Bihari, Z., Lakatos, M. és Szentimrey, T.*, 2005: Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig. *Országos Meteorológiai Szolgálat*, Budapest