

# **Éghajlatváltozás és évszakváltozás kapcsolata**

**SZAKDOLGOZAT**

**FÖLDTUDOMÁNY ALAPSZAK  
METEOROLÓGIA SZAKIRÁNY**

**Készítette: Ilyés Csaba**

**Témavezető: Dr. Matyasovszky István**

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2011

## Tartalomjegyzék

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Bevezetés</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2. Az évszak – évszakhatárok – éghajlat</b>                  | <b>3</b>  |
| <b>3. Évszakok változása</b>                                    | <b>10</b> |
| <b>4. Az elemzés matematikai alapjai</b>                        | <b>12</b> |
| <b>5. A megfigyelt adatok elemzése</b>                          | <b>13</b> |
| 5.1 Dél-Európai városok elemzése – Bologna, Milano              | 14        |
| 5.2 Észak-Európai városok elemzése – Stockholm, Stornoway       | 18        |
| 5.3 Közép-Európai városok elemzése – Bécs, Prága, Zágráb        | 22        |
| 5.4 Magyarországi városok elemzése – Budapest, Debrecen, Szeged | 27        |
| <b>6. Összefoglalás</b>   | <b>29</b> |
| <b>7. Ábrajegyzék</b>   | <b>31</b> |
| <b>8. Táblázatok jegyzéke</b>                                   | <b>32</b> |
| <b>9. Irodalomjegyzék</b>                                       | <b>33</b> |
| Köszönetnyilvánítás   | 34        |

## 1. Bevezetés

A meteorológiában és a mindennapi életben sokféle definíciót használnak az évszakok meghatározására. Ahhoz, hogy az éghajlatváltozásnak az évszakok határait illetve hosszát befolyásoló hatását vizsgálni tudjuk, szükségünk van egy matematikai alapon nyugvó évszak-definícióra.

Dolgozatomban azt vizsgáltam, hogy egy matematikai alapú évszak-meghatározással számított évszakhatárok változtak-e, és ha igen, akkor hogyan változtak a vizsgált időintervallumban. Elemzésemhez a leghosszabb európai adatsorral rendelkező állomások adatait vizsgáltam. Tíz európai – köztük három magyar – város különböző időtávra vonatkozó megfigyelt napi átlaghőmérséklet adatait használtam fel 1756 és 2009 között. Vizsgálatom arra irányult, hogy meghatározzam, hogy az évszak matematikai definíciója alapján kiszámított évszakhatárok az év melyik napjára esnek, továbbá hogy a megvizsgált időtartamban milyen irányú és mértékű változást mutattak.

Az évszakhatárok meghatározását FORTRAN nyelvű programokkal végeztem el, majd a kapott adatokat statisztikai módszerekkel elemezve kaptam meg a változás mértékét.

Az adatokat a European Climate Assessment and Dataset, illetve az Országos Meteorológiai Szolgálat internetes adatbázisaiból gyűjtöttem.

## 2. Az évszak – évszakhatárok – éghajlat

Az évszak általános meghatározása szerint, a földi időjárás évente ismétlődő időszakait, melyek rendszeresek, hasonló jellemzőkkel rendelkeznek és elkülöníthetők más tipikus jellemzőkkel leírt időjárási időszaktól, évszakkak nevezzük. A Magyar Nagylexikon meghatározása szerint az évszak *„az évnek szabályosan ismétlődő, jellegzetes időjárású szakasza”* (Rostás László, Szlávik Tamás et al. (szerk.) [1998]).

Az időjárás változásának szabályszerűségeit, együttesét nevezzük éghajlatnak, klímának egy adott időszakban, egy adott területen (Vissy [2005]).

Az évszakok kialakulása a Föld Nap körüli mozgásának, valamint a tengelyferdeségnek következménye. A Föld elliptikus pályán kering, iránya Ny-K, télen Napközelen, nyáron Földközelen. Keringési ideje 365 nap 6 óra 9 perc és 9 másodperc, ez az időszak a csillagászati év. A tengelyferdeség miatt a napsugarak beesési szöge a keringés során változik, emiatt a Földön felmelegedési különbségek alakulnak ki. A beesési szögek szempontjából kitüntetett időpontok vannak a Föld keringési pályáján. A Baktérítón való legdélebbi zeniten delelés a téli napforduló (december 22.), a Ráktérítón való legészakibb zeniten delelés a nyári napforduló (június 22.) napja, míg a tavaszi és őszi napéjegyenlőségek napja, március 21. és szeptember 23. Csillagászati szempontból a napéjegyenlőségek és napfordulók az adott évszakok határai, azonban a felszín hőmérsékletének változása (és így a légköré is) a felszín hőkapacitásától függően jelentősen késik a napsugárzás időbeli változásához képest. Ezért az évszakok meteorológiai kezdete több héttel később következik be, mint a csillagászati kezdete. A napsugarak beesési szöge változásának a következménye az évszakok váltakozása. Mérsékelt övi éghajlatban négy évszakot különböztetünk meg (ősz, tél, tavasz, nyár) melyet a napfordulók választanak el egymástól.

A Föld azon részein, ahol ezek az időszakok nem elég jelentősen különböznek egymástól, gyakran csak két évszakot, az esős és száraz évszak felosztást alkalmazzák, ami a csapadék mennyiségén alapul. Más trópusi részeken három fő évszakot különböztetnek meg, a meleg, nedves és hideg évszakokat.

Az évszakok felosztásának három módszere ismert:

A *meteorológiai* vagy *ökológiai* felosztásban a tavasz a lombhullató növények rügyezésétől, a vándormadarak visszaköltözésétől, a hőmérséklet állandó és tartós felmelegedéséig tart.

A *csillagászati* értelmezésben a tavasz március huszonegyedikétől, a tavaszi nap-éj egyenlőségtől, június huszonegyedikéig tart, míg a *naptár szerint* az átmeneti időszak március 1-től május 31-ig tart. A nyár a hőmérséklet tartós felmelegedésének végétől tart a lombhullató növények leveleinek elsárgulásáig, a vándormadarak elköltözésének kezdetéig, az asztronómiai felosztás szerint a nyári napfordulótól, az őszi nap-éj egyenlőségig tart, azaz június 21-től, szeptember 23-ig, míg a déli féltekén december 23-tól március 20. A nyár meteorológiai és leggyakrabban használt meghatározása azon alapszik, hogy a nyár az az évszak, melyben az év leghosszabb és legmelegebb nappali vannak. Csillagászati szempontból a nappalok folyamatosan hosszabbodnak a nap-éj egyenlőségtől a napfordulóig, majd fokozatosan rövidülnek. Az évszak ezt a meteorológiai meghatározását alkalmazzák Ausztráliában, Dániában valamint az Egyesült Királyságban, ahol a nyár május közepétől tart, augusztus közepéig. A nap-éj egyenlőségeken és napfordulókon alapuló meghatározás az Egyesült Államokra jellemző. Magyarországot a nyáron éri a nap legnagyobb, vagyis közel merőleges beesési szögű sugárzás, azaz pontosan június 22-én, a leghosszabb napon. Ezen a napon merőlegesen süt a Nap a Ráktérítőn.

Míg a *hagyományos naptári* felosztásban a nyár június 1-től augusztus 31-ig tart. Az őszi átmeneti évszak a lombhullató növények leveleinek sárgulásával kezdődik, és december első olyan napjáig tart, amikor a hőmérséklet a fagyponthoz alá csökken a hagyományos értelmezés szerint, míg a naptár szerint szeptember 1-től november 31-ig tart. Trópusi illetve száraz és hideg égövi tájakon az évszak nem létezik. A csillagászatban szeptember 23-án kezdődik az ősz, mikor az Egyenlítőn 90 fokos szögben delelnek a napsugarak. A nappalok és éjszakák ugyanolyan hosszúak az egész Földön, ez az őszi napéjegyenlőség, miután a nappalok egyre rövidülnek, az Északi-sarkon tartó állandó nappal megszűnik, és a Déli-sarkon kezdődik a féléves nappal. Ebben az időszakban az időjárás egyre hidegebbre, szelesebbre és csapadékosabbra fordul. Télen a legrövidebbek a nappalok és leghidegebb az időjárás. Meteorológia értelemben a tél az éves hőmérséklet fagyponthoz érkezésével kezdődik, és a

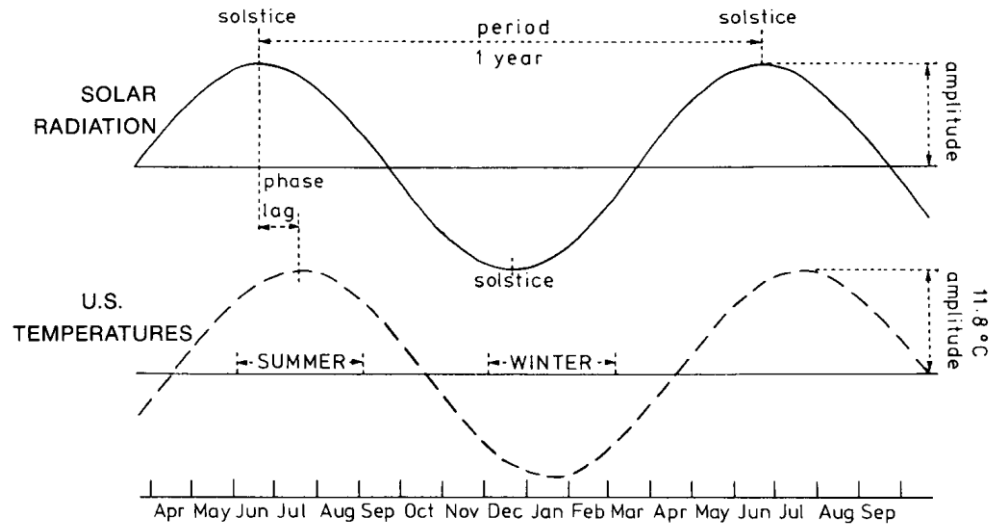
lombhullató fák rügyezésének kezdetével, a vándormadarak visszaköltözésével ér véget. A naptári beosztás szerint a tél december elsejétől február 28 – 29-ig tart, attól függően, hogy szökőév van-e az adott évben. Az egyenletes beosztások szerint ez a legrövidebb évszak 90 nappal. A csillagászatban a tél a téli napfordulótól a tavaszi napéjegyenlőségig tart, az északi féltekén december 21-március 20, a déli féltekén június 21-szeptember 23. közé esik. A téli napfordulókor a Nap látszólagos útja megfordul, és a besugárzás nagyobb hajlásszöge az Egyenlítő irányába vándorol. Ekkor a napsugarak a Baktérítő felett delelnek 90 fokos szögben, hajlásszögük a déli félgömbön ilyenkor a legnagyobb, és ott a leghosszabb a nappal, míg a Nap az Északi félgömbön ezen a napon jár a legalacsonyabban, és a legrövidebb ideg van a horizont felett. Ebben az időszakban, mikor a nappalok rövidülnek, és évi átlagban a leghidegebbek a napok, illetve ilyenkor hullik a legtöbb csapadék is az északi féltekén, elsősorban hó formájában, Magyarországon nyáron hullik a legtöbb csapadék. A téli hideg időszak alapvető kiváltó oka a napsugárzás által szállított hőenergia csökkenése és ennek következtében az átlaghőmérséklet tartós lecsökkenése. A Föld tengelyének ferdesége az ekliptikához képest okozza azt, hogy télen kevesebb napfény éri az északi féltekét, annak ellenére, hogy a Föld ekkor van a legközelebb a Naphoz.

Ralph Huschke 'The Glossary of Meteorology' című művében a következőképpen definiálja az évszakokat (Huschke [1959]). A nyár az év legmelegebb időszaka mindenhol, kivéve néhány trópusi régiót. A telet pedig az év leghidegebb időszakaként, míg a tavaszt és az őszt az átmeneti időszakoknak a két előbb említett évszak közt. Ez a meghatározás a trópusokon és a magas földrajzi szélességeken nem érvényes, de könnyen alkalmazható év egyenlő felosztására.

Sok különböző évszak meghatározása egy speciális esemény bekövetkeztét jelzi, úgymint, tornádó évszak, vegetációs időszak (growing season). Ezeket az időszakokat évszakoknak nevezik, de nem illenek bele a négy évszagos felosztásba, és hosszuk sem éri el az egyenlő felosztású meghatározásban lévő 89-90 napot.

Kevin Trenberth a 'What are the Seasons?' című írásában azt vizsgálta, hogy melyik évszak definíció a legmegbízhatóbb Amerikában (Trenberth [1983]). Amerikában az évszakok felosztására a csillagászati meghatározásokat használják leggyakrabban, és bár az évszakok kialakulása a Földön a Nap-Föld viszonyból ered, de ezeknek a csillagászati évszakoknak nincs közük a hőmérséklethez és időjáráshoz. Abból indul ki,

hogy a napsugárzás egy 365 napos periódusú nem teljes sinus hullámnak felel meg, és a középhőmérséklet kisebb eltolódással követi ezt szintén egy 365 napos periódusú sinushullámban.



*1. sz. ábra: A napsugárzás és a hőmérséklet késleltetése. (Forrás: Trenberth [1983])*

Trópusokon, ahol a földrajzi szélesség kisebb, mint  $23^{\circ}27'$ , a nap kétszer van olyan helyzetben, hogy a 365 napos periódusú hullám nem ilyen alakú. Itt inkább egy hat-hónapos ciklus figyelhető meg. Ugyanígy a sarkokon, mivel a Nap fél évig teljesen eltűnik a téli évszak folyamán, itt is egy hat-hónapos ciklus alakul ki.

Az elemzésben 1931 és 1979 közötti napi középhőmérséklet adatokat és a napsugárzás mértékét vizsgálta  $W/m^2$ -ben. A modellben kis kiigazítással 365 napos sinus hullámokat kapott. A 365 napos évet négy egyenlő részre osztva 91,25 napos évszakokat határozott meg megengedve, hogy a hónapok nem feltétlenül egyenlő hosszúak. A sinus hullám amplitúdóját, fázisát és eltérését Fourier-analízissel adta meg. Olyan évszak-definíciót fogalmazott meg, amelyben az évet a hőmérséklet éves menete alapján osztja fel évszakokra. A modell alapján a nyári napforduló a 173,12 az őszi nap-éj egyenlőség a 264,38 a téli napforduló pedig a 355,63 napon következik be, míg a tavaszi nap-éj egyenlőség a 81,88 napon. Vizsgálatában a középhőmérséklet amplitúdóját és napsugárzással való követését vizsgálta. A Déli féltekén a szárazföldet körülvevő nagy vízfelület hatása miatt, a hőmérséklet késleltetése körülbelül 11 nappal nagyobb, mint az Északi féltekén, ahol a kontinensek dominálnak. Ennek eredményeképpen, a

hőmérséklet alapján definiált évszakok a csillagászati és meteorológiai évszakok közé esnek. A déli féltekén, ahol az óceán a domináns, a csillagászati évszak csak egy nappal különbözik a hőmérséklet alapján meghatározottól, így ott a csillagászati évszakhatárok sokkal jobban lefedik az évszakok valódi váltakozását. Az északi féltekén sem a csillagászati, sem a meteorológiai évszak nem megfelelő. Mivel ezen a féltekén a szárazföld a domináns, itt a szárazföld középhőmérsékletéből számolt évszakbeosztás a megfelelőbb. Ezek az évszakok csak három-négy nappal különböznek a meteorológiai beosztástól, így ott ennek a használata a megfelelőbb. Amerikában a csillagászati és hőmérsékleti évszakok határainak különbsége 27,5 nap. Mivel az évszakok egyenlő hosszúak, az USA-ban minden évszak 17-20 nappal korábban kezdődik, mint a csillagászati rendszer szerint.

### 1. sz. táblázat:

*Az évszakok határai(D) és hosszai(L) a csillagászati, meteorológiai, és a napi középhőmérséklet által definiált felosztás szerint (Forrás: Trenberth [1983])*

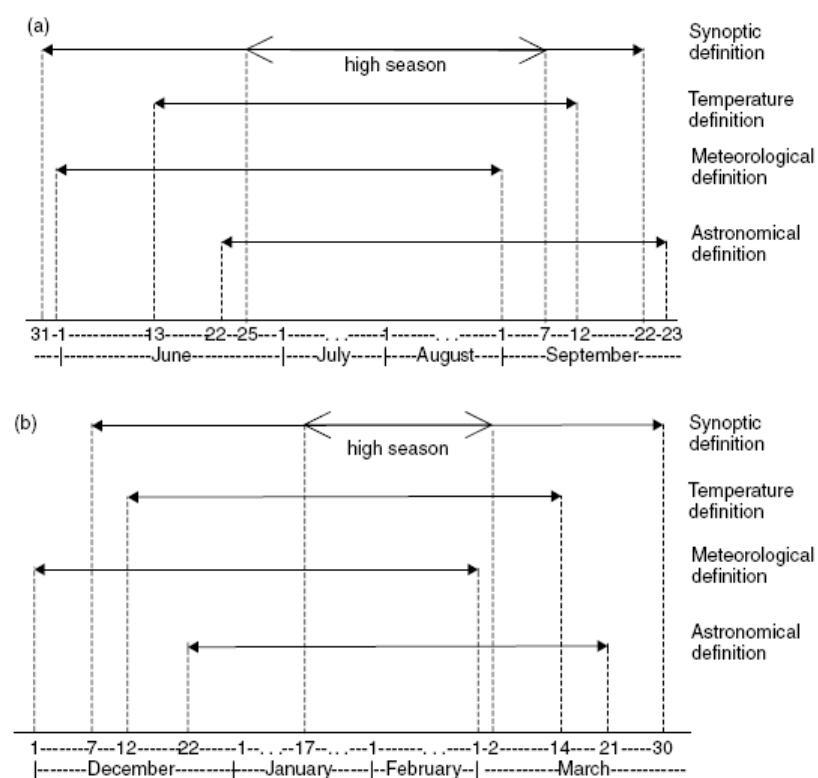
| Northern Hemisphere<br>Southern Hemisphere |   | Winter<br>Summer | Spring<br>Autumn | Summer<br>Winter | Autumn<br>Spring |
|--|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Astronomical                               | D | 22 Dec.–21 Mar.  | 21 Mar.–22 June  | 22 June–23 Sept. | 23 Sept.–22 Dec. |
|  | L | 89               | 93               | 93               | 90               |
| Meteorological                             | D | 1 Dec.–28 Feb.   | 1 Mar.–31 May    | 1 June–31 Aug.   | 1 Sept.–30 Nov.  |
|  | L | 90               | 92               | 92               | 91               |
| Northern Hemisphere<br>(22.5–67.5°N)       | D | 8 Dec.–9 Mar.    | 9 Mar.–8 June    | 8 June–8 Sept.   | 8 Sept.–8 Dec.   |
|  | L | 91.25            | 91.25            | 91.25            | 91.25            |
| Southern Hemisphere<br>(22.5–67.5°S)       | D | 19 Dec.–21 Mar.  | 21 Mar.–20 June  | 20 June–19 Sept. | 19 Sept.–19 Dec. |
|  | L | 91.25            | 91.25            | 91.25            | 91.25            |
| U.S.A.                                     | D | 3 Dec.–4 Mar.    | 4 Mar.–4 June    | 4 June–3 Sept.   | 3 Sept.–3 Dec.   |
|  | L | 91.25            | 91.25            | 91.25            | 91.25            |

Egy 2004-ben megjelent kutatásban megpróbálták a Földközi-tenger keleti részére egy új *szinoptikus* évszak definíciót megalkotni (Alpert et al. [2004]). Abból indultak ki, hogy H. H. Lamb 1950-ben definiálta a 'természetes évszakokat', amiben leírta, hogy egy évszakban mindig van egy domináns időjárási tényező, ami befolyásolja azt (Lamb [1950]). Nyáron a Perzsa-teknő (Persian through – PT) hatása a legnagyobb 11-ből 6 napon van jelen<sup>1</sup> május 31. és szeptember 22. között. A PT Izrael észak-keleti részén áll fenn, a szubtrópusi magas nyomású képződmény határolja

<sup>1</sup> Az előfordulási gyakoriságok kiszámításához 11 napos periódusokat használtak, mivel a hosszabb időszakok használata túlzottan kisímitotta az évszakok jellegzetességeit, a rövidebb periódusok használata mellett megmaradtak a véletlen ingadozások.



délnyugatról. Az így megalkotott nyár 115 napos. A nyári főidőszakban a PT 9 napon meghatározó 11-ből. Ez az időszak június 25. és szeptember 7. közötti 72 napot jelenti. Ezen a helyen a Trenberth-féle hőmérsékleti évszak június 13-tól szeptember 12-ig tart. A télen a csapadékos mediterrán ciklonok a legjellemzőbb rendszerek. Itt a gyakoriság kisebb, mint a nyár esetében, de a telet a téli alacsony nyomású képződmény (Winter Low – WL) jellemzi a legjobban. Ennek a gyakorisága 3 nap/11 nap, de január 31-től február közepéig ennek a gyakorisága 4 nap/11 nap is lehet.



**2. sz. ábra:** A téli (b) és nyári (a) évszakok hosszának és határának összehasonlítása a különböző definíciók alapján. (Forrás: Alpert et al. [2004])

Az átmeneti évszakokat is a legjellemzőbb szinoptikus rendszereik alapján definiálták, de ezek valóban csak átmenetet betöltő időszakok. A vizsgálat alapján az ősz rövidebb, mint a tél vagy a nyár és a Vörös-tengeri teknő (Red Sea through – RST) dominálja. Az RST gyakoriságoknak két központi helye van. Az első csúcs 5,7 nap/11 nap az ősz közepén, november első 10 napjában, míg a második 4 nap/ 11 nap gyakoriságú csúcs január elseje közelében, körülbelül három héttel az előbb definiált téli évszak kezdete

után. De csak az első csúcsot tekintik az őszt befolyásolónak, míg a másodlagos csúcs január- februárban közel sem haladja meg a WL gyakoriságát. A tavasz nagyon rövid és itt a Sharav alacsony nyomású képződmény (Sharav low – SL) éri el a csúcsát. A Sharav egy száraz, forró és poros helyi szél Észak-Afrikában és az Arab-félszigeten, aminek gyakorisága 0,6 nap/11 nap. Több oka is van annak, hogy a gyakorisága ilyen csekély: Egyrészt ez a szél elég gyorsan mozog a Földközi-tengeren, egy évben akár csak 1-2 napot is eltölthet itt, mivelhogy nem itt jellemző. Másrészt a kis gyakoriság ellenére a Sharav időjárása a magas hőmérséklettel, alacsony páratartalommal, erős szeleivel, porviharokkal és alacsony látótávolságával egyértelműen meghatározza a tavaszt ebben a régióban.

Összességében, a kutatás alapján a tél és a nyár majdnem négy hónapig tart, pontosabban 3 hónapig és 23 napig. A tavasz és az őszt rövidebb, mint a hagyományos felosztásban, 75 illetve 61 nap hosszú.

A szinoptikus téli és nyári évszak definíció alapján meghatározott évszakok a meteorológiai évszakok kezdetén kezdődnek, mint legkorábbi definiált időpont, és a legutolsó dátumon végződnek, ami a csillagászati évszakok vége. A szinoptikus fődíszszakok a legkésőbbi definiált időpontban kezdődnek, ami a csillagászati, és a legkorábbi végidőpontban fejeződnek be, ami a meteorológiai évszak.

## 2. sz. táblázat:

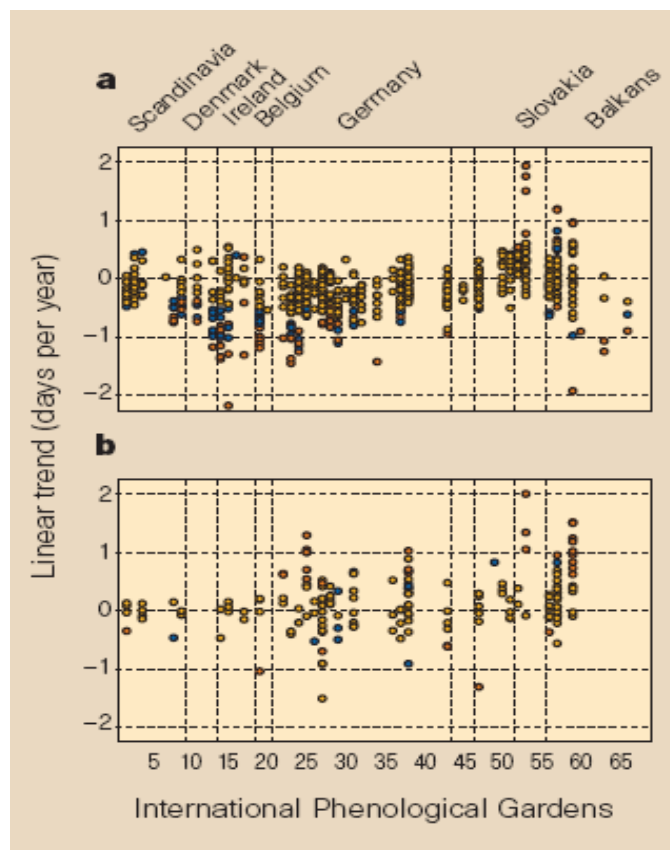
*Az évszakok hossza, határai és fő időszaka, valamint a domináns légköri képződmény*

*(Forrás: Alpert et al. [2004])*

| Season                   | Full period                                | High season                         | Duration of full period     |
|--------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Dates and lengths</i> |  |                                     |                             |
| Summer                   | 31 May–22 Sep                              | 25 Jun–7 Sep                        | 3 months 23 days (115 days) |
| Autumn                   | 23 Sep–6 Dec                               | 8 Oct–28 Nov                        | 2 months 14 days (75 days)  |
| Winter                   | 7 Dec–30 Mar                               | 17 Jan–2 Mar                        | 3 months 23 days (114 days) |
| Spring                   | 31 Mar–30 May                              | 2 Apr–30 Apr                        | 2 months (61 days)          |
| <i>Suggested rules</i>   |  |                                     |                             |
| Summer                   | PT dominates; above 6 days/11 days         | PT dominates; above 9 days/11 days  |                             |
| Autumn                   | Between summer and winter (RST dominates)  | RST dominates; above 4 days/11 days |                             |
| Winter                   | WLs above 3 days/11 days                   | WLs dominate; above 4 days/11 days  |                             |
| Spring                   | Between winter and summer (SL are typical) | SLs above 0.6 days/11 days          |                             |

### 3. Az évszakok változása

Az évszakok változásának vizsgálatát Anette Menzel és Peter Fabian a növény és állatvilág az időjárástól kiváltott életmegnyilvánulásaival és azok periodikus változásával, vagyis a *fenológiával* elemezte (Menzel és Fabian [1999]). Ezen életmegnyilvánulások periodikus időszakainak megváltozását vizsgálták 30 évre visszamenően egész Európában. A European Phenological Gardens Skandináviától Macedóniáig tartó 42°-69° szélességi körökben, és az Írországtól Finnorszáig tartó Nyugati 10° és Keleti 27° hosszúsági körök közt lévő hálózatát használták, olyan fákat és cserjéket vizsgáltak, amik genetikailag azonosak. Az első szakaszban a levélbontás, virágzás, levélsárgulás és levélhullás idejét figyelték meg. Az elemzés azt mutatta, hogy a tavaszi események kezdete érzékeny a klíma változására, és akár 6 napot is változhat a kezdeti ideje egy Celsius fokonként, mindkét irányban. Azt is vizsgálták, hogy a globális felmelegedés van-e hatással azokra az eseményekre, amelyek a tavasz és a nyár kezdetét és végét definiálják a hagyományos évszak-értelmezések szerint.



3. sz. ábra: Lineáris trendek mértékei és szignifikanciája (narancs: 1%, kék: 5%)

(a vízszintes tengelyen a fenológiai kertek sorszáma található)

(Forrás: Menzel és Fabian [1999])

A megvizsgált 20 év adataira lineáris trendet illesztettek majd F-próbával illetve Mann-Kendall trend teszttel vizsgálták, de csak a trendek negyede mutatott szignifikáns változást. A tavaszi időszakban negatív irányú változást jelzett, ami azt mutatta, hogy a tavasz hamarabb kezdődik évről-évre, míg az őszi időszakban pozitív irányút, tehát az ősz kezdete későbbre tolódott. A 616 tavaszi adat  $-0,20$  nap/év változást mutatott, ami 30 év alatt körülbelül 6 nap, míg a 178 őszi adat  $+0,16$  nap/év változást mutatott, ami 4,8 nap 30 év alatt. Így a vegetációs időszak vagy „growing season” összességében 10,8 nappal nőtt átlagosan.

Michael Mann és Jeffrey Park az üvegházhatást vizsgálta. Arra keresték a választ, hogy „a megnövekedett üvegházhatás megváltoztatja-e a hőmérséklet szezonális ingadozását” (Mann és Park [1996]). Összehasonlították a megvizsgált hőmérsékleti adatokban tapasztalt szezonális ciklus amplitúdójában és fázisában található trendeket a z elméleti adatokkal. Ezen adatokat két általános cirkulációs modell eredményeképpen kapták, amelyekben növekvő  $\text{CO}_2$  koncentrációt feltételeztek. Jelentős amplitúdó csökkenést tapasztaltak mindkét modellben és a megfigyelésekben is, ugyanakkor szignifikáns fáziskésés – eltolódó évszakváltás – volt megfigyelhető a szimulációk során szemben a konkrét megfigyelésekben kimutatottakkal. Bár a téli tengeri jég visszavonulása a magas szélességi körön fekvő területeken úgy tűnik, indokolja a modell válaszait a növekvő  $\text{CO}_2$  koncentrációra, de nem magyarázza az adatokban tapasztalt varianciát. Következtetések alapján az is elképzelhető, a fázisban megfigyelt tendenciát jelentősen befolyásolták közepes szélességeken fekvő kontinensek belső jellemzői, és ezek nem az üvegházhatás következményei, hanem sokkal inkább a természetes változékonyságnak köszönhetőek.

#### **4. Az elemzés matematikai alapjai**

Mivel közepes földrajzi szélességekről van szó, ezért négy évszak értelmezése volt a számítások és az elemzés célja. Az évszak definiálása a hőmérséklet évi menete alapján történt.

Az évi menetet minden évben a napi középhőmérsékletekhez illesztett éves és féléves periódusú sinus és cosinus hullám szuperpozíciójaként tekinthetjük. Itt a féléves hullám az évi menetben mutatkozó aszimmetria jellemzését szolgálja, ugyanis egyszerű vizuális megfigyelés is világosan jelzi, hogy a hőmérséklet őszi csökkenése időben gyorsabb, mint a tavaszi emelkedése. Ahol e két hullám együttesen a maximális értéket felveszi, az lesz a nyári csúcshőmérséklet, míg a hasonlóképp nyert minimális érték a téli ellentétes csúcsot reprezentálja. Az átmeneti évszakok legjellemzőbb időpontjai azok, ahol az évi menet görbéjének inflexiós pontjai vannak. Ezen négy időpont képezheti a négy évszak középső pontjait.

Az évszakok határai (a fenti megszorítást figyelembe véve) a következő módon határozhatók meg: első lépésként ki kell számítani az egyes napi középhőmérsékleteknek a hozzá tartozó évszagos átlaghőmérsékletétől való eltérésének négyzetes átlagát a teljes évre vonatkozóan. Azokat a dátumokat tekinthetjük évszakhatároknak, amelyek mellett az említett átlagos négyzetes hiba minimálisnak adódott. Az így nyert évszakokat tehát az jellemzi, hogy a valóságos évi menetek az egyes évszakokon belül konstansnak tekintett hőmérsékletek (évszagos átlagok) a legjobban közelítik (Mika és Matyasovszky [2009]).

Minden évre elvégezve a számítást az évszakhatárok természetesen erős véletlen ingadozásokat mutatnak. A végső cél a tendenciaszerű, nem véletlen ingadozások becslése volt a trendelemzés módszerével.

## 5. A megfigyelt adatok elemzése

A napi hőmérséklet adatsorokat Fortran nyelvű programok segítségével vizsgáltam, és a futtatások után a program meghatározta az egyes évszakok határait. A kapott adatokat a Microcal Origin statisztikai programban elemeztem tovább. Az adatokat leíró statisztikai módszerekkel és analitikus trendszámítás segítségével vizsgáltam, az eredményeket és a megfigyeléseket grafikonokon szemléltetem, illetve a lineáris trendszámítás eredményeit táblázatban összegzem. A kapott trendvonalak jelzik az évszakok kezdetének, illetve végének a változását.

3. sz. táblázat: Megfigyelési helyek és időszakok

| Városok   | Megfigyelt időszak |      |
|-----------|--------------------|------|
|           | kezdet             | vége |
| Bologna   | 1814               | 2009 |
| Budapest  | 1900               | 2000 |
| Bécs      | 1855               | 2004 |
| Debrecen  | 1900               | 2000 |
| Milano    | 1763               | 2009 |
| Prága     | 1775               | 2005 |
| Stockholm | 1756               | 2009 |
| Stornoway | 1873               | 2009 |
| Szeged    | 1900               | 2000 |
| Zágráb    | 1861               | 2004 |

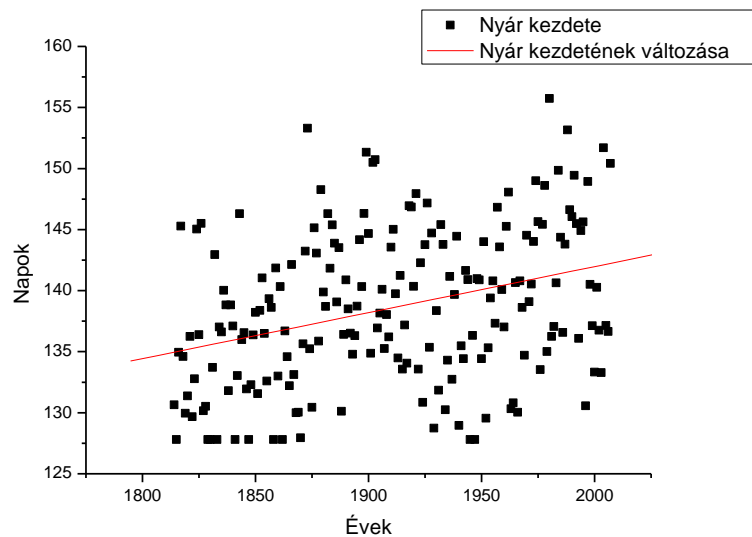
Ahogy a táblában is látható, a három magyar város mellett, Magyarországhoz közel fekvő városok, illetve Európa távolabbi részein lévő városok adatait is felhasználtam a számítások során, azért, hogy az Európán belül fellelhető esetleges eltéréseket is vizsgálni tudjam.

Az adatokat a European Climate Assessment and Dataset (<http://eca.knmi.nl/>), illetve az Országos Meteorológiai Szolgálat (<http://www.met.hu/>) internetes adatbázisaiból gyűjtöttem.

## 5.1 Dél-Európai városok elemzése – Bologna, Milano

Elemzésemben két olasz nagyváros adatsorait vizsgáltam. Bologna esetében egy 194 év hosszúságú (1814-2009) napi átlaghőmérsékleti adatsor, míg Milánó esetében 245 éves (1763-2009) adatsor állt rendelkezésre.

*Bologna* esetében csak az évszakok átlagos hosszának vizsgálata végezhető el, mert a lineáris trend csak a tavasz-nyár határ esetében mutatott egyértelmű változást, a többi évszakhatárnál a trend megbízhatósága nem érte el az elvárt szintet, így az nem tekinthető mérvadónak. Mindezek mellett az évszakok határai a következőképpen alakultak: A tavasz kezdete a 67. és 97. nap közé, míg vége a 125. és 155. nap közé tehető. Az elemzés azt mutatta, hogy a nyár kezdete 194 év alatt több mint egy hetet eltolódott, 100 évre számolva 3,78 nappal később kezdődik a nyári évszak.



4. sz. ábra: A nyár kezdetének változása (Bologna)

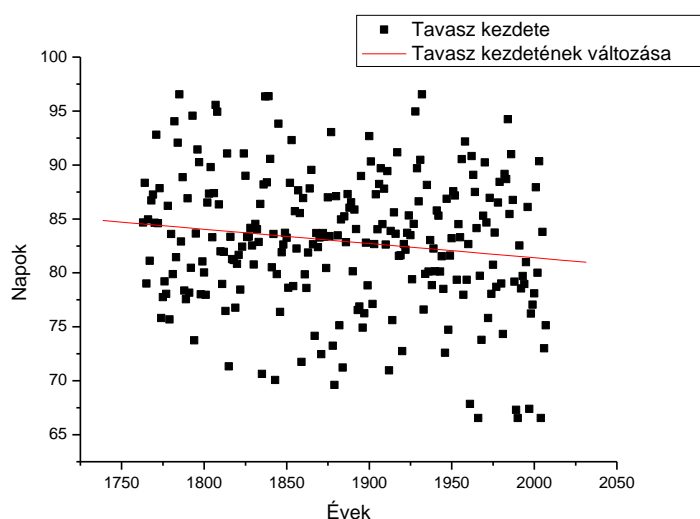
A megfigyelt időszak alatt a nyár vége a 255. és 285. nap közé esett, míg a tél kezdete a 295. és a 321. nap között mozgott. A tavasz átlagos hossza 58 nap volt, ennek a hossza növekedett az elemzés szerint. A nyaré 130 nap, míg az ősze 38 nap átlagosan, míg a téli hónap hossza 139 nap körül alakult.

Milano esetében mind a négy évszakhatárra megbízható trendet mutatott az elemzés.

4. sz. táblázat: Milanói adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői

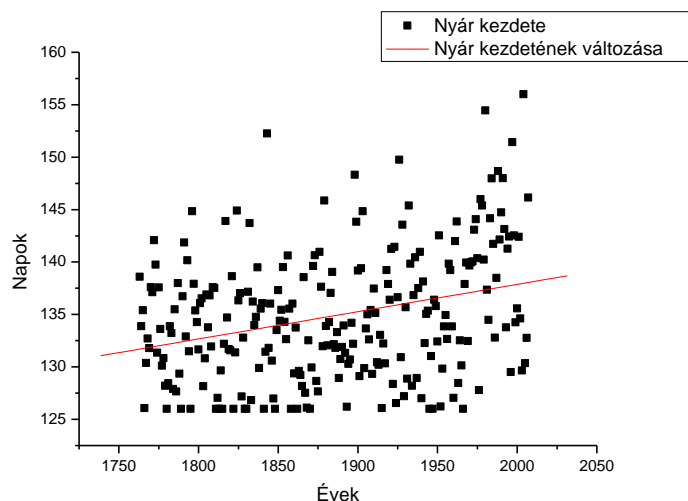
| Milano                                  | Tél-tavaszhatár | Tavaszyárhatár | Nyár-őszhatár | Ősz-télhatár |
|---|-----------------|----------------|---------------|--------------|
| lineáris trendfüggvény meredeksége      | -0,01322        | 0,02604        | -0,0135       | -0,0114      |
| lineáris trendfüggvény szignifikanciája | 0,01707         | 0,0001         | 0,00274       | 0,00953      |
| összes változás napokban                | -3,2389         | 6,3798         | -3,3075       | -2,793       |
| változás 100 évre napokban              | -1,322          | 2,604          | -1,35         | -1,14        |

A vizsgált 245 év alatt a tél vége több mint 3 nappal hamarabb következett be, ami 100 éves mértékben 1,3 napot jelent. Mindazonáltal a tavasz egyre tovább tart a trendfüggvény szerint, a változás majdnem egy hetet mutat. Az éghajlatváltozás vizsgálatok a fentebb említett források is említik, hogy az átmeneti évszakok rövidülnek, hamarabb következik be az átállás a télről nyárra, de vizsgálatom azt mutatja, hogy 100 évenként a tavasz hossza 3 nappal nőtt.



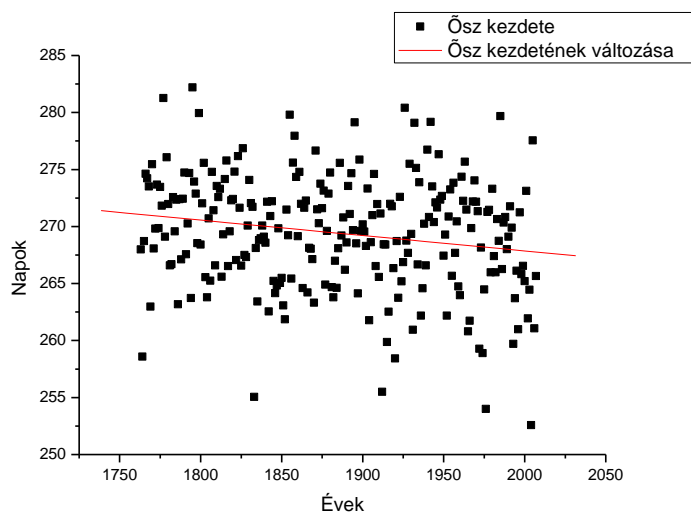
5. sz. ábra: A tavasz kezdetének változása (Milano)





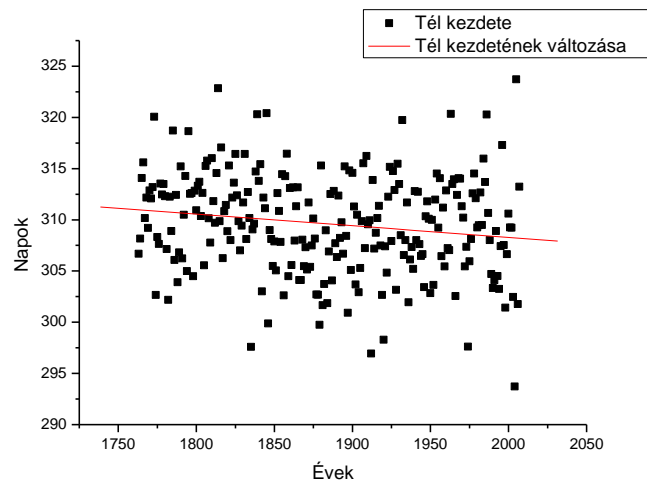
6. sz. ábra: A nyár kezdetének változása (Milano)

Bár a tavasz hossza nőtt, az elemzés kimutatta, hogy hossza még mindig nem felel meg a jelenlegi körülbelül 90 napos beosztásnak, átlagosan 61 nap hosszú az átmeneti évszak. A vizsgált időszakban a nyár a 126. (május 5-6.) és a 160. (június 8-9.) nap között kezdődött és a 255. (szeptember 11-12.) és 285. (október 11-12.) nap között ért véget. A nyár vége is korábban következik be, mint 245 évvel ezelőtt, 100 év alatt átlagosan 1,35 nappal. A vizsgált teljes időszakban 3,3 nap a változás.



7. sz. ábra: Az ősz kezdetének változása (Milano)

Az őszi elmozdulásával közel azonos mértékben a tél kezdete is megváltozott, 1,14 nappal 100 évenként. Ennek az átmeneti évszaknak is rövidebb a hossza a megszokottnál, az őszi vége a 294. (október 20-21.) és 324. (november 19-20.) nap közé esik, így átlagosan 39 nap hosszú az átmeneti évszak, s ez a vizsgált időszakban nagyobb mértékben nem változott. A tél vége a 67. (március 7-8.) és 97. (április 6-7.) nap közé esett, hossza átlagosan 138 nap volt.



**8. sz. ábra:** A tél kezdetének változása (Milano)

A két megfigyelt olasz városban a trendek egyértelműen azt mutatták, hogy a tavasz és nyár határa mindkét helyen elmozdult a vizsgált időszakokban.

## 5.2 Észak-Európai városok elemzése – Stockholm, Stornoway

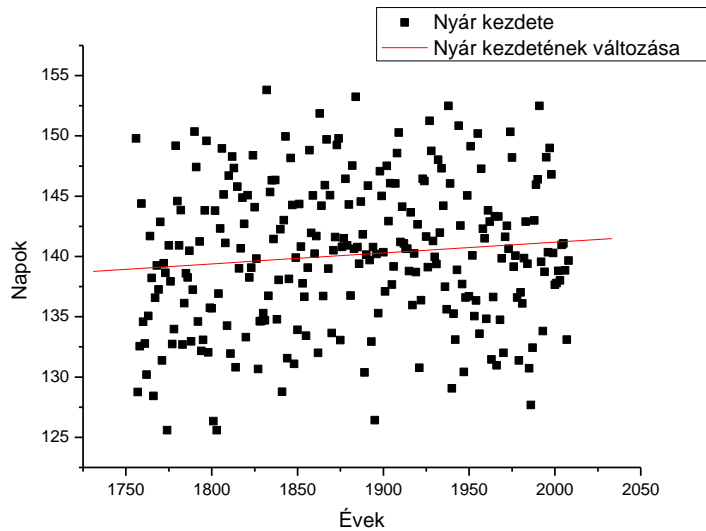
Az elemzést elvégeztem két Magyarországtól távoli, más éghajlatú állomáson is. Az egyik a leghosszabb adatsorral rendelkező svédországi Stockholm, a másik a Skóciától nyugatra lévő Külső-Hebridák szigetcsoport fővárosa, Stornoway. A svéd főváros 253 évre visszamenőleg rendelkezik hőmérsékleti adatokkal 1756-tól 2009-ig, míg az észak-skóciai városról 153 év adata állt rendelkezésre, 1873-tól 2009-ig.

A *stockholmi* adatok elemzése során három esetben bizonyult a lineáris trend szignifikánsnak, míg a tavasz és a nyár határának meghatározása esetén a hiba mértéke meghaladta az elfogadható szintet.

5. sz. táblázat: Stockholmi adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői

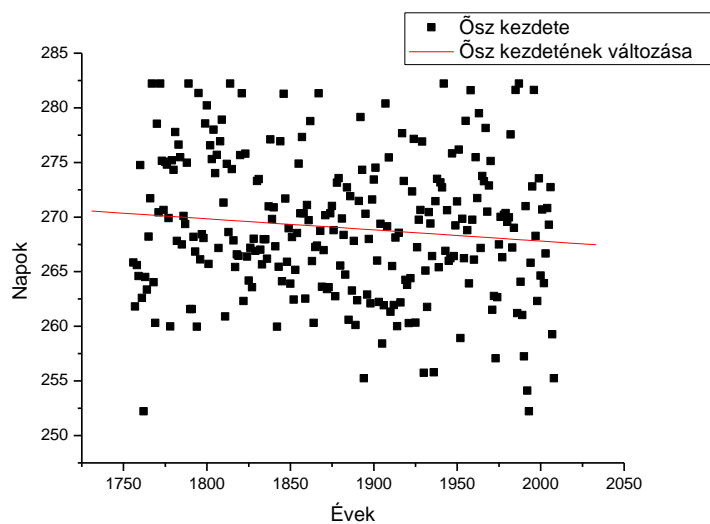
| <i>Stockholm</i>                        | <i>Tavasz-nyár határ</i> | <i>Nyár-ősz határ</i> | <i>Ősz-tél határ</i> |
|---|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| lineáris trendfüggvény meredeksége      | 0,00903                  | -0,01022              | 0,02254              |
| lineáris trendfüggvény szignifikanciája | 0,07938                  | 0,06114               | 0,00237              |
| összes változás napokban                | 2,28459                  | -2,58566              | 5,70262              |
| változás 100 évre napokban              | 0,903                    | -1,022                | 2,254                |

A tavasz kezdete az év 84. (március 24-25.) és 114. (április 23-24.) napja között változott, míg a vége a 125. (május 4-5.) és 144. (május 23-24.) nap között, átlagos hossza 36 nap, ami a legrövidebb tavaszi átmeneti évszak a megfigyelt állomások között. A nyár a megfigyelt 253 év alatt összesen 2,28 nappal később kezdődött, ami 100 évenként 0,9 napos változást jelent.



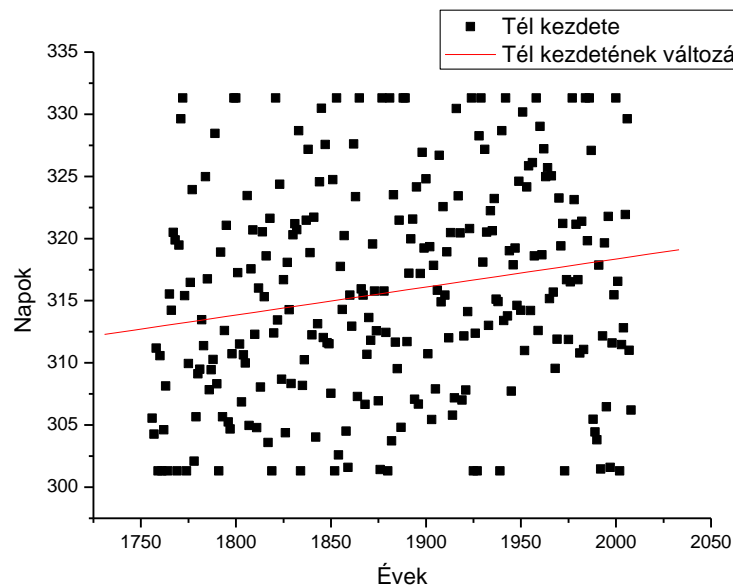
**9. sz. ábra:** A nyár kezdetének változása (Stockholm)

A nyár vége a 252. és a 282. nap között mozgott, hossza pedig átlagosan 133 nap, ami több mint egy hónappal hosszabb, mint a ma alkalmazott évszakfelosztás. Az ősz kezdete átlagosan 2,5 nappal hamarabb következik be, mint 253 évvel ezelőtt, ami azt jelenti, hogy a nyár a vizsgált időszak alatt több mint 4 nappal rövidült.



**10. sz. ábra:** Az ősz kezdetének változása (Stockholm)

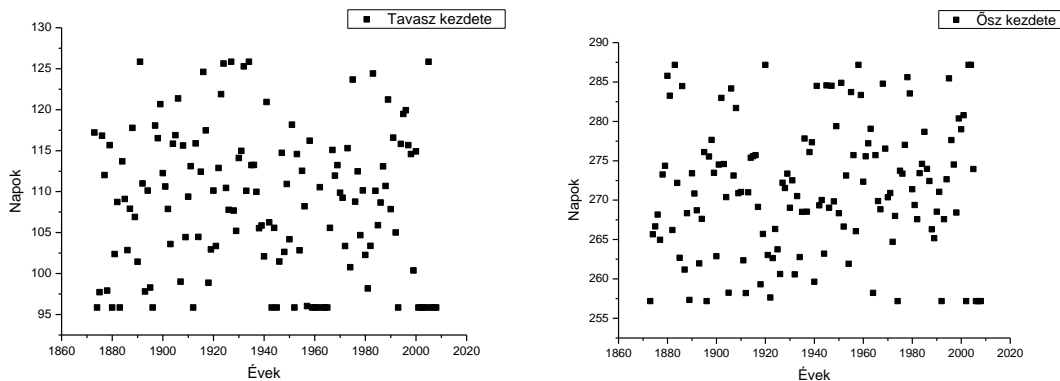
Az őszi vége a vizsgált időszakban a 300. és a 332. nap között mozgott, így átlagosan 50 nap hosszú volt az átmeneti évszak, mindazonáltal itt kezdődött a legkésőbb a tél a vizsgált állomások közül. A téli évszak a megfigyelt időszakban folyamatosan később kezdődött, viszont az évszak vége nem mutatott egyértelmű változást, így ezzel a tél rövidült, a 253 év alatt 5,7 napot, 100 évente 2,25 nap volt a változás mértéke. A hideg évszak átlagos hossza 148 nap volt, ami szintén több mint egy hónappal hosszabb a megszokott felosztásnál.



**11. sz. ábra:** A tél kezdetének változása (Stockholm)

A skóciai *Stornoway* városában az évszakhatárok egy kivételével nem mutattak szignifikáns változást, egyedül a tavasz és a nyár határa mozdult el érzékelhetően a megfigyelt 136 év alatt. A vizsgált időszakban a tavasz kezdete a 96. és 126. nap között alakult, míg a vége a 142. és 172. nap között.

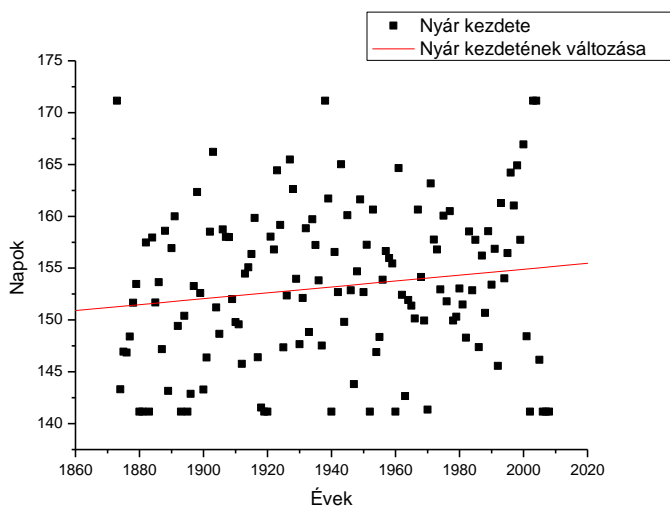
A 11. számú ábrán is jól látható, hogy a tavasz és az őszi esetén lineáris trend nem illeszthető az adatokra. Az őszi kezdete a 257. és a 287. nap között alakult, míg vége a 298. és 328. nap között. A nyár a 141. és 172. nap között kezdődött, és egyértelmű változás mutatható ki ennek alakulásában, 100 év alatt átlagosan 2,841 nappal később kezdődik, a teljes mért időtartamra a változás a majd 150 év alatt majdnem 4 nap.



12. sz. ábra: A tavasz és az ősz kezdetének alakulása (Stornoway)

6. sz. táblázat: Stornoway-i adatok alapján számított trendfüggvény jellemzői

| Stornoway                               | Tavaszi-nyári határ |
|---|---------------------|
| lineáris trendfüggvény meredeksége      | 0,02841             |
| lineáris trendfüggvény szignifikanciája | 0,08399             |
| összes változás napokban                | 3,86376             |
| változás 100 évre napokban              | 2,841               |



13. sz. ábra: A nyári kezdetének változása (Stornoway)

### 5.3 Közép-Európai városok elemzése – Prága, Bécs, Zágráb

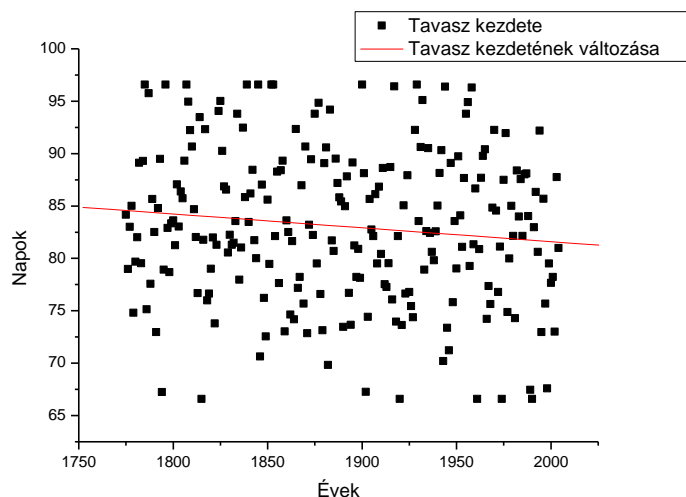
A Magyarországon bekövetkezett változásokkal való összehasonlítás érdekében megvizsgáltam az országunkhoz közeli nagyvárosok lehető leghosszabb adatsoraiban tapasztalható változásokat. Három város rendelkezett kimagaslóan hosszú hőmérsékleti adatsorral: ezek közül a leghosszabb Prágáé (230 éves) az 1775-2005 közötti évekre vonatkozik, míg Bécs adatsora 154 év megfigyeléseit tartalmazza 1855-2010 között, továbbá Zágráb esetén 143 év adata állt rendelkezésre 1861-től 2004-ig.

*Prága* városát megvizsgálva arra az eredményre jutottam, hogy három évszakhatár tekintetében mutatható ki a trend, míg az ősztél határ esetében a lineáris trendvonal megbízhatósága nem volt megfelelő.

7. sz. táblázat: Prágai adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői

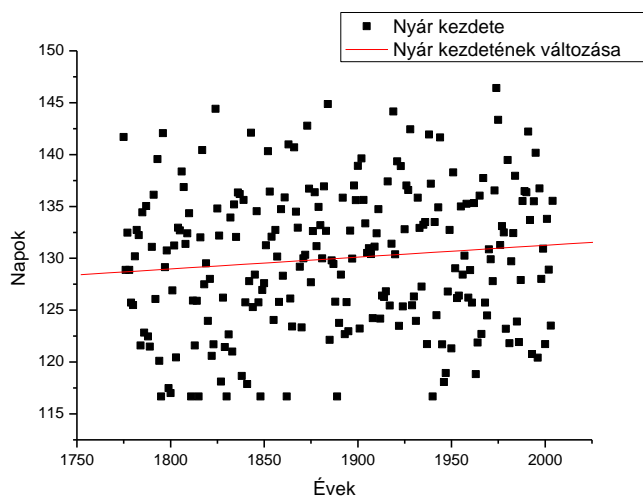
| <i>Prága</i>                            | <i>Tél-tavaszhatár</i> | <i>Tavaszyárhatár</i> | <i>Nyár-őszhatár</i> |
|---|------------------------|-----------------------|----------------------|
| lineáris trendfüggvény meredeksége      | -0,0132                | 0,01142               | -0,02083             |
| lineáris trendfüggvény szignifikanciája | 0,0693                 | 0,09187               | 0,00099              |
| összes változás napokban                | -3,036                 | 2,6266                | -4,7909              |
| változás 100 évre napokban              | -1,32                  | 1,142                 | -2,083               |

A vizsgálat kimutatta, hogy a tavasz kezdetének határa elmozdult, hamarabb kezdődik, átlagosan 1,32 nappal 100 évre. Itt is kimutatható az átmeneti évszak hosszának változása, bár nem akkora mértékben, mint a dél-európai városoknál, de a tavasz vége is eltolódott, 100 év alatt 1,14 nappal, így összesen a 230 év alatt az évszak hossza 5 nappal nőtt meg.



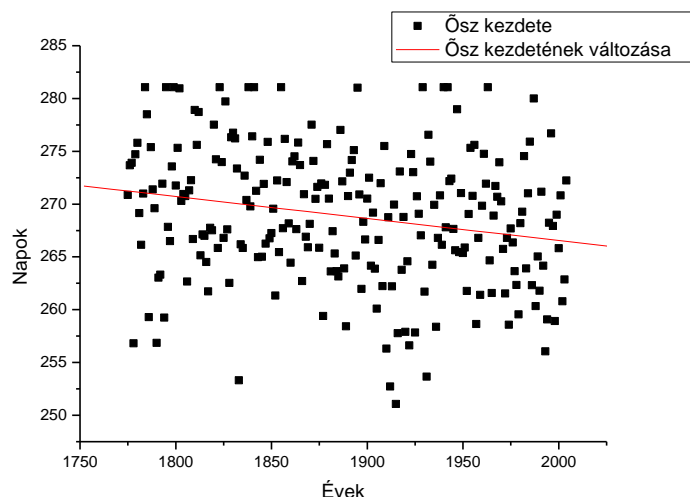
14. sz. ábra: A tavasz kezdetének változása (Prága)

A tavasz kezdete a 65. (március 5-6.) és 97. (április 6-7.) nap közé esett, az évszak vége a 116. (április 25-26.) és a 145. (május 24-25.) nap közé, átlagos hossza 50 nap. A nyár ezzel szemben hamarabb kezdődik, mint a naptári beosztás szerint, a vége pedig hamarabb következik be, 100 év alatt átlagosan 2 nappal. A nyár hosszában rövidülés mutatható ki, átlagosan 3 nappal.



15. sz. ábra: A nyár kezdetének változása (Prága)





**16. sz. ábra:** A ősz kezdetének változása (Prága)

Az évszak vége a 250. (szeptember 6-7.) és a 283. (október 9-10.) nap közé tehető, hossza átlagosan 136 nap. Az őszi átmeneti hónap vége a 295.(október 21-22.) és a 324. (november 19-20.) nap között mozog, abban egyértelmű változás nem mutatható ki. Az évszak hossza átlagosan 43 nap, míg a tél esetében ez a szám 137 nap.

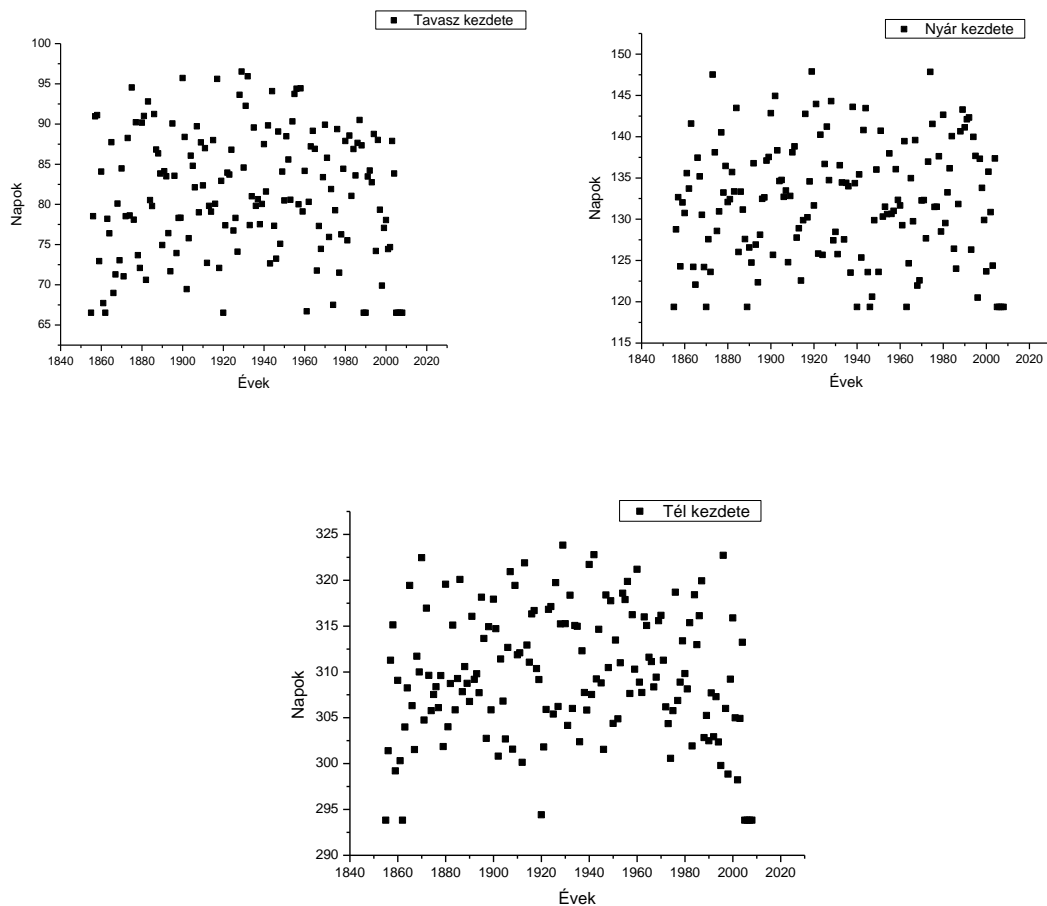
A másik két város közelebb van Magyarországhoz, így az ott tapasztaltak hasonlóak lehetnek a magyarországi adatokhoz. Mind Zágráb, mind Bécs esetén csak a nyár és az ősz határában volt kimutatható eltolódás, a többi évszak határán a lineáris trend szignifikanciája nem érte el a kívánt szintet.

**8. sz. táblázat:** Bécsi és Zágrábi adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői a nyár és az ősz határára vonatkozóan

| <i>Nyár-ősz határ</i>                   | <i>Bécs (154 év)</i> | <i>Zágráb (143 év)</i> |
|---|----------------------|------------------------|
| lineáris trendfüggvény meredeksége      | -0,02571             | -0,03267               |
| lineáris trendfüggvény szignifikanciája | 0,03171              | 0,01027                |
| összes változás napokban                | -3,95934             | -4,67181               |
| változás 100 évre napokban              | -2,571               | -3,267                 |

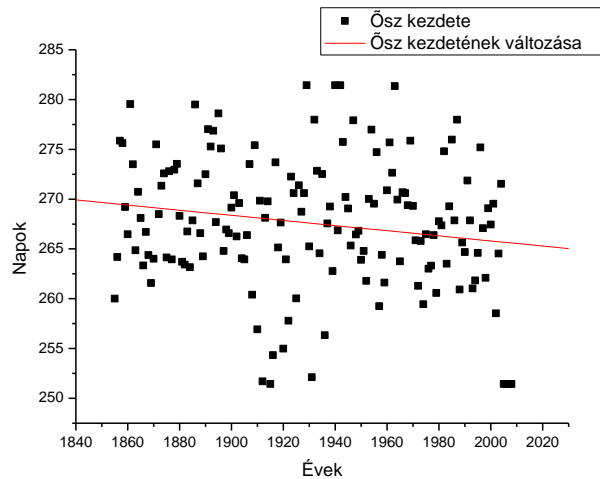
Bécsben a tavasz a 65. (március 5-6.) és a 97. (április 6-7.) nap között kezdődik, és a 119. (április 28-29.) és a 147. (május 26-27.) nap között ér véget, hossza átlagosan 52 nap körül mozog.

A 17. számú ábrákon látható, hogy a tavasz, a nyár és a tél kezdetére vonatkozóan nem illeszthető trendfüggvény:



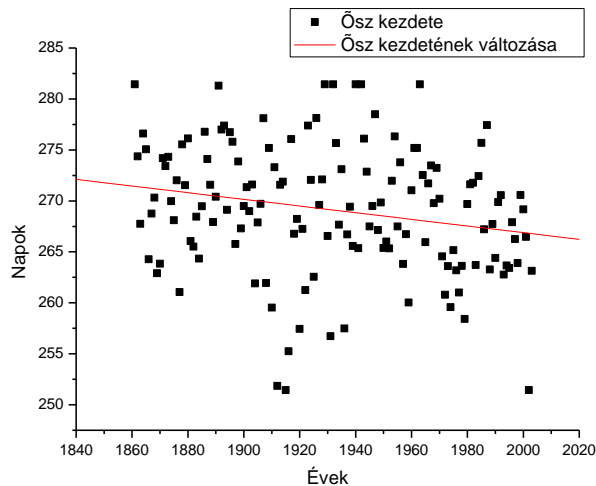
17. sz. ábra: Tavasz, nyár és tél kezdete (Bécs)

A nyár és az ősz határa a 251. és 281. napok között mozgott, és a megfigyelt adatsorban a változó évszak majdnem 4 nappal korábban kezdődött, ezáltal a nyár rövidült, 100 évente átlagosan 2,57 nappal. Átlagos hossza 133 nap. A tél kezdete 298. és 324. nap között alakult, így az ősz hossza 45 nap körül mozgott, de ez a vizsgált időtartamban növekedett. A téli évszak átlagos hossza 135 nap volt, ennek a hossza egyértelműen nem változott.



**18. sz. ábra:** Az ősz kezdetének változása (Bécs)

A horvátországi Zágrábban a tavasz a 66. és 96. nap között kezdődött, a nyár a 119. és a 150. nap, míg az ősz a 250. és a 284. nap között. Az átmeneti évszak hossza átlagosan 53 nap, míg a nyári évszak hossza 133 nap volt. A vizsgálat egyértelműen csak a nyár vége és ősz kezdete határán mutatott változást, és azt mutatta, hogy a meleg évszak itt is rövidült, mint Bécs esetében, átlagosan 100 évente 3,2 nappal kezdődött hamarabb az ősz, azaz ennyivel rövidült a nyár.

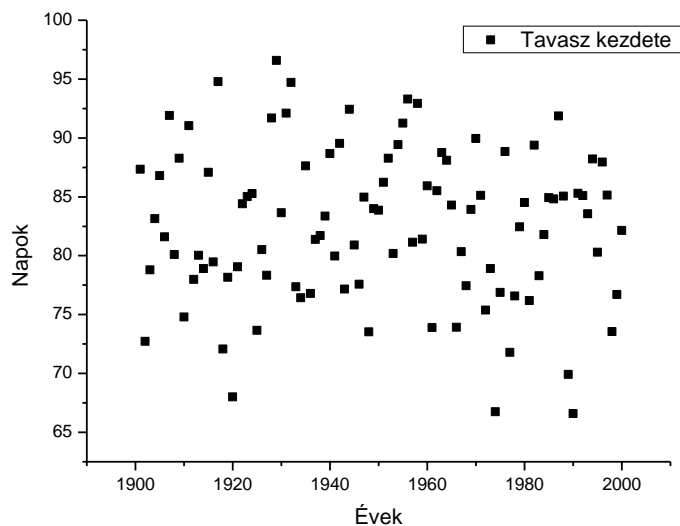


**19. sz. ábra:** Az ősz kezdetének változása (Zágráb)

A téli időszak kezdete a 294. és 324. nap között mozgott, így az ősz hossza átlagosan 42 nap volt, ami növekedett a vizsgálat során, összesen 4,6 napot, míg a tél hossza nem változott, átlagosan 137 napos volt.

#### 5.4 Magyarországi városok elemzése – Budapest, Debrecen, Szeged

Az európai városok után megvizsgáltam, hogy Magyarországon kimutatható-e hasonló változás. Mind a három magyar város 1901 és 2000 között rendelkezik hőmérsékleti adatokkal, így a vizsgáltak közül ezek a legrövidebbek, mindössze 100 évre mennek vissza az időben. Az évszakhatárok meghatározása során a lineáris trendfüggvény nem bizonyult szignifikánsnak egyik évszakhatár esetében sem. Ennek egyik oka az is lehet, hogy a rendelkezésre álló adatok rövidsége miatt nem lehetett változást kimutatni az évszakok határának alakulásában.



*20. sz. ábra: A tavasz kezdete (Budapest)*

A 20. számú ábrán jól látható, hogy a tavasz kezdetében semmiféle tendencia nem figyelhető meg – ezt alátámasztják a lineáris trendfüggvény szignifikanciájára és hibájára vonatkozó eredmények is. Ugyanez volt megfigyelhető mindhárom magyar város esetén mindegyik évszak vonatkozásában.

**9. sz. táblázat:** A program által meghatározott évszakhatárok Magyarországon

| <i>Évszakhatár</i>         | <i>Budapest</i>      | <i>Debrecen</i>    | <i>Szeged</i>      |
|----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Tavaszi legkorábbi kezdete | 67. (márc. 7-8.)     | 66. (márc. 6-7.)   | 65. (márc. 5-6.)   |
| Tavaszi legkésőbbi kezdete | 97. (ápr. 6-7.)      | 97. (ápr. 6-7.)    | 96. (ápr. 5-6.)    |
| Nyári legkorábbi kezdete   | 127. (máj. 6-7.)     | 117. (ápr. 26-27.) | 115. (ápr. 24-25.) |
| Nyári legkésőbbi kezdete   | 156. (jún. 4-5.)     | 144. (máj. 23-24.) | 146. (máj. 25-26.) |
| Őszi legkorábbi kezdete    | 255. (szept. 11-12.) | 251. (szept. 7-8.) | 251. (szept. 7-8.) |
| Őszi legkésőbbi kezdete    | 287. (okt. 13-14.)   | 281. (okt. 7-8.)   | 282. (okt. 8-9.)   |
| Téli legkorábbi kezdete    | 295. (okt. 21-22.)   | 296. (okt. 22-23.) | 295. (okt. 21-22.) |
| Téli legkésőbbi kezdete    | 323. (nov. 18-19.)   | 324. (nov. 19-20.) | 324. (nov. 19-20.) |

Ahogy az összefoglaló táblában is látható, Magyarországon az évszakok határai együtt mozognak mind a három városban. Így az évszakok hosszát együttesen határoztam meg az egész országra. Az évszakok hosszát kiszámoltam a megfigyelt állomásokra külön határoztam meg, majd ezekből egy átlagolva kaptam meg az országot jellemző értéket.

Az első átmeneti évszak, a tavasz hossza így átlagosan 53 nap körül alakult, míg a nyár 134 nap hosszú. Az őszi átmeneti évszak átlagosan 42 nap hosszú volt, míg a tél körülbelül 137 napig tartott.

Így megállapítható, hogy az évszakok hosszai Magyarországon hasonlóan alakulnak a többi európai város adataiból számított évszakokkal, itt is két nagyon rövid átmeneti, és két, közel 4-5 hónap hosszú meleg, illetve hideg évszakra tagolódik az időjárás.

Érdeemes megfigyelni, hogy a két átmeneti évszak közül minden országban és minden esetben az őszi volt a rövidebb, ott hamarabb következik be az átállás a meleg nyárról a télre.

## 6. Összefoglalás

Dolgozatomban azt vizsgáltam, hogy egy matematikai alapú évszak-meghatározással számított évszakhatárok mely napokra esnek a 365 napos éven belül. Elemzésemhez a leghosszabb európai adatsorral rendelkező állomások adatait vizsgáltam, tíz európai – köztük három magyar – város, különböző időtávra vonatkozó megfigyelt napi átlaghőmérséklet adatait használtam fel 1756 és 2009 között. A vizsgálatom kimutatta, hogy az évszakok határai nem esnek egybe a hagyományos, azonos hosszúságú évszakokat tartalmazó felosztással. Az időjárás minden esetben két nagyon rövid átmeneti, és két – akár 4-5 – hónap hosszú hideg téli, vagy meleg nyári évszakot alkotott.

A vizsgálatom kiterjedt arra is, hogy ezek a számított évszakhatárok elmozdultak-e az évek során, és ha igen, akkor hogyan. Ezeknél a vizsgálatoknál az évszakhatárok időbeli változását reprezentáló trendfüggvényeknek csak az egyharmada adott értékelhető megoldást. Az évszakok határai szinte minden vizsgált európai területen elmozdultak a vizsgált időintervallumban, Bologna és Milano esetén a tavasz hossza növekedett szignifikánsan, bár Milano esetén a többi évszakhatár is változást mutatott, míg Stockholm adatai alapján a nyár hossza mutatott egyértelmű csökkenést. Bécs és Zágráb esetében a nyár és az ősz határa tolódott el igen jelentős, 4 illetve 4,5 napos mértékben.

A magyar városok adatai alapján számított évszakhatárok nem mutattak szignifikáns elmozdulást. Ennek egyik oka lehet, hogy ezek a napi középhőmérséklet adatok voltak a legrövidebbek, mindössze 100 évesek, tehát itt állt rendelkezésre a legkevesebb megfigyelés.

Megállapítottam, hogy Magyarországon az évszakok hosszai hasonlóan alakulnak a többi európai város adataiból számított eredményekkel, azaz itt is két nagyon rövid átmeneti, és két, közel 4-5 hónap hosszú meleg, illetve hideg évszakra tagolódik az időjárás.

Érdekes megfigyelés volt, hogy a két átmeneti évszak közül minden országban és minden városban az ősz volt a rövidebb, ott hamarabb következik be az átállás a meleg

nyárról a télre, míg tavasszal hosszabb idő szükséges a téli hidegről a nyári megre való felmelegedéshez.

A számításaim tehát alátámasztják, hogy a számított évszakhatárok nem felelnek meg teljes mértékben a naptárban alkalmazott azonos hosszúságú évszakfelosztással.

## 7. Ábrajegyzék

|                      |  |           |
|----------------------|--|-----------|
| <b>1. sz. ábra:</b>  | A napsugárzás és a hőmérséklet késleltetése  | <b>6</b>  |
| <b>2. sz. ábra:</b>  | A téli (b) és nyári (a) évszakok hosszának és határának összehasonlítása a különböző definíciók alapján                                  | <b>8</b>  |
| <b>3. sz. ábra:</b>  | Lineáris trendek mértékei és szignifikanciája (narancs: 1%, kék: 5%)<br>( a vízszintes tengelyen a fenológiai kertes sorszama található) | <b>10</b> |
| <b>4. sz. ábra:</b>  | A nyár kezdetének változása (Bologna)  | <b>14</b> |
| <b>5. sz. ábra:</b>  | A tavasz kezdetének változása (Milano)   | <b>15</b> |
| <b>6. sz. ábra:</b>  | A nyár kezdetének változása (Milano)   | <b>16</b> |
| <b>7. sz. ábra:</b>  | Az ősz kezdetének változása (Milano)   | <b>16</b> |
| <b>8. sz. ábra:</b>  | A tél kezdetének változása (Milano)  | <b>17</b> |
| <b>9. sz. ábra:</b>  | A nyár kezdetének változása (Stockholm)  | <b>19</b> |
| <b>10. sz. ábra:</b> | Az ősz kezdetének változása (Stockholm)  | <b>19</b> |
| <b>11. sz. ábra:</b> | A tél kezdetének változása (Stockholm)   | <b>20</b> |
| <b>12. sz. ábra:</b> | A tavasz és az ősz kezdetének alakulása (Stornoway)  | <b>21</b> |
| <b>13. sz. ábra:</b> | A nyár kezdetének változása (Stornoway)  | <b>21</b> |
| <b>14. sz. ábra:</b> | A tavasz kezdetének változása (Prága)  | <b>23</b> |
| <b>15. sz. ábra:</b> | A nyár kezdetének változása (Prága)  | <b>23</b> |
| <b>16. sz. ábra:</b> | Az ősz kezdetének változása (Prága)  | <b>24</b> |
| <b>17. sz. ábra:</b> | Tavaszi, nyári és téli kezdete (Bécs)  | <b>25</b> |
| <b>18. sz. ábra:</b> | Az ősz kezdetének változása (Bécs)   | <b>26</b> |
| <b>19. sz. ábra:</b> | Az ősz kezdetének változása (Zágráb)   | <b>26</b> |
| <b>20. sz. ábra:</b> | A tavasz kezdete (Budapest)  | <b>27</b> |



## 8. Táblázatjegyzék

|                         |   |           |
|-------------------------|---|-----------|
| <b>1. sz. táblázat:</b> | Az évszakok határai(D) és hosszai(L) a csillagászati, meteorológiai, és a napi középhőmérséklet által definiált felosztás szerint | <b>7</b>  |
| <b>2. sz. táblázat:</b> | Az évszakok hossza, határai és fő időszaka, valamint a domináns légköri képződmény  | <b>9</b>  |
| <b>3. sz. táblázat:</b> | Megfigyelési helyek és időszakok  | <b>13</b> |
| <b>4. sz. táblázat:</b> | Milanói adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői  | <b>15</b> |
| <b>5. sz. táblázat:</b> | Stockholmi adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői   | <b>18</b> |
| <b>6. sz. táblázat:</b> | Stornoway-i adatok alapján számított trendfüggvény jellemzői  | <b>21</b> |
| <b>7. sz. táblázat:</b> | Prágai adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői   | <b>22</b> |
| <b>8. sz. táblázat:</b> | Bécsi és Zágrábi adatok alapján számított trendfüggvények jellemzői a nyár és az ősz határára vonatkozóan                         | <b>24</b> |
| <b>9. sz. táblázat:</b> | A program által meghatározott évszakhatárok Magyarországon  | <b>28</b> |

## 9. Irodalomjegyzék

- [1] Albert, P. – Osetinsky, I. – Ziv, B. – Shafir, H. [2004]: A New Season Definition Based on Classified Daily Synoptic Systems: An Example for the Eastern Mediterranean  
Royal Meteorological Society, International Journal of Climatology 24, pp. 1013-1021.
- [2] Czelnai Rudolf [1981]: Bevezetés a meteorológiába III. A meteorológia eszközei és módszerei  
Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 8. javított kiadás 2004. 310-332. o.
- [3] Huschke, Ralph E. [1959]: Glossary of Meteorology  
American Meteorological Society, Boston
- [4] Lamb, H. H. [1950]: Types and spells of weather around the year in the British Isles : Annual trends, seasonal structure of the year, singularities  
Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 76, Issue 330, pp. 393-429.
- [5] Mann, Michael M. – Park, Jeffrey [1996]: Greenhouse Warming and Changes in the Seasonal Cycle of Temperature: Model Versus Observation  
Geophysical Research Letters, vol. 23, no. 10, pp. 1111-1114.
- [6] Menzel, Annette – Fabian, Peter [1999]: Growing Season Extended in Europe  
Nature, vol. 397, pp. 659.
- [7] Mika, J. – Matyasovszky, I. [2009]: Objective definition of seasons to detect their changes based on climate data.  
6th General Assembly of EGU, Vienna, Austria, April 19-25, 2009, Section CL44.
- [8] Dr. Péczely György [1979]: Éghajlattan  
Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 2006. ISBN 963 19 3938 3  
285-322. o.

- [9] Rostás László, Szlávik Tamás et al. (szerk.) [1998]: Magyar Nagylexikon  
Hetedik Kötet  
Magyar Nagylexikon Kiadó, Budapest 1998.  
38. o.
- [10] Trenberth, Kevin E. [1983]: What are the Seasons?  
Bulletin American Meteorological Society, vol. 64. no. 11.
- [11] Vissy Károly [2005]: Meteorológiai Iskolája  
Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest <http://www.met.hu/>
- [12] <http://www.wikipedia.com>

## **Köszönetnyilvánítás**

Munkám elkészítéséhez sok segítséget, valamint útmutatást nyújtott témavezetőm Dr. Matyasovszky István.

Köszönetet mondok a Tanár Úrnak a források felkutatásához, valamint a Fortran és Microcal Origin szoftverek használatának elsajátításához nyújtott segítségéért, valamint hasznos tanácsaiért és észrevételeiért, amelyek nagymértékben elősegítették munkámat a dolgozat elkészítése során.