

dc_299_11

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS

**KÜLÖNBÖZŐ TAXONOK POLLENJEINEK
KOMPLEX STATISZTIKAI ELEMZÉSE
A METEOROLÓGIAI ELEMekkel
ÖSSZEFÜGGÉSBEN, KÜLÖNÖS
TEKINTETTEL A PARLAGFŰ POLLENJÉRE**

Makra László

Szeged, 2012

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	2
1. BEVEZETÉS	5
1.1. POLLEN ALLERGIA	5
1.2. A PARLAGFŰVEL ÉS A PARLAGFŰ-POLLENNEL KAPCSOLATOS NEMZETGAZDASÁGI KIADÁSOK	7
2. CÉLKITŰZÉS	8
3. ADATBÁZIS.....	10
3.1. MÉRŐHELYEK, ILLETVE A MÉRÉSI EREDMÉNYEK TÉRBELI REPREZENTATIVITÁSA.....	11
3.1.1. <i>Mérőhelyek</i>	11
3.1.1.1. Meteorológiai és levegőminőségi monitoring állomás.....	11
3.1.1.2. Aerobiológiai állomás	11
3.1.1.3. Mellkasi Betegségek Szakkórháza	12
3.1.2. <i>A légszennyezettség koncentrációk térbeli reprezentativitása</i>	12
3.2. ADATOK.....	12
3.2.1. <i>Meteorológiai és levegőminőségi adatok (Szeged)</i>	13
3.2.2. <i>Pollen adatok (Szeged)</i>	13
3.2.3. <i>Tengerszinti légnyomás rácspontr adatok (Észak-atlanti–európai térség)</i>	13
3.2.4. <i>Beteg adatok (Szeged)</i>	13
4. MÓDSZEREK	15
4.1. SAJÁT, ÖNÁLLÓ MÓDSZER (MAKRA-PRÓBA)	15
4.1.1. <i>A klasszikus kétmintás próba egy új interpretálása</i>	15
4.2. FELHASZNÁLT GYAKORLATI ÉS SZAKIRODALMI MÓDSZEREK	17
4.2.1. <i>Az adatkészlet simítása</i>	17
4.2.2. <i>A kriging eljárás</i>	18
4.2.3. <i>Faktoranalízis</i>	19
4.2.4. <i>Faktoranalízis speciális transzformációval</i>	19
4.2.5. <i>Backward trajektóriák</i>	20
4.2.6. <i>Clusteranalízis</i>	20
4.2.7. <i>Egyszempontú variancia analízis (ANOVA) és Tukey-teszt</i>	21
4.2.8. <i>A pollenküszöb túllépési epizódok statisztikai jellemzése</i>	22
4.2.9. <i>Időjárási frontok objektív azonosítása</i>	22
4.2.10. <i>Időfüggő többváltozós lineáris regresszió, időlépcsőkkel</i>	23
4.2.11. <i>Időfüggő nemparaméteres regresszió és kvantilis regresszió</i>	23
4.2.12. <i>Trendanalízis és Mann-Kendall teszt</i>	26
4.2.13. <i>Többszörös kapcsolati mérőszám, kockázati potenciál, terjeszkedési potenciál</i>	26
5. FELHASZNÁLT SZÁMÍTÓGÉPES SEGÉDLETEK	28
6. A PARLAGFŰ ÉS POLLENJÉNEK JELLEMZŐI	29
6.1. BEVEZETÉS	29
6.1.1. <i>A parlagfű eredete és elterjedése</i>	29
6.1.2. <i>A parlagfű Magyarországon</i>	30
6.1.3. <i>A parlagfű éghajlati, ökológiai, mezőgazdasági és jogi háttere</i>	30
6.1.3.1. <i>Éghajlati háttér</i>	30
6.1.3.2. <i>Ökológiai háttér</i>	31
6.1.3.3. <i>Mezőgazdasági háttér</i>	31
6.1.3.4. <i>Jogi háttér</i>	32
6.2. EREDMÉNYEK	32
6.2.1. <i>A vizsgált taxonok pollinációs időszakai és pollenkoncentrációi</i>	32
6.2.2. <i>Parlagfű pollenszámok és kritikus értékek</i>	34
6.2.3. <i>A parlagfű pollenszámok kumulatív összegei és a leg súlyosabb napi pollenkoncentrációk</i>	35
6.3. KÖVETKEZTETÉSEK	37

7. A PARLAGFÜPÖLLEN TRANSZPORT LÉGCIRKULÁCIÓS PÁLYÁINAK MEGHATÁROZÁSA SZEGED TÉRSÉGÉBEN BACKWARD TRAJEKTÓRIÁK 3D CLUSTEREZÉSÉNEK ALKALMAZÁSÁVAL.....	38
7.1. BEVEZETÉS	38
7.2. EREDMÉNYEK	39
7.3. ELEMZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	43
8. A NAPI ÁTLAGOS POLLENKONCENTRÁCIÓK OBJEKTÍV ÉS SZUBJEKTÍV IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK SZERINTI OSZTÁLYOZÁSA ÉS ÖSSZEHA-SONLÍTÓ HATÉKONYSÁG VIZSGÁLATA	46
8.1. A NAPI ÁTLAGOS POLLENKONCENTRÁCIÓK OBJEKTÍV IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK SZERINTI OSZTÁLYOZÁSA.....	46
8.1.1. Bevezetés	46
8.1.2. Eredmények	47
8.1.2.1. Az objektív időjárási típusok jellemzése.....	47
8.1.2.2. ANOVA statisztikák	51
8.1.3. Következtetések.....	51
8.2. A NAPI ÁTLAGOS POLLENKONCENTRÁCIÓK PÉCZELY-FÉLE SZUBJEKTÍV IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK SZERINTI OSZTÁLYOZÁSA	53
8.2.1. Bevezetés	53
8.2.2. Eredmények	53
8.2.2.1. A Péczely-féle szubjektív időjárási típusok jellemzése	53
8.2.2.2. ANOVA statisztikák	57
8.2.3. Következtetések.....	58
8.3. AZ OBJEKTÍV IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK ÉS A PÉCZELY-FÉLE SZUBJEKTÍV IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK HATÉKONYSÁGÁNAK ÖSSZEHA-SONLÍTÁSA A NAPI ÁTLAGOS POLLENKONCENTRÁCIÓK OSZTÁLYOZÁSÁBAN.....	61
8.3.1. Bevezetés	61
8.3.2. Eredmények	61
8.3.3. Következtetések.....	63
9. OBJEKTÍV ÉS SZUBJEKTÍV IDŐJÁRÁSI TIPIZÁLÁSON ALAPULÓ NAPI POACEAE POLLENKONCENTRÁCIÓK BECSLÉSE SZEGEDRE LINEÁRIS REGRESSZIÓ SEGÍTSÉGÉVEL.....	64
9.1. BEVEZETÉS	64
9.2. EREDMÉNYEK	65
9.2.1. Clusteranalízis és ANOVA.....	65
9.2.2. Lineáris regresszió	67
9.3. KÖVETKEZTETÉSEK	68
10. A NAPI PARLAGFÜPÖLLEN KONCENTRÁCIÓ BECSLÉSE SZEGEDRE AZ ELŐZŐ NAPI METEOROLÓGIAI VÁLTOZÓKKAL REGRESSZIÓ ANALÍZIS ÉS KVANTILIS REGRESSZIÓ ANALÍZIS SEGÍTSÉGÉVEL.....	69
10.1. BEVEZETÉS	69
10.2. EREDMÉNYEK	71
10.2.1. Regresszió és medián regresszió	71
10.2.2. Kvantilis regresszió	73
10.3. Következtetések.....	75
11. A LÉGÚTI MEGBETEGEDÉSEK TÖBBVÁLTOZÓS ANALÍZISE ÉS KAPCSOLATUK A METEOROLÓGIAI PARAMÉTEREK- KEL, VALAMINT A FŐ BIOLÓGIAI ÉS KÉMIAI LÉGSZENNYEZŐKKEL.....	77
11.1. BEVEZETÉS	77
11.2. EREDMÉNYEK	78
11.2.1. Cluster analízis és ANOVA.....	78
11.2.2. Optimális időlépcsők	80
11.2.3. Faktoranalízis speciális transzformációval.....	80
11.2.4. Időfüggő többváltozós lineáris regresszió	82
11.3. ELEMZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	85

12. AZ ALLERGÉN POLLENOK JELLEMZŐINEK TRENDJEI KÖZÉP-EURÓPÁBAN, SZEGED PÉLDÁJÁN	89
12.1. BEVEZETÉS	89
12.2. EREDMÉNYEK	91
12.2.1. Évi trendek.....	91
12.2.2. Napi trendek	92
12.2.3. Az éghajlati változók közötti kapcsolatok	93
12.3. ELEMZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	95
13. VÉGSŐ KÖVETKEZTETÉSEK.....	102
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	109
FÜGGELÉK	110
HIVATKOZÁSOK.....	111

1. BEVEZETÉS

A kémiai légszennyezők mellett a biológiai légszennyezőknek (pollen) is jelentős szerepe van a légúti megbetegedések kialakulásában. Azonban fontos különbség köztük, hogy míg előbbiek az egész év során előfordulnak, a koncentrációjuk eltérő évi menettel jellemezhető, s feldúsulásuk csak nagyobb települések, illetve ipartelepek levegőjében számottevő, addig utóbbiak időszakosak, a megjelenésük az adott taxon virágzásához kötött, s nem településekhez, hanem élőhelyekhez kapcsolódnak.

Európában a napi pollenkoncentrációk pollencsapdával történő folyamatos észlelése a közelmúltban kezdődött. Az Egyesült Királyságban 1961 óta (*Betula*, Emberlin és Norrishill, 1991; Emberlin et al., 1997), Svájcban 1969 óta (*Betula*, Peeters et al., 1994; Frei, 1997; Frei és Gassner, 2008a; 2008b), Spanyolországban és Olaszországban 1982 óta (*Oleaceae*, Declavijo et al., 1988; Fornaciari et al., 2000; Galán et al., 2001), Magyarországon Szegeden 1989 óta (*Ambrosia*, Juhász, 1995) folynak rendszeres pollenmérések. Másrészről szénanáthára vonatkozó epidemiológiai adatok Európában legkorábban – 1926-tól – Svájcban állnak rendelkezésre (Frei és Gassner, 2008a).

1.1. Pollen allergia

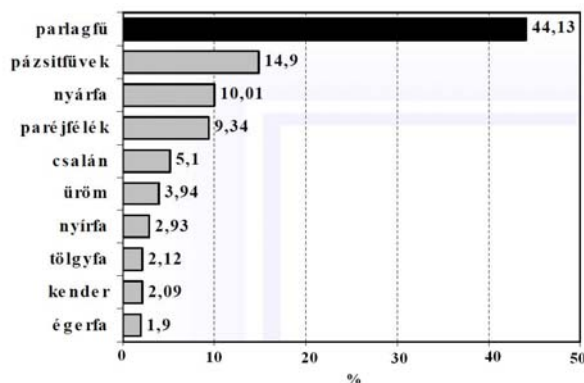
Különböző taxonok pollenjeit gyakran összefüggésbe hozzák a légúti allergiás tünetekkel. A pollenekhez kapcsolódó egészségi kockázat egyre növekszik, hiszen a légúti megbetegedések világméretű növekedése tapasztalható az elmúlt évtizedekben (D'Amato et al., 2011). Továbbá bizonyíték van arra, hogy a közlekedési eredetű légszennyező anyagok kölcsönhatásba léphetnek a pollenekkel, s még hevesebb légúti allergiás tüneteket idézhetnek elő (Motta et al., 2006). A mai városokban uralkodó feltételek (nagyobb ipari és közlekedési eredetű légszennyezettség terhelés) az okai annak, hogy a városi környezetben élők jobban ki vannak téve a pollennel kapcsolatos légúti allergiás megbetegedéseknek, mint azok, akik vidéken élnek (Obtulowicz et al., 1996; D'Amato et al., 2011). A közlekedési eredetű légszennyező anyagok modulálhatják a pollent, megkönnyítve a pollen és a légszennyező anyagok közötti kölcsönhatást a szervezeten kívül, ami viszont befolyásolhatja az allergiához kapcsolódó jelenségeket (Hjelmroos et al., 1999).

A pollen-allergiát okozó legfontosabb taxonok Európában a fűfélék (*Poaceae*), nyír (*Betula*), üröm (*Artemisia*) és Dél-Európában az olajfa (*Oleaceae*), míg Közép-Európában, s különösen a Kárpát-medencében az ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*). Klinikai kutatások igazolták, hogy a parlagfű rendkívül allergén pollenje a legsúlyosabb és legtartósabb szénanátha fő okozója (Harsányi, 2009).

A Dél-Magyarországon 1990-1996 között vizsgált különböző taxonok pollenszámainak évi összegei közül a parlagfűé kb. a felét (44,1%) teszi ki az összes többi taxon együttes évi pollentermelésének (1. ábra). Jóllehet ez az arány számottevő mértékben függ meteorológiai tényezőktől (1990-ben ez az arány 35,9%, míg 1991-ben 66,9%, Juhász, 1996), a parlagfű a legfontosabb aero-allergén növénynek tekinthető (Juhász és Juhász, 1997).

A parlagfű-allergia illetve -asztma néhány évtized alatt hazánk népbetegségévé vált (Kazinczi et al., 2008b; Páldy et al., 2010). A pollenallergiás megbetegedések száma évről-évre emelkedik, napjainkban az összlakosság kb. 20%-a szenved ebben a betegségben; s a betegek legalább harmadánál asztma is diagnosztizálható (Strausz et al., 2010). A pollenallergiás betegek 60-90%-a parlagfű-allergiában szenved (Harsányi, 2009). 1998-1999-ben Szeged-

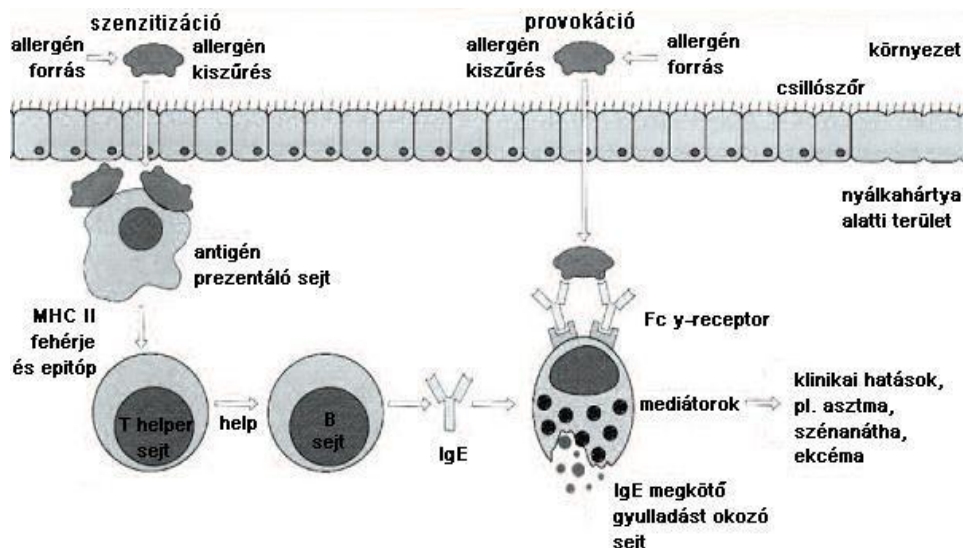
den bőrtesztrel igazoltan a betegek 83,7%-a volt érzékeny a parlagfűre, és 54,8%-a szenzitizálódott ürömrre (Kadocsa és Juhász, 2000; 2002).



1. ábra

Az egyes taxonok részesedése az évi összpollen koncentrációból, %, Szeged, 1990-1996, (Juhász és Juhász, 1997)

Az allergiás reakció lejátészódása két lépésben történik. Az 1. lépés az érzékennyé válás folyamata: (1a) az immunrendszer falósejtjei bekebelezik az allergént, (1b) az immunrendszer T-sejtjei azonosítják az allergénből származó antigént, (1c) a T-sejtek olyan anyagokat bocsátanak ki, amelyek aktiválják az immunrendszer B-sejtjeit, (1d) a B-sejtek egy speciális ellenanyagot, az ún. immunoglobulin-E molekulákat (IgE) kezdik termelni az allergén ellen, (1e) az ellenanyagok hozzákapszolódnak az immunrendszer hízósejtjeihez. A hízósejtek nagy számban találhatóak a légutakban és a bélrendszerben, ahol az allergének a szervezetbe juthatnak. A 2. lépés: az allergiás reakció lefolyása: (2a) ha a szervezet ismét találkozik az adott allergénnel, az allergén hozzákötődik az érzékennyé vált hízósejtekhez, (2b) a hízósejtek számos kémiai anyagot bocsátanak ki (pl. hisztamint), (2c) a kibocsátott kémiai anyagok központi szerepet játszanak az allergiás reakciók – viszketés, orrfolyás, stb. – kiváltásában (2. ábra) (Harsányi, 2009).



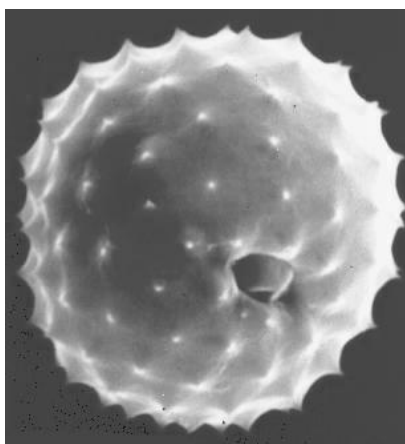
2. ábra

Az allergiás megbetegedésekhez kapcsolódó immunológiai mechanizmusok. Az első allergén ingerre kialakul a szenzitizáció, majd az ismételt allergén provokációra létrejön a degranuláció, és kialakul a gyulladásos reakció (Harsányi, 2009).

1.2. A parlagfűvel és a parlagfű-pollennel kapcsolatos nemzetgazdasági kiadások

Egy parlagfűpollen-érzékeny szénanáthás beteg szezonális gyógyszerköltsége kb. 30 000 Ft (Harsányi, 2009). Az asztmában szenvedő betegeknek a kezelési napok számának 50%-os növekedésével a kezelésre fordított gyógyszerek értéknövekedése 230% (Harsányi, 2009).

Óvatos becslések szerint Magyarországon a pollenallergiában szenvedők évente összesen kb. 27 milliárd Ft-ot költenek allergiás, illetve asztmás gyógyszerekre (Mányoki et al., 2011). Ugyanakkor a gyógyszerköltség a betegellátásban felmerülő közvetlen költségeknek csupán egy részét adja. A pollen-allergiában szenvedő betegek rendelőintézeti, illetve kórházi kezelésre fordított költségei további évi 16-20 milliárd Ft-ot tehetnek ki (Basky, 2009), tehát a teljes ráfordított összeg évente kb. 43-47 milliárd Ft (3. ábra).



3. ábra

A parlagfű pollenjének elektronmikroszkópos felvétele.
A parlagfű pollen mérete 10-25 μm (Béres et al., 2005).

A parlagfű az ország 6,5 millió ha szántóterületéből mintegy 345.000 hektáron (5,3%) veszélyezteteti, vagy lehetetleníti el a vetést (Novák et al., 2009). Ez a tétel évente további legalább 70-90 milliárd Ft árbevétel-kiesést jelent (Kazinczy et al., 2009; Basky, 2009). Kompetícióra vonatkozó vizsgálatok alapján megállapítható, hogy 10 db parlagfű/m² esetén kukoricásban kb. 29%, napraforgósban kb. 37% termés csökkenéssel kell számolni (Béres et al., 2005).

A fentiek alapján tehát mai árakon évi kb. 113-137 milliárd Ft az a gazdasági veszteség, amely a parlagfű tenyésztésével járó helytelen gazdálkodással kapcsolatos terméskiesésből, a közvetlen védekezési ráfordításokból, illetve a táppénzen töltött napok számából, a gyógyszerkiadásokból és a betegápolásból származik. Az egyéb közvetlen és közvetett hatások (munkaerő-kiesés, turisztikai, és természetvédelmi károk, a parlagfű-magvakkal szennyezett vetőmag) további – nehezen megbecsülhető – veszteségekkel járnak, s az összes okozott kár valószínűleg elérheti az évi kb. 120-200 milliárd Ft-ot (Mányoki et al., 2011).

A fentiek alapján a parlagfű Magyarországon alapvető természeti-, gazdasági-, illetve humán- és környezet-egészségügyi probléma. Emiatt a dolgozatban elsősorban a parlagfű pollenjével foglalkozunk, ugyanakkor több megközelítésben további taxonokat és pollenjeiket is tanulmányozzuk.

2. CÉLKITŰZÉS

Különböző taxonok, különösen a parlagfű pollenjének statisztikai analízise és meteorológiai összefüggéseinek a vizsgálata fontos gyakorlati jelentőséggel bír. Hatékony segítséget nyújthat a súlyos pollenterhelések időszakára való felkészülésben, illetve azok egészségügyi következményeinek mérséklésében. A dolgozat célja a fentiek alapján a következő.

(a) Rövid áttekintést adunk a parlagfű történetéről, pollenjének az egészségre gyakorolt hatásáról, majd elemezzük a parlagfű pollen napi átlagos koncentrációi időbeli menetének statisztikai jellemzőit, kapcsolatát a kritikus értékekkel, továbbá egy új statisztikai próbával meghatározzuk azt az időszakot, amelyben a legsúlyosabb pollenterhelés várható. Ez lehetővé teszi, hogy felhívjuk a pollenszenzitív egyének figyelmét a felkészülésre, s a szükséges preventív lépések megtételére.

(b) Meghatározzuk azokat a földrajzi régiókat, ahonnan nagy távolságú transzport révén jelentős mennyiségű parlagfű pollen érkezik Szeged térségébe. A Szeged fölé érkező backward trajektóriákat clusterezzük azon célból, hogy a legnagyobb parlagfűpollen koncentrációjú régiókat azonosítsuk. Az ANOVA segítségével meghatározzuk, hogy a különböző régiók átlagos pollenkoncentrációi szignifikánsan eltérnek-e egymástól. A clusterezést háromdimenziós (3D) backward trajektóriák felhasználásával hajtjuk végre. A bizonyos küszöbértéket meghaladó napi koncentrációk clusterenkénti gyakoriságait két statisztikai index segítségével értékeljük. Végül, egy statisztikai eljárás alkalmazásával elkülönítjük egymástól a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszportot a nagy távolságú pollentranszporttól mind a nem-csapadékos, mind pedig a csapadékos napokra.

(c) Elemezzük a meteorológiai elemegyüttesek napi átlagértékeinek homogén csoportjaként általunk előállított objektív időjárás típusok, illetve a Péczely által definiált szubjektív időjárás típusok szerepét, illetve hatékonyságát a vizsgált taxonok napi átlagos pollenkoncentrációinak az osztályozásában.

(d) Meteorológiai elemek napi értékeinek clusteranalízisével megvizsgáljuk a kapott objektív clusterek szerinti napi átlagos Poaceae pollenkoncentrációkat, s azok nagytérségű légcirkulációs összetevőit. Tanulmányozzuk továbbá az egyes meteorológiai elemeknek az objektív clusterek / szubjektív kategóriák szerinti napi átlagos Poaceae pollenszámokra gyakorolt hatásait Szeged fölött, ahol a szubjektív kategóriák hidegfront, illetve melegfront átvonulásához kapcsolódnak. Azokat a napokat, amikor nincs front és esik; illetve nincs front és nem esik, szintén figyelembe vesszük. Végül mindegyik fenti kategória esetében kísérletet teszünk a napi átlagos Poaceae pollenszámok egy nappal előre történő megbecslésére.

(e) Időfüggő lineáris regressziós és időfüggő nemparaméteres regressziós modelleket, valamint egy időfüggő nemparaméteres medián regressziót fejlesztünk ki a napi pollenkoncentráció előrejelzésére Szegeden, a meteorológiai paraméterek és a pollenkoncentráció előző napi értékeinek a felhasználásával. A kifejlesztett modelleket mind csapadékos, mind nem-csapadékos napokra alkalmazzuk. A medián regresszió kiterjesztéseként egy nemparaméteres kvantilis regressziót is bevezetünk.

(f) Elemezzük a biológiai (pollen) és a kémiai légszennyezőknek, valamint a meteorológiai változóknak a légúti megbetegedésekre gyakorolt hatását különböző korcsoportokban, illetve eltérő időszakok szerint Szeged térségére. A felhasznált adatbázis egyedi a tekintetben, hogy a magyarázó változók mindhárom fenti kategóriáját tartalmazza. Az elemzés a légúti megbetegedésekkel kapcsolatosan a témakör szakirodalmát tekintve az egyik legnagyobb adatbázist használja.

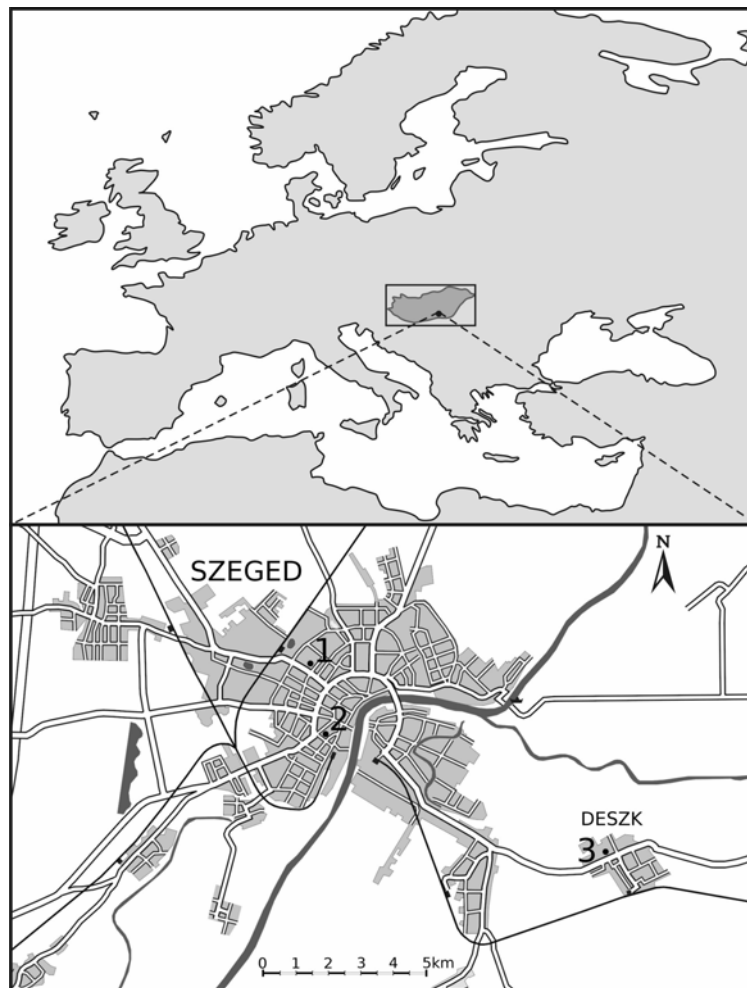
(g) Egy 19 taxont átfogó kiterjedt szegedi pollen adatbázis felhasználásával meghatározzuk a pollenszezon fenológiai karakterisztikáinak (a pollinációs időszak kezdőnapja, utolsó napja, a pollinációs időszak hossza), és mennyiségi jellemzőinek (évi összes pollenszám, éven belüli maximális napi pollenszám) évi, illetve napi trendjeit minden egyes taxonra. Az egyes taxonok klímaváltozással szembeni érzékenységének a leírására új statisztikai jellemzőket – nevezetesen az ún. kapcsolati mérőszámot, valamint a többszörös kapcsolati mérőszámot, továbbá két új taxonspecifikus kategóriát, azaz a kockázati potenciált és a terjeszkedési potenciált – vezetünk be, majd ezeket elemezzük.

Az ilyen irányú kutatások javíthatják a pollenszennyezettség kezelésének a hatékonyságát azáltal, hogy statisztikai módszerek felhasználásával feltárjuk a felhasznált adatok közötti komplex kapcsolatokat, illetve azáltal, hogy a kapott eredményeket világosan és praktikusán bocsáthatjuk a döntéshozók elé, továbbá egyszerűen hozzáférhetővé és könnyen alkalmazhatóvá tehetjük azokat a lakosság számára.

3. ADATBÁZIS

A dolgozatban felhasznált adatok Szegedről és környezetéből származnak. Szeged (20°06'E; 46°15'N) Délkelet-Magyarország legnagyobb városa, a Tisza és a Maros folyók torkolatánál található. A várost és környezetét kiterjedt sík felszín jellemzi; tengerszint fölötti magassága 79 m, beépített területének kiterjedése 46 km², lakossága a hozzá tartozó településekkel együtt 203 ezer fő (4. ábra).

A mérőhelyeket, illetve a felhasznált, valamint a feldolgozásra került adatokat a következő módon csoportosítottuk.



4. ábra

Európa térképe Magyarországgal (felső panel) és Szeged az adatforrások pozícióival (alsó panel). 1: meteorológiai és levegőminőségi monitoring állomás; 2: aerobiológiai állomás; 3: Mellkasi Betegségek Szakkórháza, Deszk

3.1. Mérőhelyek, illetve a mérési eredmények térbeli reprezentativitása

3.1.1. Mérőhelyek

3.1.1.1. Meteorológiai és levegőminőségi monitoring állomás

A meteorológiai monitoring állomás Szeged belvárosában – egy forgalmas útkereszteződésben (a Kossuth Lajos sgt., valamint a Damjanich u. - Teréz u. kereszteződése) – található, a Kossuth Lajos sgt.-től kb. 10 m távolságra (4. ábra, alsó panel). Ez Szeged egyik legforgalmasabb közlekedési csomópontja. Az állomás a következő meteorológiai elemek értékeit méri: légnyomás (a műszer típusa: PS 71-I), hőmérséklet (a műszer típusa: HMP 10), légnedvesség (a műszer típusa: HMP 10), globálsugárzás (a műszer típusa: RS 81-I), valamint szélirány (a műszer típusa: WS-12H+) és szélesség (a műszer típusa: WS-12H+). A légnyomás, a hőmérséklet és a légnedvesség mérése a felszín fölött 3 m magasságban történik, míg a globálsugárzást, a szélirányt és szélességet a felszín fölött 6 m magasságban mérik.

Az immissziós mérőállomás műszerei a meteorológiai monitoring állomás műszereivel azonos konténerben találhatók (4. ábra, alsó panel). Az állomás a következő légszennyező anyagok koncentrációit méri: NO_x (a műszer típusa: 42C), O_3 (49C), SO_2 (AF21M-LCD), CO (CO11M-LCD) és PM_{10} (FH-62-I-N).

A műszerek ellenőrzése, illetve az adatok tárolása személyi számítógép segítségével történik. A 10 másodpercenkénti mérésekből először 1 perces, majd ezekből 30 perces átlagok készülnek (Makra et al., 2008; Matyasovszky et al, 2011b).

3.1.1.2. Aerobiológiai állomás

A dolgozat pollen adatbázisát egy, a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kari épületének (6722 Szeged, Egyetem u. 2.) a tetején üzemelő ún. „Hirst”-típusú pollen-csapda (Hirst, 1952; Lanzoni VPPS 2000) szolgáltatta, mely 1989 óta üzemel (4. ábra, alsó panel). A levegő-mintavevő a város szintjétől kb. 20 m magasságban méri a levegő pollen-koncentrációját. Az épület tetőszintje a legmagasabbak közé tartozik a belvárosban (Makra et al., 2008; Matyasovszky et al, 2011b).

A folyamatosan szélirányba forduló pollencsapda belsejébe egy 2x14 mm-es nyíláson keresztül áramlik be a levegő és a légáramlás irányára merőlegesen elhelyezett forgó dobra erősített, ragadós anyaggal (vazelin) előkezelt 2 cm széles szalaghoz (Melinex-szalag) csapódik. A levegőben található részecskék megtapadnak a szalag felületén. A dob egy óraszerkezet segítségével 2 mm/óra sebességgel halad, azaz egy nap alatt 48 mm-t fordul. Az átszívott levegő mennyisége 14,4 m³/nap, amely megfelel egy felnőtt ember napi légcserejének. A beszívott részecskék egy 14x48 mm-es felületen tapadnak meg. Az egy napot reprezentáló 48 mm-es szalagdarabok 2 órás beosztással ellátott tárgylemezre rögzítve, fukszinnal megfestve alkalmasak mikroszkópos analízisre.

Magyarországon az Aerobiológiai Hálózat állomásai egységes leolvasási módszert alkalmaznak (Nikon Labophot-2 mikroszkóp, 400 x-os nagyítás). A mintát tartalmazó szalagot fukszinnal megfestik, és egy olyan lemezre helyezik, ami 2 órás sávokra van felosztva. Az eredményeket 24 órás átlagban, db pollenszem/ m³ levegő / nap egységben adják meg (Apatini et al., 2008).

3.1.1.3. Mellkasi Betegségek Szakkórháza

A légúti megbetegedésekben szenvedők napi száma Deszkről, a Mellkasi Betegségek Szakkórházából származik, amely a szegedi monitoring állomástól 10 km-re található (4. ábra, alsó panel). A betegek elsősorban Szegedről és környezetéből érkeznek. Az intézmény mind járóbeteg-, mind fekbőbeteg ellátást biztosít. Ez Csongrád megyében az egyetlen kórház, mely kizárólag légúti megbetegedésekben szenvedőket fogad (Makra et al., 2008; Matyasovszky et al, 2011b).

3.1.2. A légszennyezettség koncentrációk térbeli reprezentativitása

A kémiai eredetű légszennyezettség térbeli kiterjedése a szennyező forrásoktól, illetve a légköri folyamatoktól függően nagyon különböző lehet. A városi levegőszennyezettség horizontális kiterjedése 0,5-40 km, míg vertikális kiterjedése 30-1500 m (Bozó et al., 2001). Egy városi út menti, egy városi háttér- és egy vidéki állomás adatait összehasonlítva mindkét városi állomáson a légszennyezettség koncentrációk egyértelműen a gépjárművek emisszióira visszavezethető erős napi menetet mutatnak (Makra et al., 2010a; Namdeo és Bell, 2005), míg a vidéki állomáson ez nem tapasztalható (Namdeo és Bell, 2005). Következésképp, a közlekedési eredetű légszennyezettség koncentrációk csak a városon belül reprezentatívak, annak környezetére már nem érvényesek.

A pollencsapdákat általában 15-20 m magasságban, épületek tetején helyezik el. Ebben a magasságban már lehetőség nyílik a légáramlások lokális, illetve közepes távolságú transzportból származó keveréke pollentartalmának a megfigyelésére. Ha a pollencsapda a földfelszínen lenne, akkor az főleg a közvetlen környezetből gyűjtené a pollent, s az egyes mérőhelyek pollenkoncentrációi nem lennének összehasonlíthatók. Ily módon biztosítjuk a mérések reprezentativitását. Megjegyzendő továbbá, hogy egy 24 órás pollen mintavétel egy kb. 100 km sugarú régióra érvényes (ez a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszport hatósugara), ha a szél sebessége kb. $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ily módon a pollen mintavétel egy 100 km sugarú területre tekinthető reprezentatívnak (Makra et al., 2010b).

Másrészről helyről helyre és időről időre eltérő módon, a nagy távolságú transzport eltérő szerepet játszhat mind a lokális PM_{10} koncentrációk (Makra et al., 2011a), mind pedig a lokális, illetve közepes távolságú transzportból származó pollenkoncentrációk (Makra et al., 2010b) feldúsulásában a csapadékos, illetve nem-csapadékos napok függvényében. Szegeden a nagy távolságú transzportnak jelentős a szerepe az aktuális PM_{10} koncentrációkban (Makra et al., 2011a), míg a parlagfű pollen esetében a közepes távolságú transzportnak nagyobb a súlya, különösen a nem-csapadékos napokon (Makra et al., 2010b).

3.2. Adatok

A dolgozatban az egyes vizsgálatokkal kapcsolatos adatbázisok eltérő időszakokat fednek le. Ennek okai (1) a korábbi, eltérő időpontokban történt vizsgálatok végrehajtásakor rendelkezésre álló rövidebb, eltérő hosszúságú adatsorok, (2) az egyes taxonok hiányos, eltérő hosszúságú pollen adatsorai, (3) egyes feladatok végrehajtásához a meglévő adatbázishoz képest elegendőnek tekintett rövidebb hosszúságú adatsorok kiválasztása.

3.2.1. Meteorológiai és levegőminőségi adatok (Szeged)

A meteorológiai monitoring állomásról rendelkezésre álló adatokból 12 meteorológiai paraméter napi adatait vizsgáltuk meg az elemzés alapidőszakának tekintett 1997. január 1. – 2006. december 31. közötti 10 évre, illetve ezen időszak részperiódusaira vonatkozóan. Ezek a meteorológiai paraméterek a következők: középhőmérséklet (T_{mean} , °C), maximum hőmérséklet (T_{max} , °C), minimum hőmérséklet (T_{min} , °C), napi hőmérsékleti terjedelem ($\Delta T = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$, °C), szélsősebesség (WS, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), relatív nedvesség (RH, %), globálsugárzás (I , $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), telítettségi gőznyomás (E , hPa), gőznyomás (VP , hPa), potenciális párolgás (PE , mm), harmatpont hőmérséklet (T_d , °C) és légnyomás (P , hPa) (4. ábra, alsó panel).

A levegőminőségi monitoring állomáson mért és az 1999. január 1. – 2007. december 31. közötti 9 évre, illetve ezen időszak részperiódusaira vonatkozóan a következő légszennyező anyagok napi átlagos tömegkoncentrációit ($\mu\text{g m}^{-3}$) vettük figyelembe: CO, NO, NO₂, SO₂, O₃ és PM₁₀ (4. ábra, alsó panel).

3.2.2. Pollen adatok (Szeged)

A pollen adatbázist 24 taxon napi átlagos pollenszámai (pollenszem / m^3 levegő / nap) képezik az 1989-2010 közötti 22 éves periódus február 1. – október 31. közötti időszakára, illetve ezen időszak részperiódusaira vonatkozóan (4. ábra, alsó panel).

A vizsgált 24 taxon latin (magyar) nevükkel a következők. *Acer* (juhar), *Alnus* (éger), *Ambrosia* (parlagfű), *Artemisia* (üröm), *Betula* (nyír), *Cannabis* (kender), *Carpinus* (gyertyán), *Chenopodiaceae* (libatopfélék), *Corylus* (mogyoró), *Fraxinus* (kőris), *Juglans* (dió), *Morus* (eperfa), *Pinus* (fenyő), *Plantago* (útifű), *Platanus* (platán), *Poaceae* (fűfélék), *Populus* (nyár), *Quercus* (tölgy), *Rumex* (lórom), *Salix* (fűz), *Taxus* (tisza), *Tilia* (hárs), *Ulmus* (szil), *Urtica* (csalán).

Minden egyes taxonra a vizsgált évek pollinációs időszakának a napjait vettük figyelembe. A pollinációs időszakot az annak első és utolsó napjával határolt periódussal definiáljuk. A pollenszezon első (utolsó) napja az az időpont, amikor legalább 1 pollenszem / m^3 pollenkoncentrációt mérnek, és legalább öt utána következő (megelőző) napon szintén 1 vagy több pollenszem / m^3 pollenkoncentrációt mutatnak ki (Galán et al., 2001). Egy adott pollenfajtánál a vizsgált évek mindegyikére a leghosszabb pollenszezont vettük figyelembe.

3.2.3. Tengerszinti légnyomás rácspont adatok (Észak-atlanti–európai térség)

A 30°N-70,5°N szélességek, illetve a 30°W-45°E hosszúságok között 1,5°x1,5° rácspont sűrűséggel rendelkezésre álló, azaz összesen 28x51=1428 adatból álló tengerszinti légnyomási mezejének 00 00 UTC-kor mért napi adatait vettük alapul az 1997-2001 közötti öt éves periódusra vonatkozóan, az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Re-Analysis ERA-40 projekt adatbázisának a felhasználásával (<http://www.ecmwf.int/>).

3.2.4. Beteg adatok (Szeged)

A gyermek páciensek (0-14 év) igen alacsony száma miatt csupán három korcsoportot vizsgáltunk: felnőtt betegeket (15-64 év), idős betegeket (65 év, vagy afölött), valamint az összes beteget, beleértve a gyermek korosztályt is. A vizsgált összes betegszám 133 464 fő volt (1. táblázat).

1. táblázat

A napi légúti megbetegedések paraméterei a különböző korcsoportok és időszakok szerint

Paraméter	korcsoportok		
	15-64 év	65 év, vagy afölött	Összes korcsoport
<i>Ambrosia</i> pollenszezonja			
Összes betegszám	81.348	13.776	95.251
Átlag	83,10	11,75	95,01
Szórás	36,01	5,65	39,67
Pollenmentes időszak			
Összes betegszám	31.686	6.474	38.213
Átlag	59,34	12,12	71,56
Szórás	23,29	6,32	27,73

A vizsgálatot az 1999-2007 közötti kilencéves periódusra hajtottuk végre egyrészt az *Ambrosia* pollenszezonjára (július 15. – október 15.), másrészt pedig a pollenmentes időszakra (október 17. – január 13.). Megjegyzendő, hogy a szombatokat, valamint a vasár- és ünnepnapokat kizártuk a vizsgálatból.

4. MÓDSZEREK

4.1. Saját, önálló módszer (Makra-próba)

4.1.1. A klasszikus kétmintás próba egy új interpretálása

E próba alapkérdése, hogy kimutatható-e szignifikáns eltérés valamely adatsor tetszőleges részmintájának az átlaga és a teljes mintaátlag között?

A statisztikai próba elméleti háttére a következő. Legyenek $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots, \xi_N$ független, normális eloszlású valószínűségi változók. Legyen továbbá $E(\xi)$ a ξ valószínűségi változó várható értéke és $D(\xi)$ annak szórása.

Tegyük fel, hogy a ξ_i -k szórása közös és ez legyen σ . Válasszunk ki az N elemű mintából tetszőlegesen egy n ($n < N$) elemű részmintát!

$$\text{Legyen } \bar{m} = \frac{\xi_1 + \dots + \xi_n}{n} \text{ és } \bar{M} = \frac{\xi_1 + \dots + \xi_N}{N}, \text{ ahol } n < N. \quad (4.1.)$$

Képezzük az $\bar{M} - \bar{m}$ különbséget! Ekkor elemi lépések után a következőket kapjuk:

$$\begin{aligned} \bar{M} - \bar{m} &= (\xi_1 + \dots + \xi_n) \cdot \left(\frac{1}{N} - \frac{1}{n} \right) + \frac{\xi_{n+1} + \dots + \xi_N}{N} = \\ &= -\frac{N-n}{N} \cdot \frac{\xi_1 + \dots + \xi_n}{n} + \frac{N-n}{N} \cdot \frac{\xi_{n+1} + \dots + \xi_N}{N-n}. \end{aligned} \quad (4.2.)$$

Ezen elemi transzformáció lehetővé teszi számunkra, hogy a fenti különbséget két statisztikailag független valószínűségi változó összegeként fejezzük ki:

$$\bar{M} - \bar{m} = \bar{Q} + \bar{R}, \quad (4.3.)$$

ahol

$$\bar{Q} = -\frac{N-n}{N} \cdot \frac{\xi_1 + \dots + \xi_n}{n} \quad (4.4.)$$

$$\bar{R} = \frac{N-n}{N} \cdot \frac{\xi_{n+1} + \dots + \xi_N}{N-n} \quad (4.5.)$$

Most tegyük fel, hogy $\bar{m}$ nem tér el szignifikánsan $\bar{M}$ -től. Azaz felállíthatunk egy null-hipotézist (H_0), miszerint: $E(\bar{M}) = E(\bar{m})$.

Ekkor $E(\bar{M} - \bar{m}) = 0$, ami triviális.

Továbbá:

$$D^2(\bar{M} - \bar{m}) = D^2(\bar{Q} + \bar{R}) = \quad (4.6.)$$

$$= \left(-\frac{N-n}{N}\right)^2 \cdot \frac{1}{n^2} \cdot n \cdot \sigma^2 + \left(\frac{N-n}{N}\right)^2 \cdot \frac{1}{(N-n)^2} \cdot (N-n) \cdot \sigma^2 = \frac{N-n}{N \cdot n} \cdot \sigma^2$$

Innen adódik, hogy a

$$PS = \frac{\bar{M} - \bar{m}}{\sqrt{\frac{N-n}{N \cdot n} \cdot \sigma}} \quad (4.7.)$$

valószínűségi változó $N(0;1)$ eloszlású.

Ez azt jelenti, hogy ha meghatározzuk a vizsgált adatsor $\bar{M}$ középértékét és σ szórását, akkor a fenti 0 -hipotézisnek az adott részminta $\bar{m}$ átlagértékére vonatkozó próbája PS és x_p alábbi összevetéséhez vezet:

$$P \left(\left| \frac{\bar{M} - \bar{m}}{\sqrt{\frac{N-n}{N \cdot n} \cdot \sigma}} \right| > x_p \right) = p \quad (4.8.)$$

A standard normális eloszlás táblázatából adott $0 < p \ll 1$ számhoz meghatározhatjuk azt az x_p -t, amelyre a (4.8.) egyenlőség teljesül.

Ha a PS próbastatisztika [(4.7.) egyenlet)] abszolút értéke meghaladja x_p -t, akkor azt mondjuk, hogy $\bar{M}$ és $\bar{m}$ szignifikánsan különböznek egymástól. Azt a feltevést, miszerint nincs eltérés közöttük, p valószínűséggel utasítjuk el. (A szignifikancia tesztek a $p = 0,05$; $p = 0,01$ és $p = 0,001$ valószínűségi szinteken hajthatjuk végre.)

A PS próbastatisztika [(4.7.) egyenlet)] normális eloszlása elégséges feltétele a módszer alkalmazásának. Ugyanakkor nem feltétlenül szükséges, hogy a minta normális eloszlású legyen. Ugyanis elég nagy elemszámú minta esetén a centrális határeloszlás-tétel szerint a mintaelemek (valószínűségi változók) összegének eloszlásfüggvénye közel normális, függetlenül attól, hogy milyen az alapul vett minta eloszlása. Azaz, a normalitás elegendő, de nem szükséges feltétele a módszer alkalmazásának. A kiindulási eloszlás stacionaritása mellett feltétel, hogy a valószínűségi változók függetlenek legyenek és legyen szórásuk (Makra et al., 2000; Makra et al., 2002; Makra et al., 2005). Itt még probléma, hogy a szórás nem ismert, ezért ha egy becslésével helyettesítjük, akkor PS nem lesz normális eloszlású. Ha viszont N elég nagy, akkor PS jó közelítéssel normális eloszlásúnak vehető.

A Makra-próba a (4.8.) egyenletet egy N elemű mintában található összes lehetséges n elemű részmintára megoldja [$n = 3, 4, \dots, N-1$, s a számításokat rendre az adatsor $1., 2., 3., \dots, (N-n)$. elemével kezdi]. A részminta összegek számtani sorozatot alkotnak, így egy N elemű mintában található összes n elemű részminták S_n száma a következő:

$$S_n = \frac{n}{2}(a_1 + a_n) = \frac{N-3}{2}((N-2)+2) = \frac{N-3}{2}N \quad (4.9.)$$

ahol $N-3$ az eltérő elemszámú részminták száma, $N-2$ az adott elemszámúak közül a legkisebb, azaz a 3 elemű részminták száma, míg 2 az adott elemszámúak közül a legnagyobb, vagyis az $N-1$ elemű részminták száma.

A Makra-próba végrehajtásakor számos próbastatisztika – igaz 0 -hipotézis ellenére – sokkal nagyobb lehet, mint az adott szignifikancia szinthez tartozó kritikus x_p érték. Az S_n számú próbastatisztika maximumánál várható leginkább a két átlag szignifikáns különbsége, ám a maximum eloszlása nem egyezik meg az egyedi PS statisztikák standard normális eloszlásával.

Szentimrey Tamás (Országos Meteorológiai Szolgálat, személyes közlés) a teszt gyakorlati kivitelezéséhez a következőt javasolta.

1. Generáljunk a $[0;1]$ közötti intervallumban 250 db egyenletes eloszlású véletlenszámot, s vegyük ezek összegét.
2. Ezt az eljárást ismételjük meg annyiszor, amennyi a vizsgált összes részminták száma.
3. Ahhoz, hogy egy $N(0;1)$ eloszlású mintához jussunk, az összegek oszlopát standardizáljuk.
4. Utána elvégezzük az 1-3. pontokban foglaltakat még 999 alkalommal.
5. Az 1000 db nagyság szerint rendezett minta mindegyikében meghatározzuk
 - 5a. egyrészt az $x_{0,995}$ értéket $[P(x < x_{0,995}) = F(x_{0,995}) = 0,995]$
 - 5b. másrészt az $x_{0,005}$ értéket $[P(x < x_{0,005}) = F(x_{0,005}) = 0,005]$.
6. Ezután vesszük
 - 6a. az 1000 db $x_{0,995}$ érték közül azt, amelynél nagyobbak bekövetkezési valószínűsége a mintában 0,5%, azaz: $P[x_{0,995} < (x_{0,995})_{0,995}] = F[(x_{0,995})_{0,995}] = 0,995$ (tehát vettük a nagyság szerinti sorba rendezett mintából az 5-ödik legnagyobb értéket);
 - 6b. az 1000 db $x_{0,005}$ érték közül azt, amelynél kisebbek bekövetkezési valószínűsége a mintában 0,5% azaz: $P[x_{0,005} < (x_{0,005})_{0,005}] = F[(x_{0,005})_{0,005}] = 0,005$ (tehát vettük a nagyság szerinti sorba rendezett mintából az 5-ödik legkisebb értéket).
7. A teljes mintából kiválasztott összes vizsgált részmintára kapott PS próbastatisztikákat összevetjük az $(x_{0,995})_{0,995}$, illetve az $(x_{0,005})_{0,005}$ értékkel. Ha valamely részminta esetén $PS > (x_{0,995})_{0,995}$, illetve $PS < (x_{0,005})_{0,005}$, akkor az adott részminta átlaga szignifikánsan eltér a teljes minta átlagától az 1%-os szignifikancia szinten. Az eljárás, hasonló módon, természetesen alkalmazható más szintekre is.

A kétmintás próba és a Makra-próbának a (4.8.) egyenlet révén történő leírása közötti külső hasonlóság nyilvánvaló. Kimutatható, hogy ez a két módszer valóban azonos (Szentimrey Tamás, Országos Meteorológiai Szolgálat, személyes közlés).

4.2. Felhasznált gyakorlati és szakirodalmi módszerek

4.2.1. Az adatkészlet simítása

A pollenkoncentráció, mint bármely olyan változó, melyet a meteorológiai elemek befolyásolnak, erős évi menetet mutat, sőt az év bizonyos szakában egyáltalán nincs pollen a levegőben. Emiatt, az ANOVA alkalmazása előtt eltávolítottuk a pollen adatokból az évi menetet. Az ily módon standardizált adatokban nincsen évi ciklus, garantálva, hogy az adott változók

clustereinek az átlagos pollenkoncentrációi közötti eltérés magukkal a típusokkal magyarázható, és nincsen kapcsolatban azzal, hogy az évnek éppen melyik szaka van. A pollen adatbázis logaritmusát jelölje x_t , $t = 1, \dots, n$. Ekkor az x_t -nek az $m(t)$ várható érték függvénye sinus és cosinus függvények lineáris kombinációjával közelíthető egyéves és féléves periódusokkal. Nevezetesen:

$$m(t) = a_0 + a_1 \cos(w_1 t) + a_2 \cos(w_2 t) + b_1 \sin(w_1 t) + b_2 \sin(w_2 t)$$

ahol

(4.10.)

$$w_1 = 2\pi/365.25 \text{ és } w_2 = 2w_1.$$

A fenti lineáris kombináció ismeretlen együtthatóit a legkisebb négyzetek módszerével becsültük. Ezt követően a standardizált, és az évi ciklustól mentes adatkészlet a következő:

$$y_t = \exp((x_t - m(t)) / d(t)), \quad t = 1, \dots, n,$$

ahol a

(4.11.)

$$d^2(t) = a_0 + a_1 \cos(w_1 t) + a_2 \cos(w_2 t) + b_1 \sin(w_1 t) + b_2 \sin(w_2 t)$$

ismeretlen együtthatóit ugyanúgy becsültük, mint az $m(t)$ esetében, kivéve x_t -t, melyet x_t^* -gal helyettesítettünk, amikor a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztuk: $x_t^* = (x_t - m(t))^2$, $t = 1, \dots, n$. A logaritmikus transzformációt amiatt használtuk, hogy csökkentsük a pollenkoncentráció adatok nagy változékonyságát és így módon biztosítsuk a legkisebb négyzetek módszerének hatékonyságát, szemben azzal, amikor azt a kiindulási adatokra alkalmazzuk. Ezt az támasztja alá, hogy az aerobiológiai adatok valószínűség-eloszlása jól közelíthető a lognormális eloszlással. (Limpert et al., 2008). Megjegyzendő, hogy a standardizált adatok dimenzió nélküliek.

4.2.2. A kriging eljárás

A kriging egy interpolációs módszer, melyet az eljárás kidolgozójáról nevezték el (Krige, 1951). A 30°N-70,5°N szélességek, illetve a 30°W-45°E hosszúságok között 1,5°x1,5° rácspont sűrűséggel rendelkezésre álló, clusterenként átlagolt tengerszinti légnyomás értékekből az izobárok megszerkesztése a Surfer 7.00 szoftver felhasználásával történt. A pontonkénti adatokból, azaz összesen 28x51=1428 adatból az izobárokat a kriging eljárással (standard beállításokkal), adatsűrítés nélkül, maximális simítással rajzoltuk meg. Az eljárás eredményeként a Föld felszínén 40,5° földrajzi szélesség és 75° földrajzi hosszúság különbségű foktrapéznek megfelelő görbült felszínt a síkban egy X és Y irányban is egyenközűen beosztott téglalapra képeztünk le. Az így elkészített izobár térképek csak olyan (a földrajzi tájékozódást szolgáló) háttértérképhez illeszthetők minden akadály nélkül, amelyet ugyanilyen vetítéssel állítunk elő. A tanulmányozott terület háttértérképe ezért poláris elhelyezésű érintő négyzetes hengervetületben készült el. Ennek további előnye, hogy az összes meridián mentén (azaz észak-déli, tehát a térképen minden függőleges irányban) hossztorzulás-mentes. A térkép bármely pontjában az égtájak irányának megállapítása egyszerű, mivel az észak-déli, illetve a kelet-nyugati irány párhuzamos a függőleges, illetve vízszintes kerettel, s ezért az egyes helyek földrajzi koordinátája is könnyen leolvasható a kereten feltüntetett értékek (és szükség esetén lineáris interpoláció) segítségével. A módszer alkalmazásának hátránya csupán az, hogy a magasabb földrajzi szélességeken a háttértérkép kelet-nyugati irányú kis megnyúlását tapasztalhatjuk (amely így ott területnagysággyarapodással jár együtt).

4.2.3. Faktoranalízis

Abból a célból, hogy a kiindulási adatkészlet dimenzióját csökkentsük, s a vizsgált változók közötti kapcsolatokat meg tudjuk magyarázni, a faktoranalízis többváltozós statisztikai módszerét alkalmaztuk. A faktoranalízis fő célja, hogy a kiindulási p db $X_1, X_2, \dots, X_p$ változót m db ($m < p$) lineárisan független indexek, az ún. faktorok segítségével fejezhessük ki. Minden egyes X változó a faktorok lineáris függvénye, azaz

$$X_i = \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} F_j, \quad (4.12.)$$

ahol az α_{ij} konstansok a faktorsúlyok (sajátvektor együtthatók). Az α_{ij} négyzete reprezentálja az X_i varianciájának az F_j faktor által megmagyarázott részét.

A megtartott faktorok optimális számát (m) úgy határozzuk meg, hogy a megtartott faktorok által megmagyarázott variancia az eredeti változók teljes varianciájának egy előre meghatározott %-át el kell, hogy érje. Ez a dolgozatban 80% (Jolliffe, 1993; Sindosi et al., 2003). A faktorok kiválasztása a főkomponens analízis segítségével történt (a k -adik sajátérték a k -adik főkomponens varianciája). Mivel végtelen számú egyenlet létezik a (4.12.) egyenlet megoldására, ezért a legjobbak, vagy a legmegfelelőbbek kiválasztásához az ún. „faktor rotáció”-t alkalmaztuk. Ez az eljárás vagy maximalizálja, vagy minimalizálja a faktorsúlyokat az eredmények jobb interpretálása érdekében. A dolgozatban a „varimax”, vagy másképp „ortogonális faktor rotáció”-t alkalmaztuk, melynek révén a faktorok korrelálatlanok maradnak (Jolliffe, 1990; 1993; Sindosi et al., 2003).

4.2.4. Faktoranalízis speciális transzformációval

E módszert két feladatra alkalmaztuk. Egyrészt az *Ambrosia* pollen koncentrációk (célváltozó) és a meteorológiai elemek (magyarázó változók), másrészt a többi pollen koncentrációi (célváltozó) és a meteorológiai elemek (magyarázó változók) standardizált adatsoraira faktoranalízist hajtottunk végre. Ezt követően a megtartott faktorokra speciális transzformációt alkalmaztunk azon célból, hogy megállapítsuk, a fenti magyarázó változók milyen mértékben befolyásolják a célváltozót, illetve megadjuk azok befolyásának fontossági sorrendjét (Jolliffe, 1993; Fischer és Roppert 1965; Jahn és Vahle 1968). Nevezetesen, ha a célváltozó erősen korrelál egy faktorról (vagyis ha ennek a faktornak a célváltozó helyén nagy faktorsúlya van), továbbá ugyanezen faktoron belül egy magyarázó változó ezzel a faktorról erősen korrelál, akkor ez a magyarázó változó a célváltozóval is erősen korrelál. Ennek a gondolatmenetnek megfelelően tanácsos a faktorok összes súlyát a célmennyiséggel együtt egy faktorban egyesíteni, vagyis úgy rotálni, hogy csak egy faktornak legyen a célmennyiséggel nagy súlya. Az összes többi faktor a célmennyiséggel korrelálatlan, vagyis nulla súlyú legyen (Jolliffe, 1993; Fischer és Roppert 1965; Jahn és Vahle 1968).

A transzformációkat követően – miután a megtartott faktorok összes súlyát mind a magyarázó változók, mind pedig a célmennyiség helyén egy faktorban egyesítettük – a faktorsúlyokhoz tartozó szignifikancia küszöbököt az alábbiak szerint határozzuk meg. Bevezetve azon 0 -hipotézist, miszerint egy adott faktorsúly 0 , azaz ezen faktorsúly nem játszik szerepet valamely változó meghatározásában, a

$$t = \sqrt{\frac{r^2(n-2)}{1-r^2}} \quad (4.13.)$$

statisztika Student-féle t -eloszlást követ $n-2$ szabadsági fokkal, ahol r az adott faktorsúly értéke és n az adatok száma.

4.2.5. Backward trajektóriák

Egy ETEX (European Tracer Experiment) kutatási program keretében három nagy skálájú Lagrange-féle diszperziós modellt, nevezetesen a CALPUFF 5.8, FLEXPART 6.2 és a HYSPLIT 4.8 modelleket hasonlították össze. Négy statisztikai jellemző (térbeli pontosság, találati arány, hibás találati arány és kritikus sikerindex) alapján a HYSPLIT modell érte el a legjobb teljesítményt (Anderson, 2008). Emiatt a HYSPLIT modellt alkalmaztuk a dolgozatban (HYSPLIT4 Model version 4.8; Draxler és Hess, 1998).

A backward trajektóriákat a Hybrid Single-Particle Lagrangian Integral Trajectory (HYSPLIT, 4.8 verzió; <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) modell (Draxler és Hess, 1998) segítségével az NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research, <http://dss.ucar.edu/datasets/ds090.0/>) révén rendelkezésre álló adatbázisból határoztuk meg Szegedre.

Mivel egy egyedi backward trajektóriának nagy a bizonytalansága és interpretálhatósága korlátozott (Stohl, 1998), a Szeged fölé $h=500$, 1500 és 3000 m tszf. magasságokban egy ötéves periódus során (1998-2002) érkező trajektóriákat vettük figyelembe. Négynapos, hatóránkénti, háromdimenziós (3D) backward trajektóriákat (φ – földrajzi szélesség, λ – földrajzi hosszúság és h – tszf. magasság) használtunk föl arra, hogy a Szeged fölé 12 GMT-kor érkező levegőrészecskék horizontális és vertikális mozgásait leírjuk.

4.2.6. Clusteranalízis

A megfigyelt változók természetes szerkezetének vizsgálatára a leggyakrabban használt módszer a clusteranalízis. Ez az eljárás az egyedi változókat clusterekbe rendezi.

A módszer célja, hogy a változók homogenitása a legnagyobb legyen a clustereken belül, s egyúttal azok heterogenitása a legnagyobb legyen a clusterek között. Minden egyes megfigyelés vektor megfelel egy pontnak egy m -dimenziós térben, valamint minden egyes cluster azon megfigyelésekből áll, melyek „közel” vannak egymáshoz ebben a térben. Két megfigyelés közötti távolságot általában azok euklideszi távolságának a négyzetével határozzák meg:

$$D_{kl}^2 = \sum_{i=1}^m (x_{ki} - x_{li})^2, \quad (4.14.)$$

ahol x_{ki} a k -adik megfigyelés i -edik dimenziója, és x_{li} az l -edik megfigyelés i -edik dimenziója (Anderberg, 1973; Kalkstein et al., 1987; Hair et al., 1998; Sindosi et al., 2003).

A dolgozatban a nem-hierarchikus clusteranalízist alkalmaztuk a k -közép algoritmussal, s az euklideszi helyett a Mahalanobis metrikát használtuk két elem hasonlóságának a meghatározására (Mahalanobis, 1936), amely a megfigyelés vektor komponensei közötti statisztikai kapcsolatot is figyelembe veszi a vektor kovarianciamátrixán keresztül.

A változók clustereken belüli homogenitását az RMSD-vel (Root Mean Square Deviation) mértük, melyet úgy definiáltunk, mint minden egyes clusterre a cluster elemeknek a clustereik középpontjától számított átlagos négyzetes eltérései összegének négyzetgyökét. Az RMSD értéke a növekvő clusterszámmal rendszerint csökken. Ennélfogva ez a mennyiség önmagában nem nagyon hasznos az optimális clusterszám megállapítására. Azonban az

RMSD változása (CRMSD = change of RMSD), de még inkább a CRMSD változása (CCRMSD = change of CRMSD) jóval informatívabb paraméter, azaz $CCRMSD(cluster_{i+1}) = CRMSD(cluster_i) - CRMSD(cluster_{i+1})$. Ezért – az adatbázis elemszámától függően – pl. 30-tól, vagy 15-től 1-ig terjedő lehetséges clusterszámokkal dolgozva az optimális clusterszámot úgy határoztuk meg, hogy maximáltuk a CRMSD változását, azaz a CCRMSD-t. Ennek a megközelítésnek a logikai háttere az, hogy a clusterezés viselkedésében mutatkozó legnagyobb javulással azonosítjuk az optimális clusterszámot.

A backward trajektóriák esetében a clusterezést a Szeged fölötti összes trajektória mindhárom érkezési magasságának négynapos, hatóránkénti koordinátáira külön-külön végrehajtottuk. Három clusterezési eljárás történt. A clusteranalízis eredményeit csak a legalsó érkezési magasságra ($h=500$ m) mutatjuk be, mivel a backward trajektóriáknak a pollenkoncentrációkra gyakorolt legnagyobb hatása ebben a magasságban várható. A backward trajektória clusterok elkülönítése, valamint a backward trajektória clusterok ábráinak elkészítése egy új eljárással, az ún. „convhull” függvény segítségével történt. Az algoritmus (qhull eljárás; <http://www.qhull.org>) az adott clusterhez tartozó extrém trajektória pozíciókat (a clusterközépponttól vett legtávolabbi pozíciókat) gyűjti össze, melyeket azután körülhatárolja. Pontosabban mondva, az eljárás révén azon legkisebb, minimális térfogatú konvex testet hozzuk létre, mely az adott cluster összes backward trajektóriáit tartalmazza. Megjegyzendő, hogy a „convex hull” kifejezést általánosan alkalmazzák a számítógépes geometriában, mégpedig adott nem-üres, véges pontthalmazt tartalmazó minimális kiterjedésű konvex idom körülhatárolására a síkban (Preparata és Hong, 1977; Cormen et al., 2001).

A backward trajektóriák esetében a trajektória clusterokat a sztereografikus poláris síkvetületre vetítettük, amit a HYSPLIT támogat (Taylor, 1997).

4.2.7. Egyszempontú variancia analízis (ANOVA) és Tukey-teszt

Az egyszempontú variancia analízist (ANOVA) azon célból alkalmaztuk, hogy kiderítsük, vajon a különböző trajektória típusok (vagy egyéb szempontok) szerinti clusterok napi átlagos pollenkoncentrációi szignifikánsan eltérnek-e egymástól. Pl. a backward trajektóriák esetében a különböző clusterpárok átlagos pollenkoncentrációi közötti szignifikáns eltérések rávilágíthatnak az egyes légtömegek származási helyének és transzportjának a helyi pollenkoncentrációkra gyakorolt hatására.

F-próbát hajtottunk végre annak érdekében, hogy ellenőrizzük, az egyes clusterok átlagos pollenkoncentrációi közötti eltérés szignifikáns-e. Ha ez az eltérés szignifikáns, akkor az alkalmazott teszt alapján elutasítjuk a 0-hipotézist. Ekkor a Tukey-féle tesztet hajtjuk végre annak megállapítására, hogy a pollenkoncentrációk clusterok szerinti átlagai konkrétan mely clusterok között mutatnak szignifikáns eltérést (Tukey, 1985). Ez a teszt jól viselkedik mind az elsőfajú hibák felhalmozódása, mind pedig a teszt erőssége tekintetében. (Ha az ANOVA alkalmazásakor teljesül a 0-hipotézis, akkor a Tukey-tesztet nincs értelme elvégezni.) A Tukey-féle utólagos teszt végrehajtásakor először megkapjuk az összes cluster átlagai közötti differenciákat. Ezeket a differenciákat összevetjük egy kritikus értékkel, hogy megállapíthassuk vajon azok szignifikánsak-e. Ha az átlagok eltérése ennél az értéknél nagyobb, akkor az már ténylegesen szignifikáns differencia. A Tukey-teszt a pollenkoncentrációk clusterátlagai szerinti páronkénti összehasonlításakor a mindenkor adott két cluster ún. egyedi hatása mellett a többi cluster ún. közös hatását is figyelembe veszi.

A Tukey teszt és bármely más teszt feltételezi az adatok statisztikai függetlenségét. Azonban az egymást követő pollen adatok korrelálhatnak és a becsült átlagok nagyobb varianciáit produkálhatják a korrelálatlan adatokhoz képest. Emiatt a klasszikus Tukey-tesztet módosítottuk úgy, hogy külön-külön minden egyes clusterre az adatokhoz illesztett autoregresszív (AR) modellek segítségével kapott becsült átlag-varianciáit vettük figyelembe.

4.2.8. A pollenküszöb túllépési epizódok statisztikai jellemzése

A nagy távolságú transzport szerepét oly módon vizsgáltuk, hogy megnéztük, mely clusterek esetében lépnek túl a 24 órás pollenkoncentrációk egy bizonyos küszöbértéket. Minden egyes pollenfajtára ennek a küszöbértéknek a felső kvartilist választottuk, vagyis azt az értéket, amely fölött a pollenkoncentrációk relatív gyakorisága 25%. Jóllehet bármely küszöb megválasztása szubjektív, ez az érték mégis alkalmasnak tűnik, mivel elég magas ahhoz, hogy magas koncentrációjú epizódokat definiáljunk, ugyanakkor elég alacsony ahhoz, hogy elegendő megfigyelésünk legyen a statisztikai analízis végrehajtásához. A vizsgált standardizált adatbázis alapján ez a küszöbérték az *Ambrosia* pollen esetében Szegedre 2,42.

A különböző trajektória clusterekhez kapcsolódó napi pollenküszöb túllépési epizódokra vonatkozóan két statisztikai indexet, nevezetesen egy valószínűségi (INDEX1: az i -edik clusterben a pollenküszöb túllépésének a valószínűsége) és egy gyakorisági (INDEX2: az i -edik clusterben a pollenküszöb túllépésének a valószínűsége a pollenküszöböt meghaladó koncentrációjú napokon) indexet határoztunk meg Borge et al. (2007) nyomán. Szegedre egy adott cluster esetén az INDEX1 definíciója a következő:

$$INDEX1_i(\%) = \frac{D_{(x)i} \cdot 100}{D_i}, \quad (4.15.)$$

ahol D_i azon napok száma, amelyek az i -edik clusterhez tartoznak, azaz amelyek backward trajektóriái a i -edik clusterben megtalálhatók, valamint $D_{(x)i}$ a 24 órás pollenkoncentrációk küszöbérték túllépéseinek a száma az i -edik clusterben. Az INDEX1 a küszöbérték túllépés valószínűségét adja meg egy adott clusterben. Az INDEX2 definíciója a következő:

$$INDEX2_i(\%) = \frac{D_{(x)i} \cdot 100}{E}, \quad (4.16.)$$

ahol E egy adott állomáson az összes olyan nap, amelyeken pollenküszöb túllépés történt. Az INDEX2 úgy interpretálható, mint adott clusterben a küszöbérték túllépésének a valószínűsége a küszöbérték túllépéses napokon.

4.2.9. Időjárási frontok objektív azonosítása

Az időjárási frontok felismerése céljából az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ERA-INTERIM $1^\circ \times 1^\circ$ rácsponti felbontású adatbázisát használtuk. Csupán azt a rácspontot választottuk ki (Szeged: 46°N , 20°E), amely a legközelebb van Szeged földrajzi koordináitához ($46,25^\circ\text{N}$; $20,10^\circ\text{E}$). A következő meteorológiai paramétereket vettük figyelembe: RT 500/850 hPa relatív topográfiák (a levegőréteg vastagságának a kiszámítására), 700 hPa hőmérsékleti mezők (a hőmérsékleti advekciónak a kiszámítására, a front átvonulásához kapcsolódó hőmérsékletváltozás előjelének a meghatározása céljából), valamint a 700 hPa szélmezők [az advekciónak a figyelembe vételére a termál front paraméter (TFP) kiszámításakor].

Az időjárási frontok objektív azonosítása nehéz feladat, mivel azoknak nincsen matematikai formulákkal leírható definíciója. Ráadásul a különböző frontok különböző meteorológiai paraméter-készletekkel jellemezhetők. E területen Renard és Clarke (1965) munkássága alapvetőnek tekinthető. Ők a horizontális potenciális hőmérsékleti gradiensset tanulmányozták a 850 hPa légnyomás felületen. Később Hewson (1998) továbbfejlesztette az eljárást, melynek

révén eljutott a termál front paraméterhez (TFP). Ezt a technikát alkalmazva Yan et al. (2008) létrehozott egy automatikus időjárási rendszer azonosító módszert, mely 80-100% pontossággal képes azonosítani időjárási rendszereket, és objektív információkat nyújt azok elhelyezkedéséről. Világos kapcsolat mutatható ki egyrészt a front analízis paraméter (TFP), másrészt pedig a jól ismert front definíciók között, melyek ott rögzítik a hidegfrontot, ahol a hőmérséklet csökkenni kezd, míg ott a melegfrontot, ahol a hőmérséklet emelkedés befejeződik. Ez a definíció megfelel a TFP maximumának.

Egyszerűsítés végett gyakran a relatív topográfiát használják a potenciális hőmérséklet helyett. Ennek az az oka, hogy szoros kapcsolat mutatható ki egy levegőréteg vastagsága és átlagos potenciális hőmérséklete között. Következésképp, a számításainkban a relatív topográfiát (RT 500/850 hPa) használtuk. Az algoritmust a vizsgált periódus hatóránkénti adataira futtattuk le. Ily módon azon napok adatait, amelyeken front vonult át Szeged fölött, hatóránkénti felbontásban állítottuk elő.

4.2.10. Időfüggő többváltozós lineáris regresszió, időlépcsőkkel

Ez esetben a feladat az, hogy kapcsolatot találjunk a magyarázó változók és az eredményváltozó között. Mivel mindkét típusú változó évi trendeket mutat, a lineáris kapcsolat regressziós együtthatóinak sinus és cosinus függvényekkel leírható évi menete van éves és fél éves periódusokkal. Ennek kivitelezését a következő fejezet elején vázoljuk.

Célszerű időlépcsőket megadni a légszennyezettség koncentrációk és az azt követő légúti megbetegedések száma között. Következésképp, a fenti időfüggő lineáris regresszió egyváltozós verzióját hajtottuk végre minden egyes magyarázó változóval, s azok különböző időbeli késéseivel, beleértve a 0-adik időlépcsőt is. Az átlagos négyzetes hibákat minimalizáló időbeli késéseket tekintettük optimálisnak.

4.2.11. Időfüggő nemparaméteres regresszió és kvantilis regresszió

Jelölje a napi pollenkoncentrációkat (a július 15. – október 15. közötti időszakra) y_i , $i = 0, 1, \dots, n$ mégpedig a $t_0, t_1, \dots, t_n$ alkalommal. Ez utóbbi értékeket minden egyes évre július 15.-étől számítjuk, azaz $t_{u+vM} = t_u$, $u = 0, \dots, M-1$, $v = 1, \dots, N-1$, ahol $N=10$ az évek száma és $M=93$ a vizsgált időszak hossza (napjainak a száma) minden egyes évben. A $p+1$ számú prediktor egyidejű értékeit a következő módon jelöljük: x_{ij} , $i = 0, 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, p+1$. Az y_i -nek az $\hat{y}_i$ becslését az alábbi időfüggő lineáris regresszióval definiáljuk:

$$\hat{y}_i = \sum_{j=0}^p a_j(t_i) x_{ij} \quad (4.17.)$$

ahol $x_{i0} = 1$ és a többi prediktor nyolc ($p=8$) változó napi adatait tartalmazza, melyek a következők: középhőmérséklet, átlagos szélsősebesség, átlagos relatív nedvesség, átlagos globálsugárzás, átlagos légnyomás, minimum hőmérséklet, maximum hőmérséklet és csapadékösszeg. A pollenkoncentrációk és a prediktorok évi menete alapján a (4.17.) egyenlet időfüggő együtthatói a következő módon írhatók:

$$a_j(t) = \alpha_{j0} + \sum_{k=1}^2 \alpha_{jk} \cos(w_k t) + \beta_{jk} \sin(w_k t) \quad (4.18.)$$

ahol $w_1 = 2\pi/365.25$ és $w_2 = 2w_1$. A w_1 körfrekvencia szerepe világos, míg w_2 -t azért vezetjük be, hogy leírjuk az évi ciklus aszimmetriáját. A (4.18.) egyenletet a (4.17.) egyenletbe behelyettesítve, a legkisebb négyzetek módszere szerint minimalizáljuk az

$$MSE = 1/n \sum_{i=1}^n \rho(y_i - \hat{y}_i) \text{ és } \rho(u) = u^2 \quad (4.19.)$$

átlagos négyzetes hibát (mean squared error = MSE), ahol α_{jk} , $j=0, \dots, p$, $k=0,1,2$,

β_{jk} , $j=0, \dots, p$, $k=1,2$. Azt várhatjuk, hogy nem kell mindegyik prediktort bevonni az eljárásba ahhoz, hogy jó becslést kapjunk a pollenkoncentrációra. Az optimális prediktorok kiválasztása a jól ismert stepwise regressziós módszeren alapszik (Draper és Smith, 1981). A megtartott változókkal kapcsolatos döntésünk szubjektív, mivel a stepwise regressziókban használt objektív kritériumok csak független és azonos eloszlású mintákra alkalmazható, míg a mi adataink, mint valószínűségi változók értékei, sem nem függetlenek, sem nem azonos eloszlásúak.

A legkisebb négyzetek módszere hasznos eszköz a közel normális eloszlású adatok esetében, azonban az alkalmazása kérdéses olyan változókra, amelyek erősen torzult eloszlásúak (pl. pollenkoncentráció adatsorok). Emiatt utóbbi esetben egyéb becslési eljárásokat érdemes alkalmazni. A dolgozatban a (4.19.) egyenletet újra írjuk úgy, hogy minimalizáljuk a

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n \rho(y_i - \hat{y}_i) \text{ és } \rho(u) = |u|. \quad (4.20.)$$

átlagos abszolút hibát (mean absolute error = MAE). Megjegyzendő, hogy a legkisebb négyzetek módszere a prediktandusznak a prediktorok függvényében vett feltételes várható értéket, míg a (4.20.) egyenlettel definiált legkisebb abszolút hibák módszere a feltételes mediánt szolgáltatja (medián regresszió). A módszertannak egy további finomítása, hogy elvetjük az (4.17.) egyenlet lineáris alakját és $\hat{y}_i = g(x_{i1}, \dots, x_{ip}, t_i)$, ahol g egy ismeretlen függvény. A g analitikus alakjára vonatkozó bármilyen feltételezés nélkül a feltételes medián nemparametrikusan becsülhető. Ez a nemparametrikus módszer a prediktandusz adatainak egy nemlineáris lokális simításából áll. A lokális kifejezés úgy értelmezendő, hogy a prediktorok terében minden aktuális megfigyelésre értelmezünk egy környezetet, melyet sáv-szélességnek nevezünk. Azon prediktandusz értékek szerepelnek a simításban, amelyekhez kapcsolódó prediktor értékek az aktuális prediktor fent említett környezetébe esnek. Az ilyen nemparaméteres módszer meglehetősen általános statisztikai függőségi és simasági feltételek teljesülése esetén alkalmazható (Koenker, 2005).

Koenker és Bassett (1978) felismerte, hogy a medián regresszió modellje kiterjeszthető a kvantilis regresszió esetére is. Egy valószínűségi változó τ -adik kvantilise ($0 < \tau < 1$) az az érték, amelynél kisebb értéket a valószínűségi változó τ valószínűséggel vesz fel. Pl. a $\tau=0.5$ megfelel a mediánnak. Míg a regressziós modell a feltételes várható értéket, addig a kvantilis regresszió a feltételes kvantilist határozza meg. Mivel bármilyen kvantilist használhatunk, lehetőség nyílik a prediktandusznak a prediktorokra vonatkozó feltételes valószínűségi eloszlásába bepillantani.

A rendelkezésre álló adatsort általában egy tananyagra és egy tesztanyagra osztják. A tanuló adatsort a statisztikai modell paramétereinek becslésére használják, majd ezt a modellt alkalmazzák a tesztanyagra (validálás). A tanuló adatok általában a teljes adatmennyiség 80%-át, míg a tesztanyag a maradék 20%-ot foglalják magukba. Sajnos a jelenlegi adatsorunk meglehetősen rövid, és annak két részre való bontása még inkább nehezíti a helyzetet. Nyilvánvaló, hogy az évek egy „szerencsés” választása a tesztanyagon túl szép eredményt adhat, míg egy „szerencsétlen” választás alábecsülheti az alkalmazott statisztikai modellek eredményének valóságos jóságát. Megjegyzendő, hogy a nemparaméteres módszerek esetében a becslésre kerülő egyedüli paraméter a sávszélesség. Ha N éves adatbázisunk van, az alkalmazott validációnk lehetővé teszi, hogy N éves validációs adatsort használjunk $N-1$ éves tananyaggal. Ha a k -edik évet vesszük a teljes adatsorból, a sávszélességet úgy becsüljük, hogy az adatokból elhagyjuk a k -edik évet, majd a k -edik évre vonatkozó becsléseket úgy kapjuk meg, hogy ezt a sávszélességet használjuk. Az eljárást $k=1, \dots, N$ -re alkalmazzuk, s így módon a teljes adatsorra vonatkozó becslések eleve validáltak. Ekkor sajnos évente változó sávszélességet nyerünk, ám szerencsére az N számú sávszélesség változékonysága kicsinek bizonyult. A végső sávszélesség ezért az évente változó sávszélességek átlaga. Az időfüggő paraméteres lineáris regressziót (4.17. egyenlet) nem validáljuk, mivel azt csak arra használtuk, hogy előzetes eredményekhez jussunk; a hangsúly a nemparaméteres módszereken van.

A nemparaméteres kvantilis regresszió az $x_1, \dots, x_p$ prediktorok adott értékeire és a t időre a következő: $\hat{g}(x_1, \dots, x_p, t) = \hat{a}$, ahol $\hat{a}, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_p$ a

$$1/n \sum_{i=1}^n \rho_{\tau}(y_i - (a + b_1(x_{i1} - x_1) + \dots + b_p(x_{ip} - x_p))) K_p\left(\frac{x_{i1} - x_1}{h_1}, \dots, \frac{x_{ip} - x_p}{h_p}\right) K\left(\frac{t_i - t}{b}\right) \quad (4.21.)$$

mennyiséget minimalizálja, és $\rho_{\tau}(u) = (1 - \tau)|u|$, $u < 0$, míg $\rho_{\tau}(u) = \tau|u|$, $u \geq 0$. A sávszélességek az

$$1/n \sum_{i=1}^n \rho_{\tau}(y_i - \hat{y}_i^{(i)}) \quad (4.22.)$$

kifejezés h és b szerinti minimalizálásával becsülhetők, ahol $\hat{y}_i^{(i)}$ az y_i olyan becslése, amikor elhagyjuk az i -edik adatot a becslési eljárásból. Az eljárás csak olyan adatsorokra alkalmazható amelyek nem korrelálnak, mivel az autokorrelációk lényegesen befolyásolják a sávszélesség választásának pontosságát. Olyan adatsorokra, amelyek korrelációja pozitív, a kapott sávszélességek a becslések drasztikus túlsimítását okozhatják. Ez az eset áll fenn a mi problémánkra is. Ezért egy adott évben fellépő y_i becslésekor a teljes év adatait elhagyjuk a (4.21.) egyenletből a korrelációs hatás kiszűrése céljából. Mivel ezzel a sávszélesség becslésére használt adatbázis egy évvel rövidebb, mint a teljes adatkészlet, Yu és Jones (1998) korrekcióját alkalmaztuk a sávszélesség végső becsléséhez.

Egy további kérdés: a választott prediktorok különböző értékei mellett milyen legalacsonyabb pollenkoncentrációs küszöbértékek várhatók? A probléma az extrém kvantilis regresszió koncepciójának (Smith, 1994), vagyis a $\tau = 0$ melletti kvantilis regressziónak az alkalmazásával írható le. A nemparaméteres extrém kvantilis regresszió $\tau = 0$ -ra, az $x_1, \dots, x_p$ prediktorok adott értékeire és a t időre a következő: $\hat{g}(x_1, \dots, x_p, t) = \hat{a}$, ahol $\hat{a}, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_p$ az

$$1/n \sum_{i=1}^n (y_i - (a + b_1(x_{i1} - x_1) + \dots + b_p(x_{ip} - x_p))) K_p \left(\frac{x_{i1} - x_1}{h}, \dots, \frac{x_{ip} - x_p}{h} \right) K \left(\frac{t_i - t}{b} \right) \quad (4.23.)$$

menyiséget minimalizálja, oly módon, hogy $a + b_1(x_{i1} - x_1) + \dots + b_p(x_{ip} - x_p) < y_i$ minden i -re, és $K_p((x_{i1} - x_1)/h, \dots, (x_{ip} - x_p)/h) K((t_i - t)/b) > 0$. A g függvényt a pollenkoncentráció feltételes határának nevezzük (Chernozhukov, 2005). Megjegyzendő, hogy ez a feltételes határ bármilyen prediktor értékekre kiszámítható a megfigyelt értékek által meghatározott tartományon belül.

4.2.12. Trendanalízis és Mann-Kendall teszt

Adatokban mutatkozó trendek becslésének egy egyszerű módja a lineáris trendanalízis. A trendek létezését általában a becsült meredekségek és azok varianciáin alapuló t -próba segítségével vizsgáljuk. Ugyanakkor a t -próba csak normális eloszlású adatokra alkalmazható. Nem normális eloszlású adatok monoton trendjeit nemparaméteres próbákkal, mint pl. a Mann-Kendall teszttel lehet vizsgálni. Aszimmetrikus eloszlású adatokra – mint pl. az évi csúcs pollenszámok (évi maximális napi pollenszámok) – ez utóbbi módszer szignifikánsan hatékonyabb, mint a t -próba (Önöz és Bayazit, 2003). Ennélfogva ezt a módszert használjuk a dolgozatban, ugyanakkor a meredekségeket is kiszámítjuk.

Megtörténhet, hogy némelyik trendnek túlságosan komplex az alakja ahhoz, hogy egyszerű lineáris közelítést alkalmazzunk. Ilyenkor nemparaméteres módszerek kívánatosak, melyek az adatok valamilyen simítását végzik. Mindegyik verziója egy adott pont környezetéhez tartozó megfigyelések lineáris kombinációját képezi úgy, hogy az adott pont befutja a vizsgált intervallumot. Az említett környezet kiterjedését sáv szélességnek nevezzük. Az ilyen becsléseknek számos verziója ismert, melyek közül a lokális lineáris illesztés igen jó tulajdonságokkal rendelkezik (Fan, 1992, Fan és Gijbels, 1992, Fan, 1993). A sáv szélesség megválasztásának alapvető szerepe van a trendbecslés pontosságában. Nagy sáv szélesség alacsony varianciát, de a becslés jelentős torzítását vonja maga után, míg kis sáv szélesség nagy varianciát, de csekély torzítást eredményez. A feladat ezért egy viszonylag alacsony varianciát és viszonylag csekély torzítást eredményező optimális sáv szélesség megtalálása. Az ilyen sáv szélesség a becslés várható átlagos négyzetes hibáját minimalizálja. A Francisco-Fernández és Vilar-Fernández (2004) által javasolt módszert alkalmazzuk a dolgozatban a sáv szélesség becslésére, mivel az eljárás az adatsorban meglévő esetleges autokorreláció hatásának figyelembevételére is alkalmas. Megjegyzendő, hogy a lokális lineáris illesztés globális lineárisává válik, ha végtelen nagy sáv szélességgel dolgozunk.

4.2.13. Többszörös kapcsolati mérőszám, kockázati potenciál, terjeszkedési potenciál

Bevezettünk egy ún. többszörös kapcsolati mérőszámot (multiple association measure = MAM), amely azt írja le, hogy a pollenkoncentráció napi trendjei meredekségének az évi ciklusa mennyire jól reprezentálható az éghajlati változók napi trendjei meredekségei évi ciklusainak egy lineáris kombinációjával. A MAM 0 és 1 közötti értékeket vesz fel, s 1-hez közelít, ha a fenti összefüggés szorosabbá válik (Meyer, 2001). Jóllehet minden osztályozás szubjektív, mégis, az egyes taxonokat három kategóriába soroltuk a MAM értékeik révén definiált éghajlati érzékenységük alapján.

Ahhoz, hogy értékelhessük az egyes taxonoknak a klímaváltozásra adott válaszát, két új kategóriát vezettünk be. A várható klímaváltozáshoz (Bartholy et al., 2008) kapcsolódó koc-

kázati potenciál (risk potential = RP) a Kárpát-medencében leírja a különböző taxonok fajainak a veszélyeztetettségét azok jelenlegi élőhelyén, s az egyes fajok túlélési potenciálját 3 kategóriába soroltuk. A nem veszélyeztetett taxonok (*) túlélhetik a várt klímaváltozást a Kárpát-medencében, mivel azokhoz melegebb és szárazabb feltételeket kedvelő fajok tartoznak, míg az éghajlati szempontból veszélyeztetett taxonoknak (***) nincsenek a várt új feltételekhez alkalmazkodni képes fajaik a jelenlegi flórában. Az előző esetben a fajok változása egy taxonon belül egy bizonyos tájban segítheti a taxon alkalmazkodását a globális felmelegedéshez, míg az utóbbi esetben a melegtűrő fajok hiánya az adott taxon eltűnéséhez vezethet. Minél több (különösen melegkedvelő és szárazságtűrő) faj tartozik egy taxonhoz és minél szélesebb azok éghajlati tűrőképessége, annál kevésbé van kitéve a klímaváltozásnak. Ugyanakkor a mérsékelten veszélyeztetett taxonok (**) részben túlélhetik a klímaváltozást a saját élőhelyükön, azonban a hozzájuk tartozó fajok némelyikének a populációi regionálisan visszahúzódhatnak. A várható klímaváltozáshoz kapcsolódó terjeszkedési potenciál (expansion potential = EP) a fajok azon képességéről tájékoztat, hogy elvándorolnak a tájban és így élik túl a klímaváltozást, vagy alkalmazkodnak élőhelyükhöz, esetleg terjeszkednek. A fajok ezen sajátosságát öt kategóriába soroltuk, ugyanis az egyes taxonokhoz tartozó fajok eltérő klímátűrő képessége szerint a válaszok széles skálája lehetséges (Deák, 2010). Az egyes kategóriákat a Horváth et al. (1995) révén rendelkezésre álló flóra adatbázis alapján definiáltuk.

5. FELHASZNÁLT SZÁMÍTÓGÉPES SEGÉDLETEK

- Az adatelőkészítés, a számítások egy része, s az eredmények grafikus megjelenítése *EXCEL 2007*-ben történt;
- A faktoranalízist az *SPSS 16.0* szoftver alkalmazásával hajtottuk végre;
- A clusterezés k-közép algoritmussal, a *MATLAB 7.7.0.471* software felhasználásával történt.
- A 30°N-70,5°N szélességek, illetve a 30°W-45°E hosszúságok között 1,5°x1,5° sűrűséggel rendelkezésre álló, clusterenként átlagolt tengerszinti légnyomás értékekből az izobárok megszerkesztése a *Surfer 8.00* szoftver felhasználásával történt.

6. A parlagfű és pollenjének jellemzői

6.1. Bevezetés

6.1.1. A parlagfű eredete és elterjedése

E fejezet célja, hogy rövid áttekintést adjunk a parlagfű történetéről, majd elemezzük a parlagfű pollen napi átlagos koncentrációi időbeli menetének statisztikai jellemzőit.

Az *Ambrosia artemisiifolia* a zárvatermők (Angiospermatophyta) törzsébe, a kétszikűek (Dicotyledonopsida) osztályába, a fészekvirágzatúak (Asterales) rendjébe, a fészkesek (Asteraceae) családjába, a csövesvirágúak (Tubuliflorae) alcsaládjába, és a parlagfűfélék (*Ambrosia spp.*) nemzetségébe tartozik (Béres et al., 2005). E nemzetségnek kb. 40 faja ismert. A legtöbb faj az USA-ban, elsősorban a délnyugati területeken és a mexikói határvidéken fordul elő. Egyes fajok Közép- és Dél-Amerikában találhatók, míg az *Ambrosia senegalensis* Dc. Afrikában honos. Európában egyedülként az *Ambrosia maritima* L. a Földközi-tenger vidékén (dalmát tengerpart, Budva térsége) endemikus fajnak számított (Béres et al., 2005). A parlagfüvet először 1842-ben írták le. Nyugat-Európában Brandenburgban (Németország) jelent meg legkorábban – 1863-ban. Ugyanakkor ez idáig már négy amerikai parlagfű faj telepedett meg Európában. Ezek az ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*), óriás parlagfű (*Ambrosia trifida*), évelő parlagfű (*Ambrosia psilostachya*) és az ezüst parlagfű (*Ambrosia tenuifolia*). Európában az ürömlevelű parlagfű terjedt el leginkább (Járai-Komlódi és Juhász, 1993).

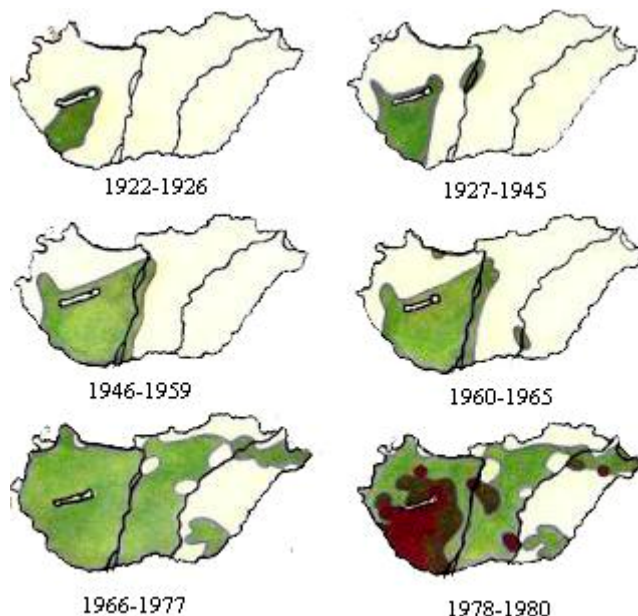
A parlagfű elterjedése Európában a II. világháború után kezdődött. A különböző parlagfű fajok magvai vöröshere magvak, valamint gabona importjával hajószállítmányok révén kerültek át Amerikából Európába. Ily módon valószínűleg az európai kikötőkből terjedtek tova: pl. Fiuméből Horvátország és a Dunántúl felé, Triesztből és Genovából É-Olaszország felé, valamint Marseille-ből a Rhône völgye felé (Kiss és Béres, 2006; Kazinczi et al., 2008a). Napjainkban a parlagfűvel leginkább fertőzött három régió Európában: a Rhône völgye, É-Olaszország, s az összes közül a legfertőzöttebb: a Kárpát-medence (Juhász, 1998; Makra et al., 2011b).

Gladieux et al. (2011) megállapította, hogy a kelet-európai parlagfű a korábbi francia populációtól független, ugyanakkor több forrásból származik és jelentős a genetikai változékonysága. Csontos et al. (2010) növénygyűjtemények példányai alapján rekonstruálta az *Ambrosia artemisiifolia* korai elterjedését Közép- és K-Európában. Megállapították, hogy a parlagfű később érkezett ebbe a térségbe, mint Ny-Európába.

A parlagfű pollenje a déli légáramlásokkal érkezik Svájcba É-Olaszország és a Rhône völgye felől (Taramarcz et al., 2005; Bohren et al., 2006). Ausztria legkeletibb részének levegője is nagymértékben szennyezett. A parlagfű pollenje feltehetően Magyarország felől jut be Őrvidék, illetve Bécs fölé augusztus és szeptember folyamán, amikor a délkeleti szelek az uralkodóak a térségben (Jäger és Litschauer, 1998). Szlovákiában a parlagfű forrásvidéke a Csallóköz. Először Révkomáromból adtak hírt róla 1949-ben. Az itteni parlagfű magvai részben helyi eredetűek, részben pedig a déli szelekkel Magyarország felől érkeznek. Parlagfű magvak érkezhettek még Szlovákiába gabonaszállítmányokkal is a volt Szovjetunió irányából (Makovcová et al., 1998; Makra et al., 2004; Makra et al., 2005).

6.1.2. A parlagfű Magyarországon

Hazánkba dél felől érkezett a parlagfű, Jávorka 1908-ban megtalálta Orsován (Jávorka, 1910). A mai Magyarország területén először az 1920-as évek elején jelent meg a Dél-Dunántúlon, majd fokozatosan – 30 éven belül – az egész Dunántúlon elterjedt. Ugyanakkor 1968-ban még egyetlen parlagfű pollent sem mutattak ki Szeged levegőjében (Simoncsics et al., 1968). A Duna-Tisza közén tehát jóval később, Szegedtől kiindulva terjedt észak felé. Ma már az egész országban megtalálható, s a leggyakoribb gyomnövénné vált. Magyarországi terjedésének fázisait elsősorban Priszter (1957; 1960), Béres (1981), valamint Béres és Hunyadi (1991) munkáiból ismerjük (5. ábra).



5. ábra

A parlagfű terjedésének fázisai Magyarországon (Priszter, 1957; 1960; Béres és Hunyadi, 1991)

6.1.3. A parlagfű éghajlati, ökológiai, mezőgazdasági és jogi háttere

6.1.3.1. Éghajlati háttér

A parlagfű gyors terjedésének számos oka van. Magyarország a Köppen-féle klímaosztályozás *Cf* (meleg-mérsékelt éghajlat, egyenletes évi csapadékeloszlással) (Köppen, 1931), vagy a Trewartha-féle klímaosztályozás *D1* (kontinentális éghajlat, hosszabb meleg évszakkal) (Trewartha, 1968) éghajlati régiójába esik. Következésképp, az éghajlat itt kedvező a parlagfű fejlődése, hosszan tartó virágzása és jelentős mennyiségű pollenkibocsátása szempontjából.

Szeged éghajlatát forró nyarak és mérsékelt hideg telek jellemzik. A csapadék évi eloszlása meglehetősen egyenletes, 29% nyári (június, július, augusztus), illetve 19% téli (december, január, február) részesedéssel. A napi középhőmérsékletek átlaga nyáron 22,4 °C, míg télen 2,3 °C. Az uralkodó szélirány észak-északnyugati (42,3%) és dél-délkeleti (24%) nyáron, illetve dél-délkeleti (32,6%) és észak-északnyugati (30,8%) télen. A napi átlagos szélsebesség 3,5 m s⁻¹ télen, illetve 2,8 m s⁻¹ nyáron (Péczy, 1979). A meteorológiai paraméterek átlagértékei Szegedre a következők: évi középhőmérséklet: 11,2 °C; januári és júliusi kö-

zéphőmérsékletek: $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, évi átlagos relatív nedvesség: 71%; évi átlagos csapadékösszeg: 573 mm; évi átlagos napfénytartam: 2102 óra; évi átlagos szélsébség: $3,2\text{ m s}^{-1}$ (Péczy, 1979).

Ahhoz, hogy egy taxon ilyen nagymértékben elterjedhessen, megfelelő éghajlatú területet kell találnia. Magyarország nedves kontinentális éghajlata a parlagfű számára igen kedvező, mert viszonylag hosszú meleg, de nem túl száraz nyár jellemzi. Az Alföld déli részének klimatikus adottságai különösen kedveznek a parlagfű fejlődésének: fenofázisai (csírázás, növekedés, virágzás, magtermelés) korábban kezdődnek, s tovább tartanak, mint az ország többi részén. Ugyanakkor, ha tartós és meleg a nyár, viszont nincsen elegendő mennyiségű csapadék (pl. mediterrán klíma), akkor a parlagfű pollenszórása jelentősen mérséklődhet. Másrészt, ha elég hűvös a nyár, a hőmérsékleti összeg nem éri el a parlagfű virágzásához szükséges küszöbértéket, így nincsen pollenszórás, jöllehet, maga a taxon tenyészhet (pl. óceáni klíma).

6.1.3.2. Ökológiai háttér

Magyarországon a parlagfű virágzásának fő időszaka az augusztus, de a virágzás július második felétől október végéig tarthat. Akkor virágzik, amikor a pollenje már megérett. A pollinációs időszak tartama és a pollenképződés mértéke jelentősen függ a meteorológiai tényezőktől, elsősorban a hőmérséklettől, a légnedvességtől és a besugárzási viszonyoktól. A növekvő hőmérséklet és csökkenő légnedvesség fokozza a pollenképződést. A pollenkibocsátás délelőtt kezdődik (amikor – a napsugárzás hatására – a hőmérséklet emelkedni kezd, s vele párhuzamosan a relatív nedvesség csökkenésnek indul), s délután fejeződik be. A napi pollenszórás földrajzi hely, taxon és az időjárás függvénye. Így adott helyen adott taxon napi pollenszórásai évről évre jelentős eltéréseket mutathatnak. Szegeden a parlagfű napi pollentermelése unimodális eloszlást mutat, 8 és 16 óra közötti pollenszórással, valamint dél körüli maximummal (Juhász és Juhász, 1997).

6.1.3.3. Mezőgazdasági háttér

A parlagfű nem csupán az egyik legveszélyesebb aero-allergén növény, de egyúttal igen kártékony gyom a mezőgazdaság számára. Ezenkívül gyakori az utak mentén, vasúti töltéseken, parlagon hagyott területeken, továbbá a művelésbe vont földeken. Teljesen kiszoríthatja a lucernát és a vörösherét, komoly károkat okozhat a burgonyaföldeken, s gyakran megjelenik a kukorica- és napraforgó ültetvényeken is. A magyarországi talajok ideálisak a megtelepedése és fejlődése számára. Ily módon a parlagfű széleskörűen elterjedt és homogén növénykultúrákat alkot az egész országban. Különleges tulajdonságai miatt kiszoríthat élőhelyéről más növényeket, sőt évelő növényeket is és – versenytárs hiányában – domináns növényé válhat. Ezenkívül a parlagfű – a többi gyomnövényhez képest – kevésbé érzékeny a vegyszeres gyomirtó szerekkel szemben. Az itt említett tulajdonságai, valamint a kedvező környezeti feltételek hatására a parlagfű az egyik leginkább tanulmányozott nem-gazdasági növény Magyarországon (Béres et al., 2005; Kazinczi et al., 2008a).

A parlagfű helyzet megoldatlansága különböző okokra vezethető vissza, melyek a következők: (1) politikai ok (a tulajdonviszonyok rendezetlensége, a földnyilvántartás hiányosságai); (2) gazdasági ok (a mezőgazdasággal foglalkozók egy részének szakmai felkészületlensége, a mezőgazdasági termelés alacsony nyereségessége, igen sok és gazdaságosan nem művelhető kis terület jelenléte); (3) etikai ok (felelőtlen állampolgári magatartás, a környezet-tudatos gondolkodás és nevelés hiányosságai); (4) egyéb ok (pl. az elmúlt évtizedekben bekövetkezett rendkívül sok talajbolygatás) (Béres et al., 2005).

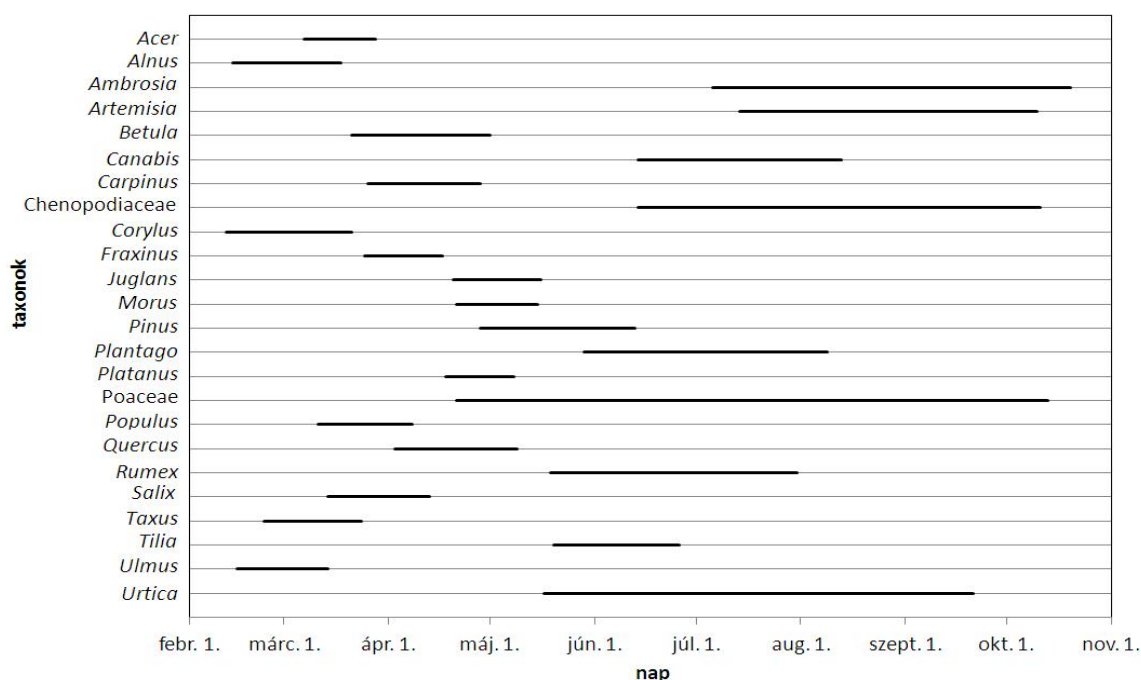
6.1.3.4. Jogi háttér

A növényvédelemről szóló 2000. évi XXXV. törvény módosításaként a 2005. évi XXXVIII. törvény 2. fejezete kiemelten foglalkozik a parlagfű terjedésének megakadályozásával – oly módon, hogy lehetőséget biztosít a június 30. után is virágzó parlagfűvel fertőzött területek állami pénzen történő kaszálásos gyommentesítésére. A növényvédelemről szóló 2000. évi XXXV. törvény módosításaként a 2007. évi XVI. törvény kimondja: „A földhasználó köteles az adott év június 30. napjáig az ingatlanon a parlagfű virágbimbó kialakulását megakadályozni, és ezt az állapotot a vegetációs időszak végéig folyamatosan fenntartani”. 2004-ben jött létre a „Parlagfű mentes Magyarorszáért” Tárcaközi Bizottság. A parlagfű felderítését a földhivatalok végzik a FÖMI (Földmérési és Távérzékelési Intézet) által készített veszélyeztetettségi térkép segítségével. Jelenleg a növényvédelmi bírság 20 000 Ft-tól 5 000 000 Ft-ig terjedhet (Vercseg, 2008). Az adófizetők adójuk 1%-át már a parlagfű elleni küzdelemre is felajánlhatják.

6.2. Eredmények

6.2.1. A vizsgált taxonok pollinációs időszakai és pollenkoncentrációi

A szegedi pollensapda adatai alapján összesen 24 taxon (lásd: 3.2.2. szakasz) pollen-szórását elemeztük, melyek együttes pollinációs időszaka február elejétől október végéig tart (6. ábra).

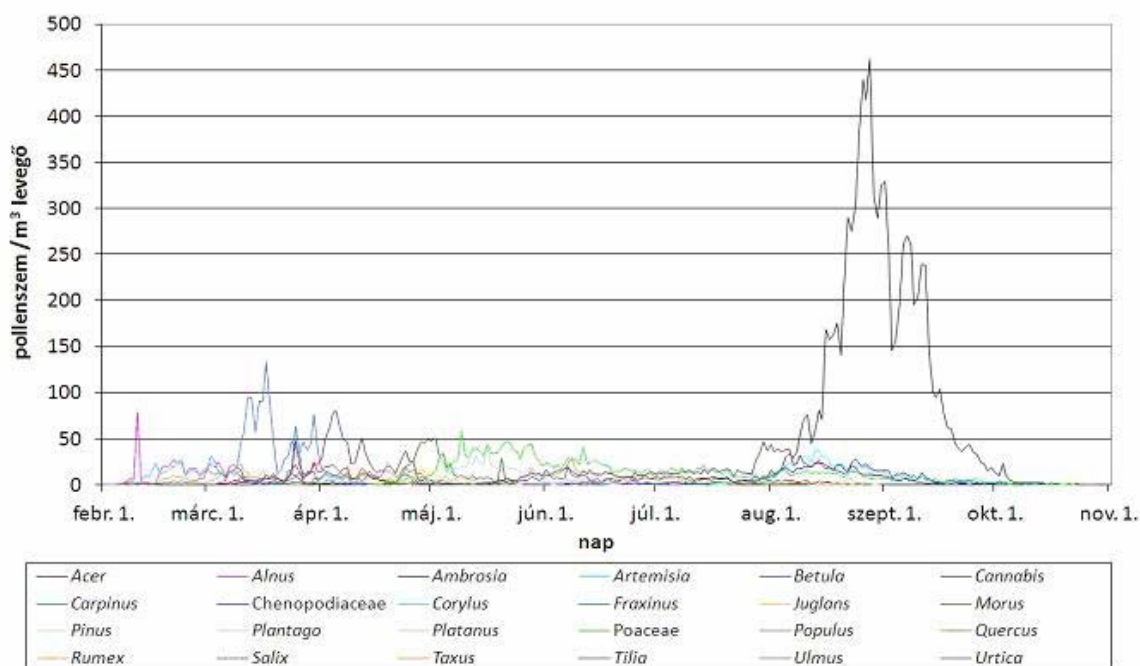


6. ábra

A vizsgált taxonok átlagos pollinációs időszakai, február 1 – október 31, 1997-2001, nap

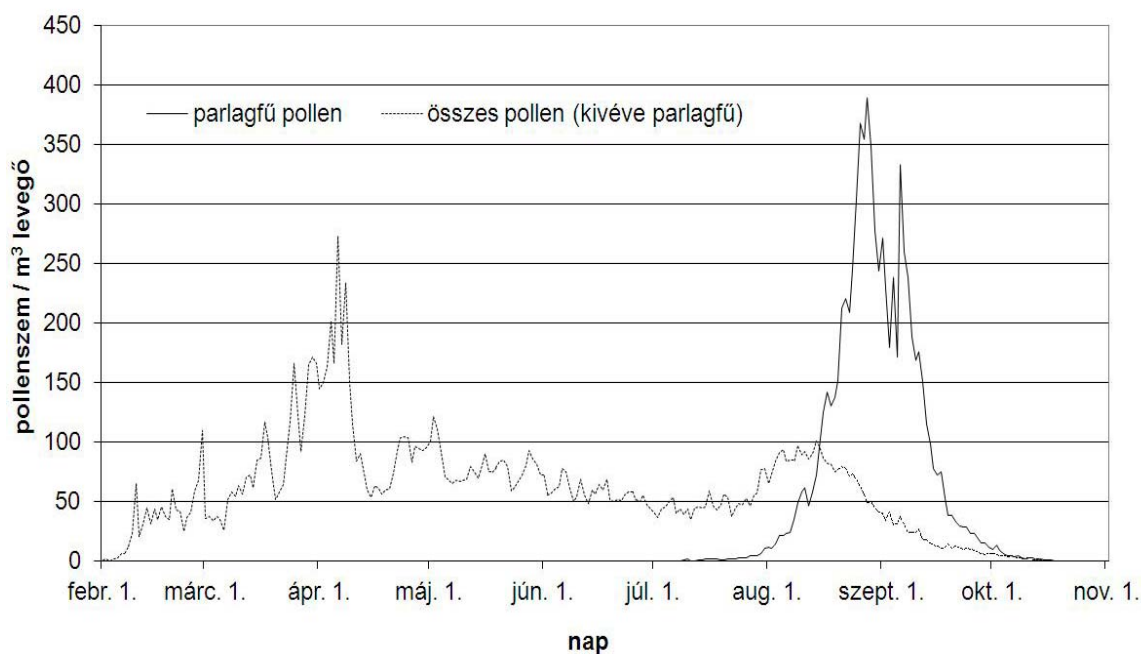
Az egyes taxonok átlagos napi pollenszámai általában 100 pollenszem / m³ levegő alatt maradnak (7. ábra). Azonban a juhar (*Acer*) (átlagos pollinációs időszak: március elejétől végéig) átlagos napi pollenszáma némely napokon meghaladja a fent említett értéket. Mindazonáltal a parlagfű (*Ambrosia*) (átlagos pollinációs időszak: július elejétől október végéig) pol-

lenszórása a leghatékonyabb az összes vizsgált taxon közül (7-8. ábra). A legsúlyosabb pollenterhelésű napokon (parlagfű pollen koncentráció > 400 pollenszem / m³ levegő) a pollen kibocsátása kb. egy nagyságrenddel nagyobb a legtöbb taxonénál (7-8. ábra).



7. ábra

A vizsgált taxonok átlagos pollenkoncentrációi, február 1 – október 31, 1997-2001, nap



8. ábra

Átlagos pollenkoncentrációk, február 1 – október 31, 1997-2001, nap

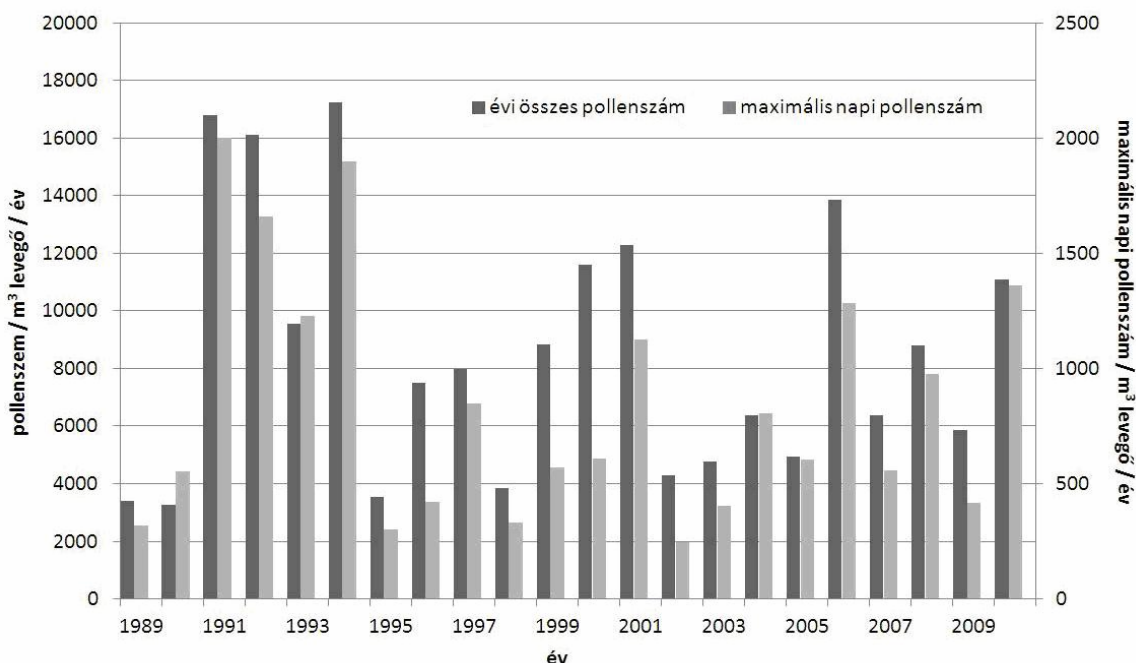
A 24 vizsgált taxon közül az *Ambrosia* pollen szórásnégyzete a legnagyobb, összhangban a napi koncentrációi legnagyobb változékonyságával (7-8. ábra). Őt követi csökkenő sorrendben a *Populus*, *Morus* és *Alnus* napi pollenszámainak a szórásnégyzete. Az összes taxon

közül az *Ambrosia* pollen napi koncentrációinak a variációs együtthatója a legnagyobb, utalva annak extrém napi változékonyságára. Ugyanakkor a $|medián - \hat{atlag}|$ eltérés minden taxon napi pollenkoncentrációi esetében az interkvartilis félterjedelmen belül marad. A legnagyobb $|medián - \hat{atlag}|$ eltérést az *Ambrosia* és az *Alnus* napi pollenszámaira kaptuk (7-8. ábra).

6.2.2. Parlagfű pollenszámok és kritikus értékek

A parlagfűpollen koncentrációja világviszonylatban a Kárpát-medencében a legnagyobb. Újvidéken (Szerbia) mérték a legnagyobb évi összpollenszámot (20 559 pollenszem / m^{-3} levegő / év, 2001) (Radišić, 2011), míg Szegeden a legmagasabb érték 17 142 pollenszem / m^{-3} levegő / év, 1994) (Juhász és Juhász, 1997) (9. ábra). A Kárpát-medencét követő legszennyezettebb régiók (É-Olaszország; Rhône völgye, Franciaország) pollenterhelése nagyságrenddel kisebb. Milánóban (É-Olaszország) 2 068 pollenszem / m^{-3} levegő / év (2006) (Bonini, M., Public Health Service, Milan, személyes közlés, 2010), míg Lyonban (Rhône völgye) 1 460 pollenszem / m^{-3} levegő / év (2003) évi összes pollenszámot mérték (Thibaudon, M., Aerobiology Network of France, személyes közlés, 2010).

A Kárpát-medencében a legsúlyosabb évi maximális napi pollenterhelést Újvidéken mérték (2 104 pollenszem / m^{-3} levegő / nap, 2001) (Radišić, 2011), míg Szegeden ez az érték (2 003 pollenszem / m^{-3} levegő / nap, 1991) (Juhász és Juhász, 1997) (9. ábra). Ugyanakkor a legsúlyosabb pollenterhelésű napokon ezek töredékét mérik Észak-Olaszországban (Milano: 291 pollenszem / m^{-3} levegő / nap, 2006) (Bonini, M., Public Health Service, Milan, személyes közlés, 2010), illetve a Rhône völgyében (Franciaország) (Lyon: 430 pollenszem / m^{-3} levegő / nap, 2003) (Thibaudon, M., Aerobiology Network of France, személyes közlés, 2010).



9. ábra

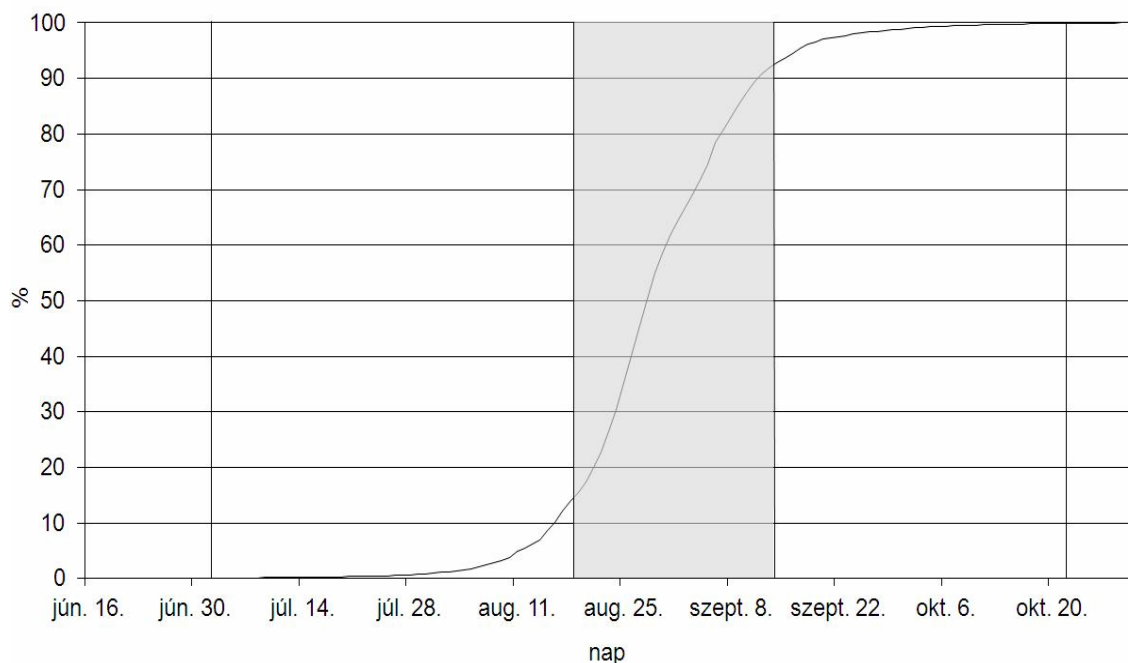
Az évi összes és az évi maximális napi parlagfű pollenszámok, Szeged, 1989-2010

Szegeden mind az évi összes, mind pedig az évi maximális napi parlagfű pollen koncentrációk nagy változékonyságot mutatnak, és szorosan korrelálnak egymással ($r = 0,916$, szignifikáns a 0,1%-os valószínűségi szinten) (9. ábra).

Kadocsa et al. (1991) már $10 \text{ pollenszem} / \text{m}^3 \text{ levegő} / \text{nap}$ pollenterhelés fölött kimutató parlagfű pollen szenzitizációt. A pollenérzékeny embereknél a klinikai tünetek küszöbértéke általában $20 \text{ pollenszem} / \text{m}^3 \text{ levegő} / \text{nap}$ (Jäger, 1998). Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálatnál (ÁNTSZ) a küszöbérték $30 \text{ pollenszem} / \text{m}^3 \text{ levegő} / \text{nap}$ (Mányoki et al., 2011). Ugyanakkor Juhász (1995) az $50 \text{ pollenszem} / \text{m}^3 \text{ levegő} / \text{nap}$ küszöbértéket javasolja, melynél a szénanáthában szenvedő betegek 60-80%-a érzékeny a parlagfű pollenjére. Ezzel szemben a Kárpát-medencén kívül azon régiókban, ahol jóval alacsonyabbak a parlagfű pollenszámok, már csekély ($1-2 \text{ pollenszem} / \text{m}^3 \text{ levegő} / \text{nap}$) pollenterhelés is kiválthat enyhe allergiás tüneteket (Dechamp et al., 1997). Ennek figyelembe vételével került bevezetésre az ún. „szubpatológias kockázati időszak”, amikor a parlagfűpollen koncentráció mindössze $0,1 \text{ pollenszem} / \text{m}^3 \text{ levegő} / \text{hét}$, azzal a feltétellel, hogy a rá következő héten magasabb pollenkoncentráció lép fel. A következő szint az első hét, amikor a pollenterhelés eléri az $5 \text{ pollenszem} / \text{m}^3 \text{ levegő} / \text{hét}$ értéket. Ez az ún. „patológias kockázati időszak” (Dechamp et al., 1997).

6.2.3. A parlagfű pollenszámok kumulatív összegei és a legsúlyosabb napi pollenkoncentrációk

Szeged 22 éves (1989-2010) átlagos kumulált napi parlagfű pollenszámainak időbeli menetében szürkével jelöltük azt a sávot, mely a legsúlyosabb napi pollenkoncentrációk időszakát (lásd: 11. ábra) fogja közre. Ennek az időszaknak a kezdőnapjáig (augusztus 18.), illetve befejező napjáig (szeptember 13.) az átlagos évi pollenszám 14%-a; illetve 92%-a mutatható ki (10. ábra).



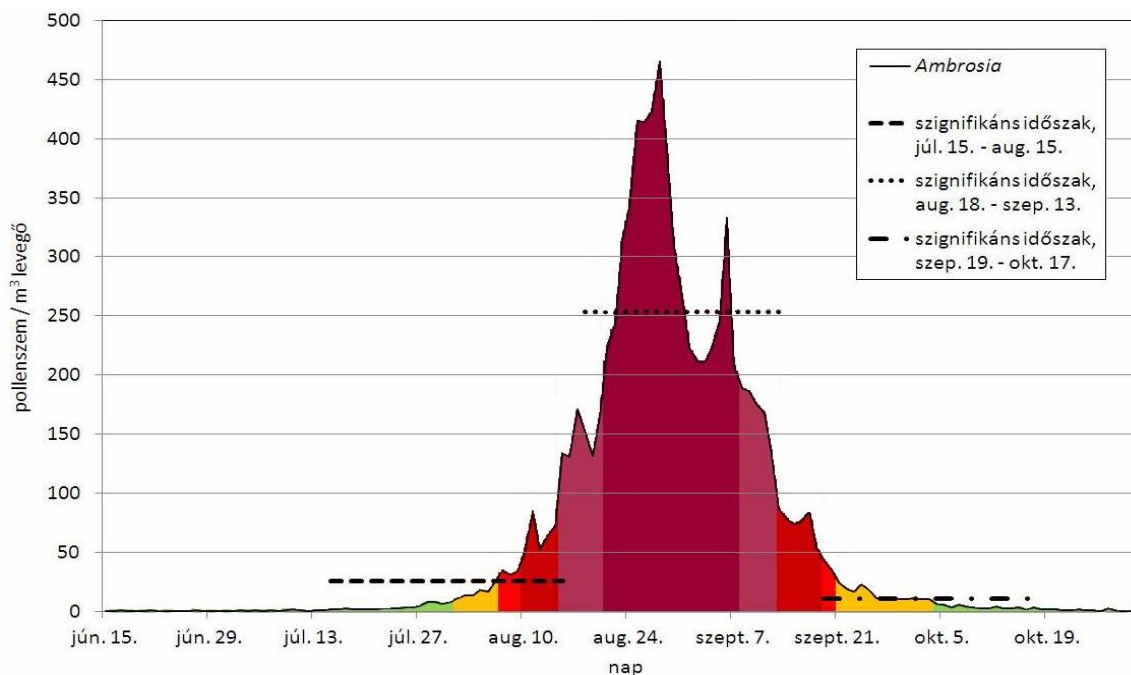
10. ábra

A parlagfű pollenszámok kumulatív összegei, Szeged, 1989-2010.

A Galán et al. (2001) alapján megállapított pollinációs időszakot a két szélső függőleges vonal határolja. A Makra-próba segítségével meghatározott azon periódust, amely a legsúlyosabb napi pollenkoncentrációkat tartalmazza (szürke sáv, lásd: 11. ábra), a két belső függőleges vonal határolja.

Ahhoz, hogy meghatározhassuk, a pollenszezon mely időszakában a legintenzívebb a pollenszórás, azaz a parlagfűpollen-allergiában szenvedőknek mely időszakban kell különösen ügyelniük, s betartaniuk az előírásokat, a Makra-próbát alkalmaztuk a 22 éves (1989-2010) napi átlagos parlagfű pollenszámokra (Makra et al., 2005). A próba végrehajtásához minden évben egységesen a július 15. – október 15. közötti időszakot vettük alapul, ugyanis egyrészt a parlagfű pollenszórásának kezdő és befejező napja évről évre változik, másrészt az évi összes pollenszámnak mindössze töredéke esik ezen időszakon kívülre (11. ábra).

A Makra-próba segítségével megvizsgáltuk, hogy találhatók-e szignifikáns eltérések a július 15. – október 15. közötti időszak 22 éves napi átlagos pollenszámainak tartalmazó idősor tetszőleges részmintáinak, illetve a teljes időornak az átlagai között (11. ábra). Azt kaptuk, hogy a július 15. – augusztus 15. közötti, illetve a szeptember 19. – október 17. közötti részminták átlagai szignifikánsan alacsonyabbak, mint a teljes minta átlagértéke. Ugyanakkor az augusztus 18. – szeptember 13. közötti részminta átlaga szignifikánsan magasabb, mint a teljes mintaátlag. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált adatbázis alapján az augusztus 18. – szeptember 13. közötti időszakban a legsúlyosabb Szeged levegőjének parlagfűpollen terhelése, következésképp ez a legveszélyesebb időszak a szénanátha kialakulására, illetve a már szenzitizálódott egyének tüneteinek a súlyosbodására (11. ábra) (Makra et al., 2004; Makra et al., 2005; Makra és Baglyas, 2006a).



11. ábra

A napi átlagos parlagfű pollenszámok idősorának azon részmintái, melyek átlaga szignifikánsan eltér a teljes mintaátlagtól (Makra-próba, 1%-os valószínűségi szint), Szeged, 1989-2010, július 15. – október 15.

(A legsúlyosabb napi pollenkoncentrációk aug. 18. – szept. 13. között mutathatók ki) (Makra et al., 2005).

A színekhez tartozó kategóriák határnapjai: zöld: jún. 16. – júl. 31; narancs: aug. 1-6; piros: aug. 7-9; vörös: aug. 10-14; **bordó: aug. 15-20; sötétbordó: aug. 21. – szept. 7; bordó: szept. 8-12;** vörös: szept. 13-18; piros: szept. 19-20; narancs: szept. 21. – okt. 3; zöld: okt. 4-29.

Az Országos Környezetegészségügyi Intézet (OKI) a szenitizáltság gyakorisága és súlyossága szerint különböző színekhez kötött pollenterhelési kategóriákat vezetett be (Bobvos et al., 2010; Mányoki et al., 2011), melyek egészségi hatásaikkal a következők. Fehér: 0 pollenszem / m³ levegő / nap, tünetmentes; zöld: 1-9 pollenszem / m³ levegő / nap, alacsony koncentráció, tünetmentes; narancs: 10-29 pollenszem / m³ levegő / nap, átlagos pollenkon-

centráció, érzékenyeknél kezdeti tünetek (tüsszögés, könnyezés); piros (riasztás): 30-49 pollenszem / m⁻³ levegő / nap, magas pollenkoncentráció, minden betegnél allergiás reakciók; vörös (riasztás): 50-99 pollenszem / m⁻³ levegő / nap, magas pollenkoncentráció, minden betegnél erős tünetek; bordó (riasztás): 100-199 pollenszem / m⁻³ levegő / nap, igen magas parlagfűpollen koncentráció, minden betegnél erős, vagy igen erős tünetek; sötétbordó (riasztás): 200-499 pollenszem / m⁻³ levegő / nap, az egészségi állapot kritikussá válhat; fekete (riasztás): 500-999 pollenszem / m⁻³ levegő / nap, heveny tünetek, komoly életminőség-romlás; "Ambrosia szín" (riasztás): >1000 pollenszem / m⁻³ levegő / nap, a tünetegyüttes szélsőséges erősségű lehet (Bobvos et al., 2010; Mányoki et al., 2011).

A legsúlyosabb napi pollenterhelés Makra-próba által meghatározott időszaka (augusztus 18. – szeptember 13.) igen jó egyezést mutat a maximális napi pollenkoncentrációknak a bordó árnyalataival jelzett OKI szerinti (Bobvos et al., 2010; Mányoki et al., 2011) periódusával (augusztus 15. – szeptember 12.) (11. ábra).

6.3. Következtetések

A Szeged térségére vizsgált 24 taxon együttes pollinációs időszaka február elejétől október végéig tart (6. ábra). Az egyes taxonok átlagos napi pollenszámai általában 100 pollenszem / m³ levegő / alatt maradnak (7. ábra). Azonban a juhar (*Acer*) átlagos napi pollenszáma némely napokon meghaladja ezt az értéket. Ugyanakkor a parlagfű (*Ambrosia*) pollenszórása a leghatékonyabb az összes vizsgált taxon közül. A legsúlyosabb pollenterhelésű napokon a pollenkibocsátása kb. egy nagyságrenddel nagyobb, mint a legtöbb taxoné (7-8. ábra). A többi taxon együttes pollenszámai március végén – április elején kulminálnak augusztusi másodmaximummal (8. ábra).

A parlagfűpollen mind évi összes, mind évi maximális napi koncentrációja világviszonylatban a Kárpát-medencében a legnagyobb. Európa két további legjelentősebb parlagfű élőhelyén (É-Olaszországban és a Rhône völgyében) e két paraméter értéke nagyságrenddel kisebb.

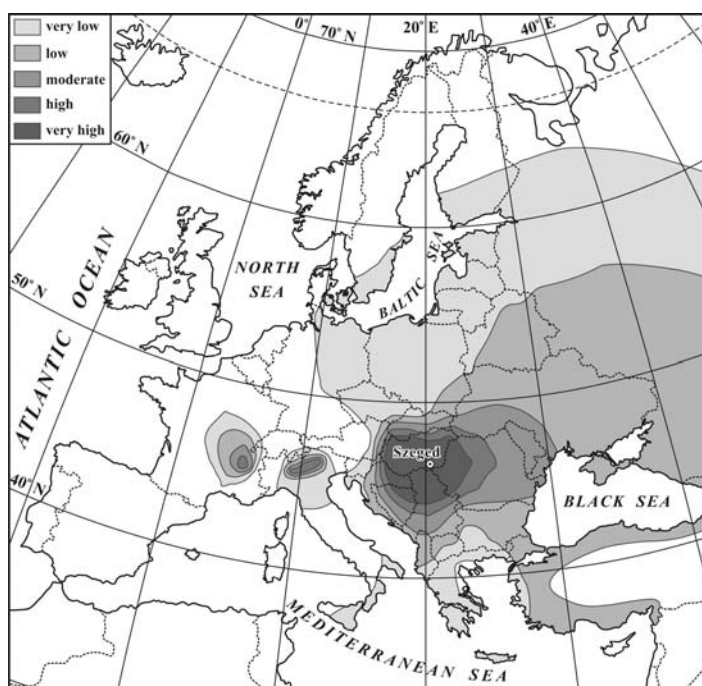
Szeged 22 éves (1989-2010) átlagos kumulált napi parlagfű pollenszámainak időbeli menetében a legsúlyosabb napi pollenkoncentrációk időszakának (lásd: 11. ábra) a kezdőnapjáig (augusztus 18.) és befejező napjáig (szeptember 13.) az átlagos évi pollenszám rendre 14%-a; illetve 92%-a mutatható ki (10. ábra).

A Makra-próba segítségével megállapítottuk, hogy a vizsgált adatbázisra az augusztus 18. – szeptember 13. közötti időszakban a legsúlyosabb Szeged levegőjének parlagfűpollen terhelése, következésképp ez a legveszélyesebb időszak a szénanátha kialakulására (11. ábra) (Makra et al., 2004; Makra et al., 2005). A legsúlyosabb napi parlagfűpollen terhelés Makra-próba által meghatározott időszaka (aug. 18. – szept. 13.) jól egyezik a maximális napi pollenkoncentrációknak (>100 pollenszem / m⁻³ levegő) a bordó árnyalataival jelzett OKI szerinti (Bobvos et al., 2010; Mányoki et al., 2011) periódusával (aug. 15. – szept. 12.) (11. ábra).

7. A parlagfűpollen transzport légcirkulációs pályáinak meghatározása Szeged térségében backward trajektóriák 3D clusterezésének alkalmazásával

7.1. Bevezetés

A különböző taxonok allergén pollenjei Európa jelentős területein meghaladhatnak bizonyos kritikus értékeket. Közép-Európában a parlagfű (*Ambrosia*) pollenje az allergiával kapcsolatos légúti megbetegedések legfontosabb előidézője. Az Alföld szerepe Szegeddel, annak földrajzi középpontjával különleges, mivel világviszonylatban a legmagasabb napi és évi parlagfű pollenszámok itt találhatók (12. ábra) (Makra et al., 2004; 2005).



12. ábra

A parlagfűpollen koncentráció térbeli eloszlása Szeged földrajzi pozíciójával, augusztus utolsó 10 napja, Európa (<https://ean.polleninfo.eu/ean> nyomán)

Allergén pollenek nagy távolságú transzportját tanulmányozta már többek között Lorenzo et al. (2006) a forrásterületek azonosítása végett. A pollentranszport tanulmányozása hozzásegíthet a pollenszámok változásának megértéséhez, valamint a pollenkoncentráció pontos előrejelzéséhez (Damialis et al., 2005). Számos szerző használt már egyedi backward trajektóriákat bizonyos pollenszennyezési epizódok interpretálásához (Hjelmroos, 1991, Franzen et al., 1994; Rousseau et al., 2004; 2008), azonban ez egy meglehetősen hozzávetőleges megközelítés valamely légtömeg útvonalának nyomon követésére és származási helyének

meghatározására. Egy viszonylag hosszú időszakot követően egy adott földrajzi koordináta fölé érkező trajektóriák clusteranalízis segítségével elemezhetők az adatkészleten belüli összefüggések feltárása végett. A clusteranalízist számos szerző alkalmazta már egyes trajektóriáknak viszonylag kis számú csoportba történő osztályozására (Dorling et al., 1992). Azonban ezt az eljárást ez idáig még nem használták a levegő pollenkoncentrációinak interpretálására. A clusteranalízis adatok homogén csoportjait azonosítja anélkül, hogy információt nyújtana az ok-okozati kapcsolatokról. Mindazonáltal az ily módon kapott adatsortok segíthetnek a pollenadatok értelmezésében, pl. a légköri transzport rendszerek azonosításában. Természetesen a clusteranalízis révén kapott eredmények megbízhatósága a vizsgált trajektóriák számával emelkedik (Borge et al., 2007).

Tudomásunk szerint eddig még nem jelent meg olyan tanulmány, amely hosszú időszakra vonatkozó trajektória clustereket használt volna fel nagy távolságú transzport rendszerek azonosítására, melyek befolyásolhatják adott földrajzi helyek levegőminőségének biológiai összetevőjét. Nagy időbeli felbontású pollenkoncentráció adatok, mint pl. a napi pollenszámok kétóránkénti menete segíthet a mért pollenkoncentráció eredetének a meghatározásában (a nappali pollencsúcs lehetséges helyi eredetre utal, míg az éjszakai, vagy a kora hajnali csúcsok nagy távolságú transzport jelezhetnek (Šikoparija et al., 2009)). Azonban nincs információ a szakirodalomban arra vonatkozóan, hogy miként különítsük el egymástól a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszportot a nagy távolságú pollentranszporttól, s következésképp, miként határozzuk meg e két komponens hozzájárulását a mért teljes napi pollenkoncentrációhoz. Ebben a fejezetben az összes taxon pollenje közül a leginkább allergén *Ambrosia* pollen Szeged fölötti koncentrációit elemezzük backward trajektóriák clustereinek segítségével öt éves (1998-2002) napi pollenadatok alapján (12. ábra).

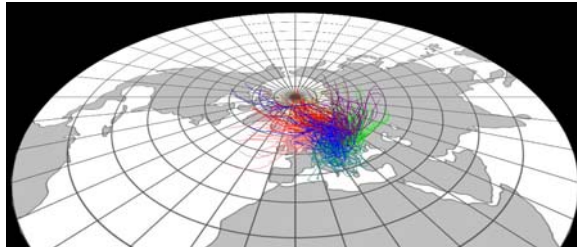
Ahhoz, hogy a pollenkoncentrációnak az egészségre gyakorolt hatását vizsgáljuk, általában kritikus küszöbértékeket definiálunk. Küszöbértékeket definiálhatunk az allergiás betegek klinikai tüneteinek a körülhatárolásával (klinikai küszöbök), vagy pedig aerobiológiai adatsorok statisztikai analízise révén (statisztikai küszöbök). Mivel a szakirodalomban több klinikai küszöbérték ismeretes az *Ambrosia* pollenszintekre (lásd: 6.2.2. szakasz), ezért statisztikai küszöböt alkalmaztunk a parlagfű pollenszám túllépésekre. Küszöbértéknek a felső kvartilist választottuk, vagyis azt az értéket, amely fölött 25% a parlagfűpollen koncentráció relatív gyakorisága. Jóllehet bármely küszöbérték választása szubjektív, ez az érték mégis megfelelőnek tűnik, ugyanis egyrészt elég nagy ahhoz, hogy magas koncentrációjú eseményeket határozzon meg, másrészt elég alacsony ahhoz, hogy elegendő esetszámot biztosítson a statisztikai analízishez.

A vizsgálat célja olyan kulcsfontosságú földrajzi régiók azonosítása, melyek jelentős szerepet játszanak a Szeged fölötti magas napi *Ambrosia* pollen koncentrációkban. Evégett a város fölé érkező backward trajektóriákat a pollenszezonra vonatkozóan clusterezzük. Majd ANOVA-t alkalmazunk annak meghatározására, hogy a különböző régiókhoz tartozó átlagos pollenkoncentrációk szignifikánsan eltérnek-e egymástól. A clusterezést háromdimenziós (3D) backward trajektóriákra hajtjuk végre. Az egy bizonyos küszöbértéket meghaladó clusterfüggő napi pollenkoncentrációkat két statisztikai index segítségével elemezzük. Végül bemutatunk egy eljárást a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszport és a nagy távolságú pollentranszport elkülönítésére.

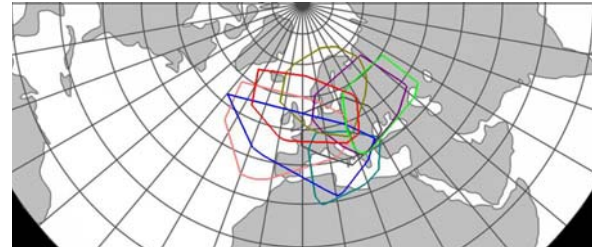
7.2. Eredmények

Szeged esetében nyolc clustert tartottunk meg a CCRMSD-n alapuló 3D analízis végrehajtásakor. Az *Ambrosia* pollenre bemutatjuk az összes 3D backward trajektóriát, eltérő színekkel jelezve, hogy azok melyik clusterhez tartoznak (13. ábra, bal felső panel); az összes

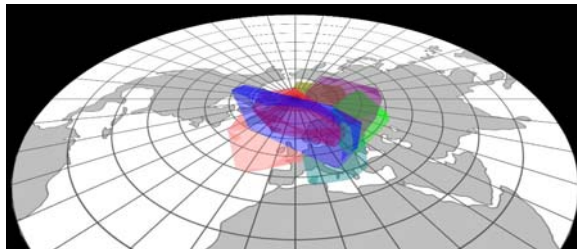
clustert trajektóriák nélkül, de azok eltérő színű 3D konvex testjeivel felülnézetben (13. ábra, jobb felső panel); továbbá az összes trajektória clustert, melyeket azok legkisebb átlátszó konvex testjeik határolják körül (13. ábra, bal középső panel); valamint azok 90°-os elforgatását (13. ábra, jobb középső panel). Ezenkívül közöljük a trajektória clusterek egy függőleges kiterjesztését azok átlátszó 3D konvex testjeivel (13. ábra, alsó panel).



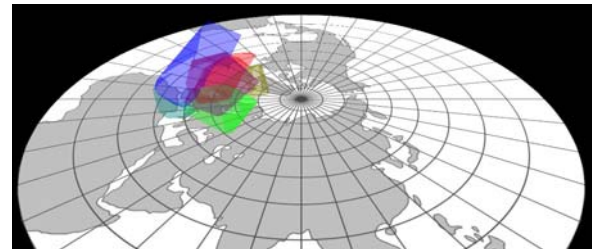
az összes trajektória; az eltérő színek jelzik, hogy mely clusterekbe tartoznak



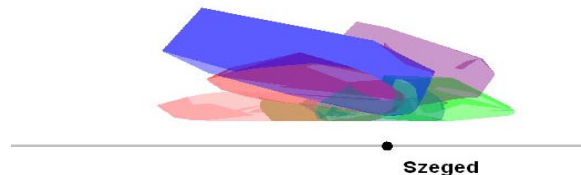
az összes trajektória (a backward trajektóriák nélkül) az eltérő színű 3D konvex testükkel körülhatárolva, felülnézet



az összes trajektória cluster, a 3D konvex testükkel körülhatárolva, átlátszó



az összes trajektória cluster, a 3D konvex testükkel körülhatárolva, 90°-os elforgatás, átlátszó

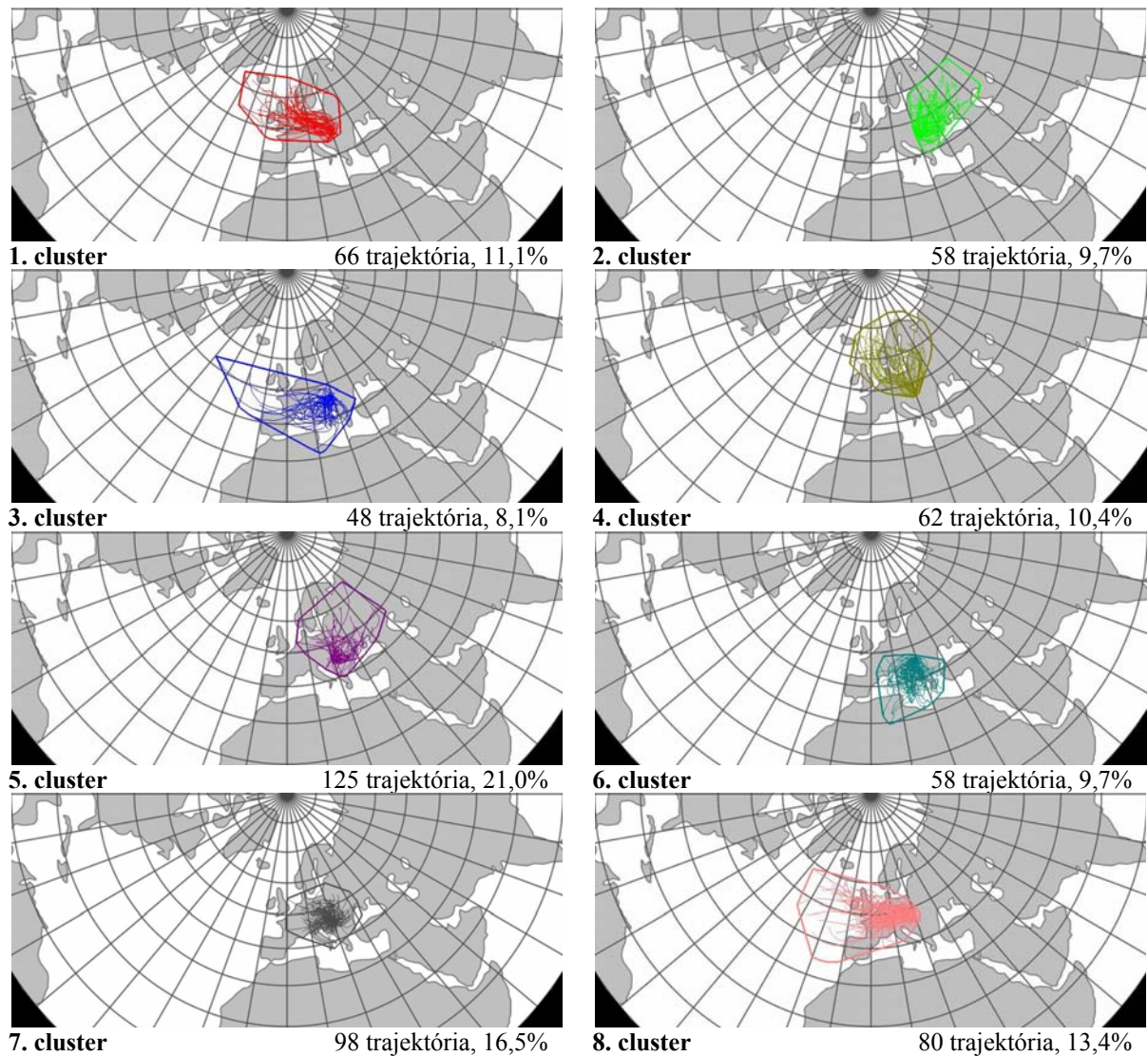


a trajektória clusterek vertikális kiterjedése a 3D konvex testükkel körülhatárolva, átlátszó

13. ábra

A backward trajektóriák megtartott 3D clusterei, *Ambrosia*, Szeged, $h=500$ m

Az 1., 2. és 3. clusterben a legtöbb trajektória rendre ÉNy-Európából, ÉK-Európából, illetve Ny-Európából származik. Ezek hosszú, következképp gyors mozgású trajektóriák, azonban a leggyorsabb trajektóriák a 8. clusterben találhatók. Ez utóbbiak Ny-Európából származnak légtömegeket Szeged fölé, továbbá számos trajektória közép-atlanti eredetű, ami igen gyors transzportnak felel meg. A 4. cluster legtöbb trajektóriája nagy területet borítva É-Európából származik. Az 5. cluster, mely a legtöbb trajektóriát tartalmazza, heterogén szerkezetű, s É- és K-Európa fölötti eltérő cirkulációs rendszerekhez kapcsolódik. A 6. és 7. cluster a rendre D- és Közép-Európa fölött elhelyezkedő legrövidebb, ennél fogva a leglassabb trajektóriákból áll (14. ábra).



14. ábra

A backward trajektóriák megtartott clusterjei, *Ambrosia*, Szeged, felülnézet, h=500 m

2. táblázat

A standardizált *Ambrosia* pollen koncentrációk paraméterei az egyes clusterekre, Szeged, h=500 m (vastag: maximum; dőlt: minimum)

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8
átlag	1,41	1,49	<i>1,03</i>	1,46	1,10	1,12	1,60	1,19
szórás	1,73	1,82	1,25	1,61	1,57	1,31	1,76	1,30
trajektóriák száma	66	58	48	62	125	58	98	80
%	11,1	9,7	8,1	10,4	21,0	9,7	16,5	13,4

A 2. táblázat az *Ambrosia* pollen jellemzőit összegzi a megtartott clusterekre. A Tukey teszt alkalmazásával az összes lehetséges 28 db clusterpár közül 5 esetben (17,9%) az átlagos parlagfűpollen koncentrációk szignifikáns eltérést mutattak (3. táblázat). Ezt követően csupán ez utóbbi clustereket elemezzük részletesebben (lásd: 2. és 3. táblázat). Az 5. cluster átlagos *Ambrosia* pollen koncentrációja számottevően eltér rendre az 1., 2., 3., 7. és 8. clusterekétől. A legmagasabb *Ambrosia* pollen koncentrációk a 7. clusterhez (Kárpát-medence, legmagasabb átlagos koncentráció), továbbá a 2. clusterhez (ÉK-Európa), a 4. clusterhez (É-Európa) és az 1. clusterhez (ÉNy-Európa) kapcsolódnak. Ugyanakkor az

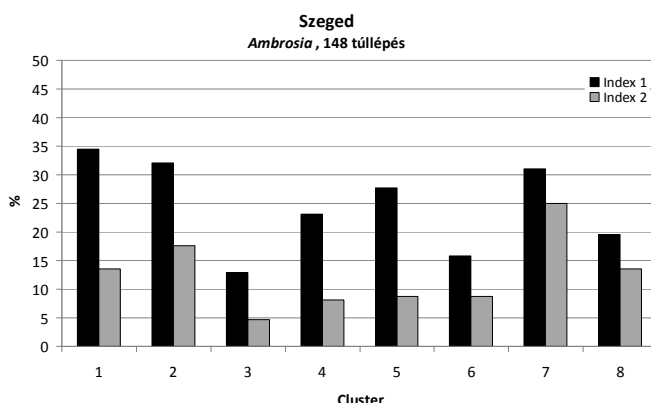
Ambrosia pollen koncentrációk alacsonyok, ha a légtömegek Ny-Európából (3. cluster, leg-alacsonyabb átlagos koncentráció; 8. cluster), É- és K-Európából (a heterogén 5. cluster), valamint D-Európából (6. cluster) érkeznek (2-3. táblázat).

3. táblázat

Az *Ambrosia* pollen koncentrációk standardizált clusterátlagai közötti szignifikáns eltérések a Tukey teszt alapján, Szeged, h=500 m (X: szignifikáns a $p < 0,05$ valószínűségi szinten, X: szignifikáns a $p < 0,01$ valószínűségi szinten)

	1						
2		2					
3			3				
4				4			
5	X	X	X		5		
6						6	
7					X		7
8					X		

A 7. cluster tartalmazza a legrövidebb backward trajektóriákat és ez meglehetősen tipikus a Kárpát-medencére, mely az *Ambrosia* taxonnak világviszonylatban kulcsfontosságú előfordulási területe. Következésképp, Szeged esetében ez egy helyi clusternek tekinthető. Az 1., 2. és 4. cluster (rendre ÉNy-Európa, ÉK-Európa és É-Európa) trajektóriái igen magas átlagos pollenkoncentrációkat jeleznek a célterület fölött (2. táblázat). Jóllehet e clusterek trajektóriáihoz a származási területük fölött igen alacsony koncentrációk tartoznak, azonban áthaladva a Kárpát-medence fölött, ezek jelentős mennyiségű pollent szállíthatnak Szeged térségébe. Továbbá, a 2. és 4. cluster különösen lassú mozgású trajektóriákat tartalmaznak, melyek kedveznek nagy mennyiségű pollen célterület fölé történő szállításában, ugyanis a trajektóriák zöme alacsony szinteken halad Szeged irányába (13. ábra, alsó panel; 14. ábra; 2. táblázat). A Ny-Európából (3. és 8. cluster), D-Európából (6. cluster), valamint a heterogén 5. cluster révén érkező trajektóriák pollentranszportja nem olyan jellegzetes, mint az ÉNy-, É- és K-Európa felől történő pollenszállítás, melynek oka a parlagfű elterjedésének a különbözőségei a kontinensen (12. ábra; 2. táblázat). Továbbá a 3. és 5. clusterek trajektóriái magasabb szinteken haladnak (13. ábra, alsó panel; 14. ábra), melyek csupán csekély mennyiségű pollen szállítását teszik lehetővé (2. táblázat). Következésképp, e clusterek trajektóriáinak csekélyebb nagy távolságú pollentranszportja csekélyebb helyi pollenkoncentrációkat eredményez Szegeden.



15. ábra

A backward trajektóriák 3D clusterjeinek INDEX1 és INDEX2 értékei az *Ambrosia* pollenre, Szeged, h=500 m

Az *Ambrosia* napi pollenkoncentrációi 148 napon lépték túl a küszöbértéküket (2,42) (15. ábra). A legmagasabb INDEX1 értékek az 1. clusterhez (34,5%) és a 2. clusterhez (32,1%) kapcsolódnak. Ez az eredmény összhangban van azzal a ténnyel, hogy ezekben a clusterekben igen magas az átlagos pollenkoncentráció és azok szórása (2. táblázat). A 7. cluster INDEX1 értéke a 3. legmagasabb (31,1%) és ennek a clusternek a legnagyobb az INDEX2 értéke (25,0%). A fenti clusterek igen magas index értékei arra vezethetők vissza, hogy a Kárpát-medence parlagfűpollen szennyezettsége a legsúlyosabb Európában (Makra et al., 2004; 2005). A 3. és 6. clusterek átlagos pollenkoncentrációja igen alacsony (2. táblázat), összhangban ezek legalacsonyabb INDEX1 és INDEX2 értékeivel. Ez utóbbi clusterek szórása a legalacsonyabbak közé tartozik, ami az extrém napi pollenkoncentrációk csekély valószínűségét jelzi (Makra et al., 2010b).

7.3. Elemzés és következtetések

Clusteranalízist hajtottunk végre a Szeged térsége fölé érkező négynapos, hatóránkénti backward trajektóriákra egy ötéves periódusra vonatkozóan azon célból, hogy azonosítsuk az ezen régió fölötti fő légcirkulációs útvonalakat, melyek befolyásolják a helyi parlagfűpollen koncentrációkat. A Mahalanobis metrikát használtuk, amellyel elkerüljük a kétszintű clusteranalízis (Borge et al., 2007) alkalmazását. A backward trajektória clusterek 3D körülhatárolása újdonság a szakirodalomban.

A pollenkoncentrációkat lényegesen befolyásoló fontos clusterek meghatározásakor a következő szempontokat vettük figyelembe: (1) egy adott cluster átlagos pollenkoncentrációja szignifikánsan különbözzön egy (vagy több) másik clusterétől, (2) az adott cluster átlagos pollenkoncentrációja magas kell, hogy legyen, (3) az adott cluster INDEX1 és/vagy INDEX2 értéke magas kell, hogy legyen. Két további tényező lehet még fontos, nevezetesen az, hogy az adott clusterben a backward trajektóriák előfordulási gyakorisága magas, valamint az adott cluster alacsony szintű backward trajektóriákat kell, hogy tartalmazzon.

Szegedre a 7. cluster – mely a legrövidebb backward trajektóriákat tartalmazza – mutatja a legmagasabb átlagos pollenkoncentrációt, s meglehetősen tipikus a Kárpát-medencére, ahol világviszonylatban a legsúlyosabb a parlagfűpollen terhelés. Továbbá az 1., 2. és 4. clusterek trajektóriáinak (melyek rendre ÉNy-Európa, ÉK-Európa és É-Európa térségét fedik le) a származási területén jóllehet igen alacsony a parlagfűpollen pollenkoncentráció, mégis, azok a Kárpát-medence fölött több száz km utat megtéve, ottani forrásokból számottevő mennyiségű *Ambrosia* pollent fölvéve jelentős mértékben hozzájárulhatnak a célterület helyi parlagfűpollen koncentrációihoz. Különösen a 2. és 4. clusterek igen magas pollenkoncentrációi, alacsony szinten, továbbá lassan haladó trajektóriái, magas INDEX1 és INDEX2 értékei, valamint a pollenkoncentrációk magas szórásai a napi extrém pollen epizódok nagyobb változékonyságát, következésképp a magas pollenkoncentrációk nagyobb bekövetkezési valószínűségét jelezve kiemelik ezen clusterek szerepének a fontosságát a pollentranszportban. Az *Ambrosia* pollen szintek alacsonyak, ha a backward trajektóriák Ny-Európa (3. és 8. cluster), D-Európa (6. cluster), valamint a heterogén 5. cluster térségéből származnak. A szállított pollen mennyiségét jelentős mértékben befolyásolja, hogy a trajektóriák mely forrásterületekről származnak, ugyanis a parlagfű európai előfordulása számottevő eltéréseket mutat (12. ábra).

Az *Ambrosia* fajok három fő élőhelye Európában a Kárpát-medence, világviszonylatban a legmagasabb pollenkoncentrációkkal (Makra et al., 2005), a Rhône-Alpes térség (Laaidi et al., 2003) Franciaországban és a Pó Alföld nyugati része, azaz D-Lombardia Olaszországban (Mandrioli et al., 1998). K-Európában az *Ambrosia* pollenszintek alacsonyak, vagy igen alacsonyak, míg É-Európa mentes a parlagfűtől (12. ábra). A fentiek alapján azok a régiók, ahol

a parlagfű igen elterjedt, egybeesnek a trajektória clusterek által jelzett kulcsfontosságú forrásterületekkel.

Miután a backtrajektóriák objektív csoportjait osztályoztuk, és ily módon meghatároztuk a Szeged fölötti fő cirkulációs útvonalakat, fontos elkülöníteni a tényleges pollenszintek „helyi”, illetve „szállított” komponenseit, vagy más szóval szükséges meghatározni e két összetevő relatív súlyát a mért pollenkoncentrációban. A következőkben egy heurisztikus megközelítést hajtunk végre azon célból, hogy elkülönítsük egymástól a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszportot és a nagy távolságú pollentranszportot.

A transzport – a terjedelmétől függően – három csoportba sorolható. A pollenkoncentráció helyi komponensének megfelelő rövid távú transzport időben és térben igen korlátozott, s nem tesz ki többet 1 óra időtartamnál. Ezen időtartam alatt a meteorológiai feltételek nem változnak jelentősen. Ebben a csoportban a transzport 100 m-től 1 km távolságig terjed. A közepes távolságú pollentranszport időskálája 1 nap, térskálája pedig 1 km-től 100 km távolságig terjed, míg a pollen nagy távolságú transzportja időben több nap, térben pedig oly mértékben kiterjedt, hogy az transzkontinentális cirkulációnak tekinthető (Rantio-Lehtimäki, 1994).

A rövid távú transzportot csak a helyi meteorológiai paraméterek befolyásolják. A pollenmérő hálózatok oly módon minimalizálják a helyi hatásokat, hogy a talajszint fölött 10-30 m magasságban végeznek standard mintavételeket. (Ha a pollencsapdát a talajszinten helyeznénk el, akkor az elsősorban annak a közvetlen szomszédságából gyűjtené a pollent és az eredmények ily módon nem volnának összehasonlíthatók az egyes mintavételi helyek között.) Alacsony szélesebségek ($v \approx 0.7-0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) mellett a fenti magasságok között elhelyezett pollencsapda egy kb. 60-70 km sugarú körnek megfelelő térségből gyűjti a pollent, míg az erős szelek jóval nagyobb távolságból is szállíthatnak pollent a pollencsapdába (Makra et al., 2008). Ily módon a mért pollenkoncentrációk megfelelnek a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú és a nagy távolságú pollentranszportnak.

Számos tanulmány született már, amelyek kimutatják, hogy a pollen hosszú utat tett meg, mielőtt a célterület fölé ért (pl. Mahura et al., 2007; Rousseau et al., 2008; Smith et al., 2008; Šikoparija et al., 2009; Skjøth et al., 2009). A helyi pollinációs időszak kezdete előtt a csapda által befogott pollen teljes bizonyossággal transzportált pollen (Hjelmroos, 1991; Franzen et al., 1994). Backward trajektóriákat is alkalmaztak már pollenek forrásterületének a meghatározására pollenmentes területeken, mint pl. Grönlandon (Rousseau et al., 2003; 2004; 2008). Részletesebb időszakokat (pl. kétórás adatokat) használva a pollenkoncentrációkat egyedi backward trajektória analízissel társították avégett, hogy a transzportált pollen forrásterületeit azonosítsák (Mahura et al., 2007; Smith et al., 2008; Šikoparija et al., 2009; Skjøth et al., 2009).

Elfogadva Rantio-Lehtimäki (1994) pollentranszporttal kapcsolatos osztályozását, egy 24 órás pollen mintavétel a közepes távolságú transzportot a célterület körüli 100 km sugarú körben határolja le, ha a szélesebséget $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ körülnek vesszük. Ez a határ közel van a fent említett 60-70 km sugarú körhöz. Ennélfogva a pollentranszporttal kapcsolatosan a következőkben csupán két kategóriát fogunk megkülönböztetni, nevezetesen a helyi eredetű, valamint a szél által távolabbról szállított pollent is magába foglaló közepes távolságú pollentranszportot, illetve a nagy távolságú pollentranszportot, mely utóbbinál alapvető a szél paraméterek szerepe.

Hasonló koncepciót vázol Gassmann és Pérez (2006), akik regionális és extra-regionális transzportot különböztetnek meg. Igen nehéz elkülöníteni egymástól a közepes és a nagy távolságú pollentranszportot, s ez az amiért ez idáig nem történtek kísérletek arra, hogy meghatározzák e két komponens relatív súlyát a mért pollenkoncentrációban.

A helyi pollenszórást is tartalmazó közepes távolságú pollentranszportot a továbbiakban a következő paraméterekkel jellemezzük: napi középhőmérséklet, napi relatív nedvesség és

napi globálsugárzás. Ugyanis a parlagfűpollen koncentráció szignifikáns pozitív kapcsolatot mutat a napi középhőmérséklettel (Bartkova-Scevkova, 2003; Štefanič et al., 2005; Peternel et al., 2006a; Puc, M., 2006; Kasprzyk, 2008), de negatív korrelációt jelez a napi relatív nedvességgel (Bartkova-Scevkova, 2003; Puc, 2006; Kasprzyk, 2008). A napi átlagos globálsugárzás szintén fontos prediktora a helyi parlagfűpollen szinteknek (Laaidi et al., 2003; Štefanič et al., 2005; Oh, 2009). Másrészt a megközelítésünk figyelembe veszi a befogott pollenszemeket transzportáló 3D trajektóriák valódi hosszát, azok légvonal menti távolságát, e két paraméter arányát, valamint a backward trajektóriák négynapos, hatóránkénti koordinátáin alapuló legalacsonyabb és legalacsonyabb átlagos vertikális pozícióit. A két utóbbi paraméter a pollen vertikális légköri transzportjára utal, amely vagy a határrétegben található pollen vertikális cseréjét szabályozó turbulens transzportból, vagy intenzív konvektív feláramlásból származik, mely nagy mennyiségű pollent juttat a felszín közeléből nagy magasságokba, pl. 3 km magasságba (Rousseau et al., 2003; 2004; 2005; 2008), vagy néha 8-12 km magasságba is (Rantio-Lehtimäki, 1994).

Ennélfogva kiválasztottuk azokat a napokat a parlagfű pollenszezonjából, amikor a 24 órás átlagos napi pollenkoncentrációk meghaladták a felső kvartilis Szegeden. A pollenszórás számottevően befolyásolja, hogy az adott nap nem-csapadékos, vagy csapadékos. Következésképp, a backward trajektóriák érkezési pontjának napjait két csoportra osztottuk: nem-csapadékos és csapadékos napokra. A napok ily módon történő osztályozása feltárja, hogy a csapadék milyen hatást gyakorol a transzportált pollen mennyiségére (Spieksma és den Tonkelaar, 1986; Galán et al., 2000). A faktoranalízis végrehajtása után speciális transzformációt alkalmaztunk mind a nem-csapadékos, mind pedig a csapadékos napok adatsoraira, továbbá a backward trajektóriák mindhárom (500 m, 1500 m és 3000 m) érkezési magasságára. Ily módon összesen $2 \times 3 = 6$ eljárást hajtottunk végre. A megtartott faktorok számát oly módon definiáltuk, hogy azok az eredeti változók teljes varianciájának legalább 80%-át megmagyarázzák (Jolliffe, 1993). Arra a következtetésre jutottunk, hogy Szegeden a nem-csapadékos napokon a közepes távolságú transzportnak van jelentős szerepe, míg a csapadékos napokon a kétféle transzportnak csaknem azonos a súlya a közepes távolságú transzport valamelyest nagyobb értékével.

Megjegyzendő, hogy ezek a megállapítások csupán a napi pollenkoncentrációknak a vizsgált nyolc magyarázó változó által megmagyarázott változásaira érvényesek, és semmit nem tudunk az ezen változók által nem megmagyarázott variancia hányadról. Ugyanakkor anélkül, hogy bármit is mondanánk e kétféle pollentranszport arányáról, a mért pollenkoncentráció eredete annak napi menete révén is tanulmányozható. Ha a napi pollenszámok kétóránkénti menete nappali csúcsot mutat, akkor a pollenek valószínűleg helyi eredetűek. Másrészt, ha csúcserősségük éjszaka, vagy kora hajnalban tapasztalható, akkor azok nagy távolságú transzport révén érkezettek (Šikoparija et al., 2009). Szegeden a mért parlagfűpollen koncentrációk a helyi pollenszórás is magába foglaló közepes távolságú transzportból származnak, mert a napi pollencsúcsok 8,00-16,00 óra között lépnek fel (Juhász és Juhász, 1997). Mivel a közepes távolságú transzportnak nagyobb a súlya a napi pollenszintek kialakulásában mind a nem-csapadékos, mind a csapadékos napokon, eredményeink összhangban vannak Juhász és Juhász (1997) megállapításaival (Makra et al., 2010b).

8. A napi átlagos pollenkoncentrációk objektív és szubjektív időjárési típusok szerinti osztályozása és összehasonlító hatékonyság vizsgálata

8.1. A napi átlagos pollenkoncentrációk objektív időjárési típusok szerinti osztályozása

8.1.1. Bevezetés

E fejezet fő célkitűzése, hogy többváltozós statisztikai módszerek alkalmazásával megadjuk a Szeged térsége fölötti légtömegek egy objektív, megbízható osztályozását a pollen-szezon február 1. – október 31. közötti időszakára. Ezt követően a meteorológiai elemek leginkább homogén értékeivel jellemzett légtömegtípusok mindegyikére megbecsüljük az egyes taxonok átlagos pollenkoncentrációit. Majd azon célból, hogy feltárjuk a tengerszinti légnyomási mezők térbeli eloszlása és a vizsgált taxonok Szegeden mért pollenkoncentrációi közötti lehetséges kapcsolatokat, meghatározzuk a kapott objektív légtömegtípusok átlagos tengerszinti légnyomási mezőit az Észak-atlanti–európai térségre.

Adott szempont szerinti légtömeg-tipizálás témakörében igen kevés tanulmányt publikáltak a szakirodalomban. Mindössze McGregor és Bamzeli (1995), valamint Sindosi et al. (2003) említhetők, akik a fő légszennyező anyagok koncentrációinak objektív osztályozását hajtották végre Birmingham, illetve Athén városaira. Mindazonáltal, tudomásunk szerint légtömegtípusok pollenkoncentrációk szerinti objektív osztályozását ez idáig nem közölték a szakirodalomban. Ugyanakkor gyakran alkalmaznak stabilitási osztályokat (alapvetően a szélsebesség, a hőmérsékleti gradiens, a felhőborítottság, vagy a globálsugárzás adatai alapján empirikusan meghatározva) pl. a levegőminőség modellezésében annak megállapítására, hogy a légszennyező anyagok feldúsulása magas vagy alacsony a meteorológiai elemekkel összefüggésben. Másrészt ezek a modellek csupán a kémiai légszennyezőket osztályozzák (Pasquill, 1962; Turner, 1964; Golder, 1972), míg a biológiaiakat figyelmen kívül hagyják. Ebben a fejezetben objektív osztályozást hajtunk végre, szemben Pasquill (1962) és Turner (1964) szubjektív módon meghatározott kategóriáival. Az alkalmazott módszerünk jóval több meteorológiai paramétert vesz figyelembe a légtömegtípusok osztályozásában, továbbá a pollenkoncentrációk osztályozásának a hatékonyságát statisztikailag elemezni fogjuk.

Az analízis 12 meteorológiai elem (lásd: 3.2.1. szakasz) és 24 taxon (lásd: 3.2.2. szakasz) 1997-2001 közötti öt éves napi adatait veszi figyelembe a vizsgált évek pollinációs időszakában (február 1. – október 31.).

8.1.2. Eredmények

8.1.2.1. Az objektív időjárási típusok jellemzése

A clusteranalízis eredményeként a vizsgált napokat 9 homogén clusterbe soroltuk. A kapott clusterekhez tartozó átlagos tengerszinti légnyomási mezőket, s az egyes clusterek napjainak a havonkénti számát a 16a-b. ábra mutatja.

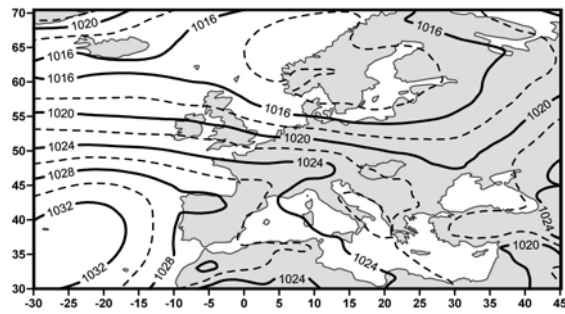
1. *Cluster.* E típus átlagos tengerszinti légnyomási mezejében egy nagy kiterjedésű ciklon található É-Európa fölött, míg az azori barometrikus maximum felől egy gyenge nyúlvány húzódik kelet felé, egészen Svájcig. Ekkor a Kárpát-medence fölött ciklonális hatások érvényesülnek erős széllel, és magas globálsugárzással. Ez egy ciklonális típus, mely az összes vizsgált nap 9,3%-át tartalmazza, s a leggyakrabban februárban, valamint a nyár végén és az ősz elején lép fel. A clusterhez tartozó napok alacsony hőmérséklete visszafogja a pollenszórás, így a pollenkoncentrációja alacsony (Gioulekas et al., 2004a; Rodríguez-Rajo et al., 2004b) (16a. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).

2. *Cluster.* Ezen időjárási típus legmarkánsabb jellemzője egy az azori térség felől ki-nyúló magas nyomású nyelv, amely magába foglalja a Kárpát-medencét. Ez a leggyakoribb típus, az összes vizsgált nap 18,0%-ával rendelkezik. Tipikus anticiklonális időjárási helyzet, a legmagasabb légnyomással és a legalacsonyabb szélsébséggel. Mivel a nyári hónapokban a leggyakoribb, a magas hőmérséklet és globálsugárzás jelentősen hozzájárulnak ahhoz, hogy ebben a clusterben a legmagasabb a pollenkoncentráció (Gioulekas et al., 2004a; Rodríguez-Rajo et al., 2004b; Makra és Matyasovszky, 2011c) (16a. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).

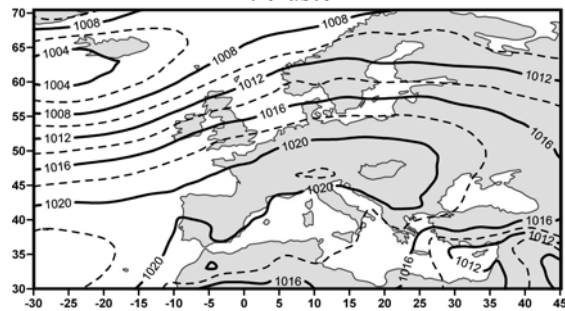
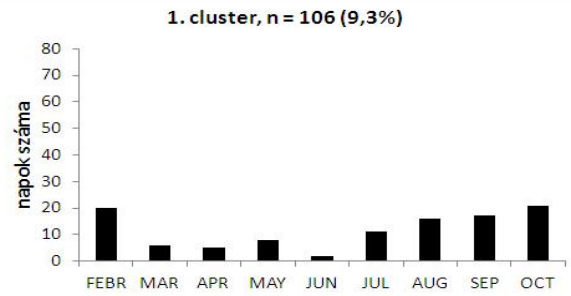
3. *Cluster.* Közép- és K-Európa fölött frontmentes viszonyok uralkodnak, ugyanakkor az azori barometrikus maximum egy gyenge, ám kiterjedt nyúlvány eléri a Kárpát-medencét. Ez egy anticiklon peremhelyzet, s a második leggyakoribb típus, az összes vizsgált nap 16,4%-ával. Fennállásakor a legnagyobb a borultság és a relatív nedvesség. Mindkét paraméter, továbbá az alacsony hőmérséklet is mérsékli a pollenszórás intenzitását, ugyanakkor leginkább nyári napok tartoznak ebbe a csoportba májustól szeptemberig – a pollenkoncentrációja közepes (16a. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).

4. *Cluster.* E típus napjait (13,0%) erőteljes zonális nyugati áramlás jellemzi a mérsékelt övi szélességek felett, mely uralja a Kárpát-medence időjárását. Mivel zömében nyári napokat tartalmaz, a hőmérsékleti paraméterek ekkor a legmagasabbak. Továbbá ebben a clusterben a legmagasabb a szélsébség és a légnedvesség paraméterek értéke, összhangban a cluster ciklonális jellegével. A magas szélsébség számottevően megnövelheti a nagy távolságú transzport révén érkező pollen arányát (Makra et al., 2004; 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2010b). Továbbá a magas hőmérséklet és globálsugárzás (Makra et al., 2004; Gioulekas et al., 2004a; Rodríguez-Rajo et al., 2004a; 2004b; Makra és Matyasovszky, 2011c) szintén a magasabb pollenkoncentrációknak kedvez (16a. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).

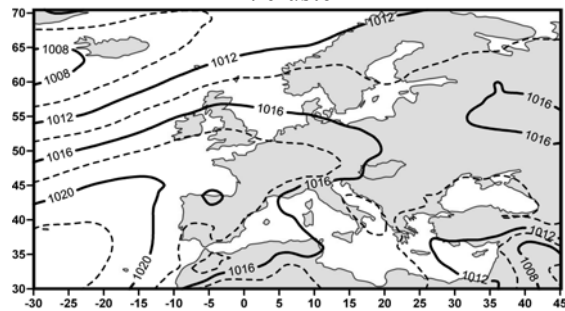
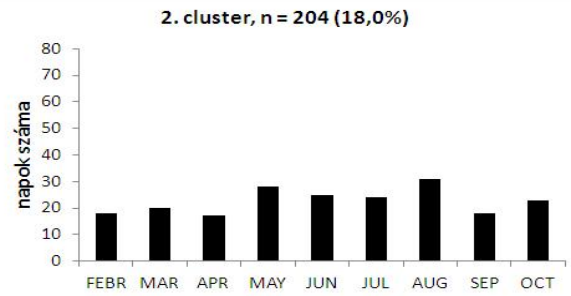
5. *Cluster.* Az összes vizsgált nap 12,3%-át tartalmazza, nagyjából egyenletes havi eloszlással és szeptemberi maximummal. É-Európa kivételével az egész kontinenst egy rendkívül fejlett magas légnyomású képződmény borítja, melynek csekély kiterjedésű centruma Közép-Európa fölött található, magába foglalva a Kárpát-medencét. Ebben a clusterben a legnagyobb a globálsugárzás, ám alacsony a pollenkoncentráció, ami arra utal, hogy a pollenszórásnak a hőmérséklethez képest kevésbé fontos indikátora a globálsugárzás (Gioulekas et al., 2004a; Rodríguez-Rajo et al., 2004a; 2004b; Makra és Matyasovszky, 2011c) (16b. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).



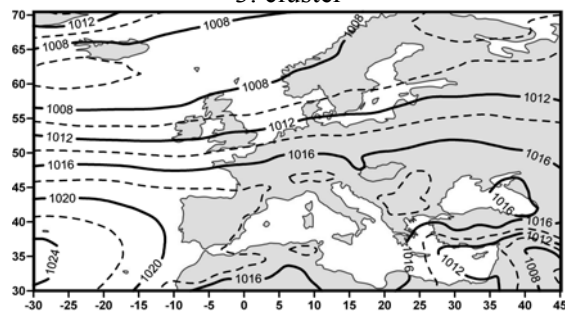
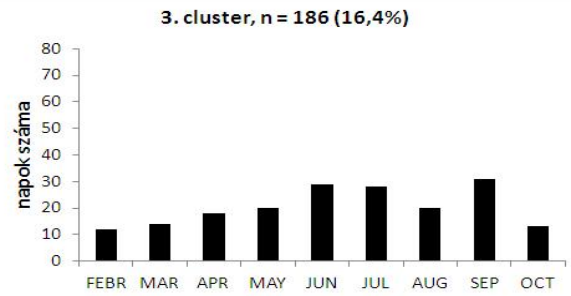
1. cluster



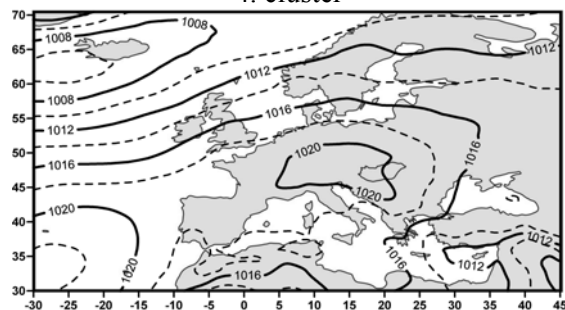
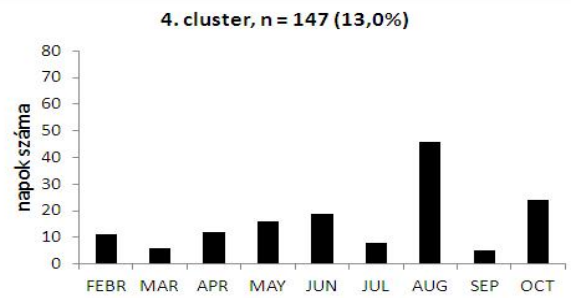
2. cluster



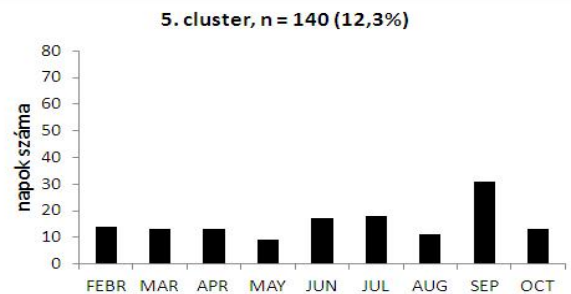
3. cluster



4. cluster

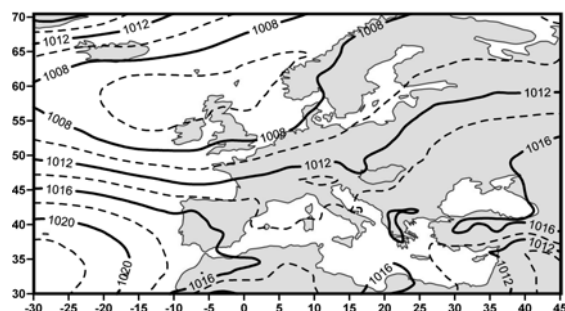


5. cluster

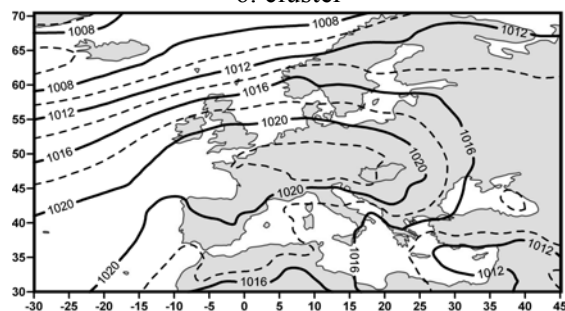
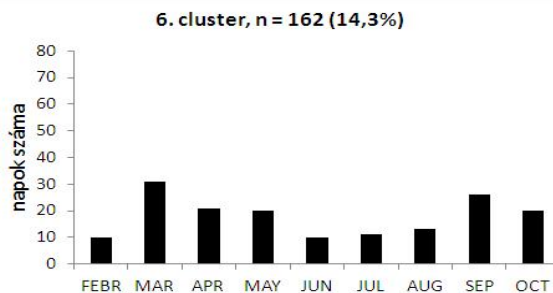


16a. ábra

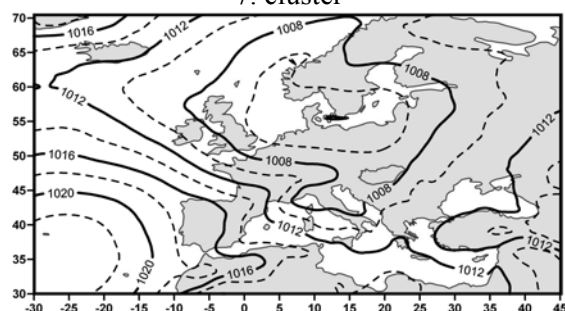
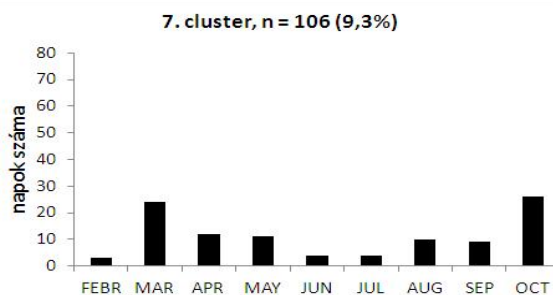
Az objektív időjárási típusok (clusterek) átlagos tengerszintű légnyomási mezői, valamint az azokhoz tartozó napok számának havi gyakoriságai, Észak-atlanti-európai térség, 1997-2001, február 1. – október 31.



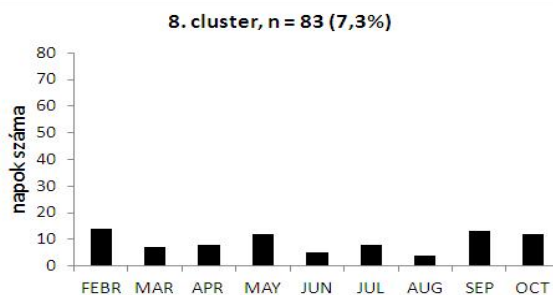
6. cluster



7. cluster



8. cluster



16b. ábra

Az objektív időjárási típusok (cluster) átlagos tengerszinti légnyomási mezői, valamint az azokhoz tartozó napok számának havi gyakoriságai, Észak-atlanti-európai térség, 1997-2001, február 1. – október 31.

6. cluster. E típus az összes vizsgált nap 14,3%-át teszi ki. Fennállásakor zonális nyugati áramlás jellemző a közepes szélességek fölött, amely meghatározza a Kárpát-medence időjárását. Ez egy tipikus ciklonális helyzet. Jellemzőből adódóan erős szelek jellemzik és magasak a légnedvesség paraméterek értékei. Ebben a makrotípusban a második legmagasabb az átlagos napi pollenkoncentráció, ami inkább a magas hőmérséklettel, semmint az átlagosnál alig magasabb globálsugárzással hozható kapcsolatba (Gioulekas et al., 2004a; Makra et al., 2004; Rodríguez-Rajo et al., 2004a; Makra és Matyasovszky, 2011c; 4. táblázat). Másrészt az ebbe a clusterbe tartozó napok havi gyakorisági eloszlása kora tavaszi és kora őszi maximumot mutat, ami szintén előnyös a magas pollenkoncentráció létrejöttéhez (16b. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).

7. cluster. Az azori barometrikus maximum széles sávban kelet felé húzódik és É-Európa kivételével uralja a kontinentst. Tipikus anticiklonális időjárási helyzet, mely márciusban és októberben a leggyakoribb. Ez a típus az összes vizsgált nap 9,3%-át tartalmazza. Jóllehet a globálsugárzás magas, azonban a hőmérsékleti és légnedvesség paraméterek ebben a clusterben a legalacsonyabbak. Ebben az időjárási típusban a legalacsonyabb a pollenkoncentráció, ami az itteni legalacsonyabb hőmérsékletekre vezethető vissza (Makra et al., 2006b; Makra és Matyasovszky, 2011c) (16b. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).

8. *cluster*. Fennállásakor egy kiterjedt alacsony nyomású képződmény uralja a kontinentst az Ibériai-félsziget és DK-Európa kivételével. Ez a Kárpát-medence szempontjából egy ciklon centrum helyzetnek tekinthető. Igen ritka típus, az összes vizsgált nap 7,3%-át tartalmazza. A legalacsonyabb légnyomás és a legnagyobb szélsősebesség tartozik hozzá. Továbbá fennállásakor alacsony a globálsugárzás és a hőmérséklet, melyek – különösen az utóbbi – az e típusban mért alacsony pollenkoncentráció legfontosabb meteorológiai prediktorai (Gioulekas et al., 2004a; Makra et al., 2004; Rodríguez-Rajo et al., 2004a; 2004b; Makra és Matyasovszky, 2011c) (16b. ábra; 6-7. ábra; 4. táblázat).

4. táblázat

A vizsgált meteorológiai elemeknek és a taxonok pollenszámainak (pollenszem / m³ levegő)
a kapott 8 cluster napjaihoz tartozó átlagértékei, február 1 – október 31, 1997-2001
(**vastag**: maximum; *dőlt*: minimum)

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8
esetszám (nap)	106	204	186	147	140	162	106	83
gyakoriság (%)	9,3	18,0	16,4	13,0	12,3	14,3	9,3	7,3
T _{mean} (°C)	13,4	18,5	14,5	21,4	13,9	18,6	<i>10,0</i>	14,1
T _{max} (°C)	18,7	24,0	18,3	27,4	19,3	24,6	<i>14,9</i>	18,2
T _{min} (°C)	6,8	11,7	10,5	12,0	7,6	11,8	3,8	7,9
ΔT= T _{max} – T _{min} , (°C)	11,9	12,3	7,8	15,3	11,7	12,7	11,0	10,3
WS (m·s ⁻¹)	1,0	<i>0,9</i>	1,0	1,0	<i>0,9</i>	1,0	<i>0,9</i>	1,0
RH (%)	70,7	68,8	80,5	57,8	70,8	71,4	<i>56,0</i>	78,6
I (W·m ⁻²)	272,8	238,8	<i>128,8</i>	225,2	286,7	223,4	256,1	130,0
E (hPa)	17,5	23,2	18,0	27,9	17,7	23,2	<i>13,8</i>	17,8
VP (hPa))	11,8	15,5	14,1	15,2	12,2	15,9	7,6	13,4
PE (mm)	3,2	4,3	2,5	6,3	3,1	4,1	3,2	2,7
T _d (°C)	8,1	12,5	11,1	12,5	8,7	13,2	<i>1,5</i>	10,3
P (hPa)	996,0	1009,0	1002,1	1000,6	1007,0	996,7	1007,5	<i>987,5</i>
<i>Acer</i>	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	2,1	0,7	<i>0,1</i>
<i>Alnus</i>	0,2	6,3	0,7	2,3	<i>0,2</i>	3,2	1,0	2,8
<i>Ambrosia</i>	36,7	51,7	49,4	43,3	26,1	38,4	<i>22,0</i>	32,5
<i>Artemisia</i>	3,6	4,7	2,3	8,1	2,0	2,3	2,7	<i>1,6</i>
<i>Betula</i>	<i>1,2</i>	4,0	2,6	4,0	1,3	6,8	4,4	2,1
<i>Cannabis</i>	1,2	1,2	1,1	1,7	1,0	<i>0,7</i>	0,9	1,0
<i>Carpinus</i>	<i>0,4</i>	1,0	1,0	0,8	1,4	6,2	1,1	1,0
Chenopodiaceae	4,1	5,2	3,6	6,8	2,9	2,2	2,2	<i>1,9</i>
<i>Corylus</i>	<i>0,3</i>	3,5	<i>0,3</i>	3,3	0,4	3,1	0,8	1,1
<i>Fraxinus</i>	1,3	0,7	0,5	0,8	<i>0,3</i>	1,1	1,8	<i>0,3</i>
<i>Juglans</i>	0,7	1,6	0,5	0,7	0,6	1,3	<i>0,1</i>	1,0
<i>Morus</i>	0,9	4,5	0,6	1,7	0,4	5,4	<i>0,1</i>	3,2
<i>Pinus</i>	1,1	2,8	1,3	2,9	<i>0,8</i>	1,6	2,9	3,4
<i>Plantago</i>	0,4	1,7	1,2	1,7	1,1	0,6	<i>0,3</i>	0,4
<i>Platanus</i>	1,6	0,5	0,8	0,9	0,9	1,8	<i>0,0</i>	3,0
Poaceae	6,1	13,7	9,0	9,2	8,3	8,3	7,2	5,5
<i>Populus</i>	1,3	6,2	1,3	2,0	2,5	18,4	2,7	<i>0,3</i>
<i>Quercus</i>	<i>0,5</i>	1,5	0,8	<i>0,5</i>	1,3	2,0	0,6	1,0
<i>Rumex</i>	<i>0,5</i>	2,4	2,1	1,3	2,0	1,0	<i>0,5</i>	0,8
<i>Salix</i>	0,9	1,3	1,1	0,9	0,7	3,8	2,7	<i>0,1</i>
<i>Taxus</i>	<i>0,3</i>	2,3	0,3	1,6	0,5	2,1	0,4	0,6
<i>Tilia</i>	<i>0,1</i>	1,2	0,9	0,4	0,7	0,6	0,3	<i>0,1</i>
<i>Ulmus</i>	<i>0,2</i>	1,4	0,6	1,3	0,6	1,5	1,2	0,7
<i>Urtica</i>	3,9	11,8	5,6	8,3	6,3	3,8	3,6	<i>2,4</i>
átlagos pollenszám	2,8	5,5	3,7	4,4	2,6	4,9	2,5	2,8

8.1.2.2. ANOVA statisztikák

A pollenkoncentrációk napi átlagértékei objektív időjárási típusok közötti eltéréseinek szignifikancia vizsgálatát az ANOVA segítségével végeztük el. Az alkalmazott teszt alapján a vizsgált 24-ből mindössze 14 taxon (*Acer*, *Alnus*, *Artemisia*, *Carpinus*, *Chenopodiaceae*, *Corylus*, *Juglans*, *Morus*, *Platanus*, *Poaceae*, *Populus*, *Salix*, *Taxus* és *Urtica*) átlagos napi pollenszámai mutattak Péczely-típuspárok közötti szignifikáns eltérést legalább a 95%-os valószínűségi szinten. Ezért ezt követően a Tukey-féle post-hoc tesztet hajtottuk végre külön-külön ezen 14 taxon mindegyikére annak megállapítására, hogy azok objektív időjárási típusok szerinti átlagos napi pollenkoncentrációi konkrétan mely típuspárok között mutatnak szignifikáns eltérést. (Ha az ANOVA alkalmazásakor teljesül a 0-hipotézis, akkor a Tukey tesztet nincs értelme elvégezni.)

A statisztikailag szignifikáns eltéréseket az 5. táblázat mutatja a 95%-os, illetve a 99%-os valószínűségi szinteken. Az eredmények alapján nincs két olyan típus, amelyre mind a 14 taxon pollenkoncentrációinak napi átlagértékei szignifikáns eltérést mutatnának. Megállapíthatjuk azonban, hogy az időjárási típusok páronkénti összehasonlításaiban számos taxon napi átlagos pollenkoncentrációi szignifikánsan eltérnek egymástól. Az egyes típuspárok közötti különbségek a fenti eltérések gyakoriságaiban nem jelentősek, mégis azokat az alábbi módon csoportosítottuk: a) legnagyobb eltérés (5-6 taxon napi átlagos pollenkoncentrációiban): hat típuspár (2.-3., 2.-5., 2.-6., 2.-7. és 2.-8. típuspárokra 6-6 taxon, míg a 4.-6. típuspárra 5 taxon); b) közepes eltérés (3-4 taxon átlagos pollenkoncentrációiban): öt típuspár (1.-2. és 6.-7. típuspárokra 4 taxon, míg a 3.-6., 5.-6. és 6.-8. típuspárokra 3 taxon); c) legkisebb eltérés (0-2 taxon napi átlagos pollenkoncentrációiban): a maradék párosításokkal. Ez utóbbi típusok a leginkább hasonlóak. Másrészt sorrendben a 2., 6. és 4. típus a legjellegzetesebb, azaz a többitől a leginkább különböző, a napi átlagos pollenkoncentrációiknak a többi típuséitól való legtöbb – rendre 35, 26, illetve 16 – szignifikáns eltéréssel (5. táblázat) (Makra et al., 2006b).

8.1.3. Következtetések

E fejezetben 24 taxon pollenkoncentrációit vizsgáltuk Szegeden az Észak-atlanti-európai térségre meghatározott objektív időjárási típusokkal összefüggésben. Vizsgálataink során azt kaptuk, hogy sorrendben a 2., 6. és 4. típus a legjellegzetesebb a napi átlagos pollenkoncentrációk osztályozásában.

Eredményeink feltárták, hogy a pollenkoncentráció akkor magas [2. típus (anticiklonális helyzet) és 6. típus (ciklonális helyzet)], ha magas a hőmérséklet (16a-b. ábra; 4. táblázat), mely a pollenkoncentrációnak a meteorológiai paraméterek közül a legfontosabb prediktora (Makra és Matyasovszky, 2011c). A 6. clusterben a magas szélességnek akkor lehet pozitív hatása a pollenszámokra, ha a nagy távolságból érkező légáramlások a pollenben gazdag forrásterületükről, vagy ilyen térségek fölött áthaladva nagy mennyiségű pollent szállítanak a célterület fölé (Makra et al., 2004; 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2010b). Jóllehet a 6. clusterben magasak a légnedvesség paraméterek értékei, mégis magas a pollenkoncentráció, mivel előfordulása általában a magas pollenszórás napjaihoz kötődik. Másrészt az alacsony pollenkoncentrációkhoz tartozó légnyomási rendszerek, azaz az 5. típus (anticiklon centrum helyzet) és a 7. típus (anticiklonális helyzet) fennállásakor alacsony a hőmérséklet. Mivel a pollenkoncentráció a hőmérséklettel arányosan változik (Makra és Matyasovszky, 2011c), a hőmérséklet alacsony értékei jól magyarázzák e cluster alacsony pollenszámainak. A fentiek alapján az objektív időjárási típusok légnyomási rendszerei önmagukban nem, csak a hozzájuk tartozó meteorológiai elemek, illetve a pollenszezonon belüli előfordulásuk révén magyarázzák átlagos pollenszámaikat (16a-b. ábra; 4. táblázat) (Makra et al., 2006b).

5. táblázat

Objektív időjárás típus – pollenkoncentráció differencia mátrix. Minden egyes mátrix cellában két időjárás típus hasonlított össze. A mátrix cellákban található taxonok pollenkoncentrációi szignifikánsan eltérnek egymástól az adott két objektív időjárás típus között a Tukey-féle tesztek alapján (normál karakter: az eltérés a 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns; **bold karakter**: az eltérés a 99%-os valószínűségi szinten szignifikáns), 1997-2001, február 1. – október 31.

1	Al Co Ta Ur							
2		2						
3		Al Ch Co Ta Ur						
4			3					
5				4				
6	Ac Pop	Ac Car Ch Ar Pop Ur	Ac Car Pop	Ac Car Ch Ar Pop	Ac Pop			
7	Plat	Al Co J M Ta Ur	Can	Ch Ar	S	6	Ac Car M Pop	
8		Ar Ch Plat Poa Ta Ur	Plat	Ch Ar			7	Ac Pop S Plat

Ac = *Acer*; Al = *Alnus*; Ar = *Artemisia*; Car = *Carpinus*; Ch = *Chenopodiaceae*; Co = *Corylus*; J = *Juglans*; M = *Morus*; Plat = *Platanus*; Poa = *Poaceae*; Pop = *Populus*; S = *Salix*; Ta = *Taxus*; Ur = *Urtica*

8.2. A napi átlagos pollenkoncentrációk Péczely-féle szubjektív időjárás típusok szerinti osztályozása

8.2.1. Bevezetés

E fejezet célja, hogy megbecsüljük a Péczely-féle szubjektív tipizálási rendszer (Péczely, 1957; 1961; 1983; lásd: Függelék) jóságát a napi átlagos pollenszámok osztályozásában. Mindeddig nem tanulmányozták a Péczely-féle időjárás típusok hatékonyságát a pollenkoncentrációk feldúsulásában, illetve felhígulásában. Az ilyen irányú kutatások gyakorlati jelentőségét az adja, hogy a globális fölmelegedéssel összefüggésben világméretben terjedő pollenallergia fokozott igényt támaszt a pollenkoncentrációk előrejelzése iránt. A különböző szubjektív makrotípusokhoz tartozó napi átlagos pollenszámok előrejelzése a pollinációs időszakban elősegítheti a pollenérzékeny egyének fölkészülését a szélsőséges pollenszórás időszakaira.

Mindegyik Péczely-féle makroszinoptikus típusra meghatározzuk a napi átlagos pollenkoncentrációkat azon célból, hogy feltárjuk azok lehetséges kapcsolatait az uralkodó légköri feltételekkel, s az átlagos tengerszinti légnyomási mezők térbeli eloszlásával.

Ebben a fejezetben is a 8.1. fejezetben említett 12 meteorológiai elem (lásd: 3.2.1. szakasz) és 24 taxon (lásd: 3.2.2. szakasz) 1997-2001 közötti ötéves napi adatait elemezzük a vizsgált évek pollinációs időszakában (február 1. – október 31.).

8.2.2. Eredmények

8.2.2.1. A Péczely-féle szubjektív időjárás típusok jellemzése

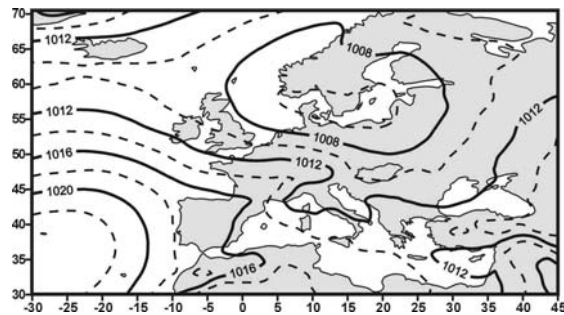
A 13 Péczely-féle makroszinoptikus helyzet (Péczely, 1957; 1961; 1983; lásd: Függelék) átlagos tengerszinti légnyomási mezői, valamint az egyes típusok előfordulási gyakoriságai a vizsgált időszakra vonatkozóan a 17a-c. ábrán láthatók.

1. *típus (mCc)*: Egy kiterjedt alacsony légnyomású rendszer jellemzi, melynek központja É-Európa és a Baltikum fölött helyezkedik el. Ez az időjárás helyzet szeles, változékony időt okoz a Kárpát-medencében. Fennállásakor hidegfrontok haladnak át a Magyarország fölött. Az összes vizsgált nap 14,6%-át tartalmazza, s e típus előfordulásakor magasak a szélsébség, a hőmérsékleti, valamint a légnedvesség paraméterek értékei, ugyanakkor a légnyomás alacsony (17a. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

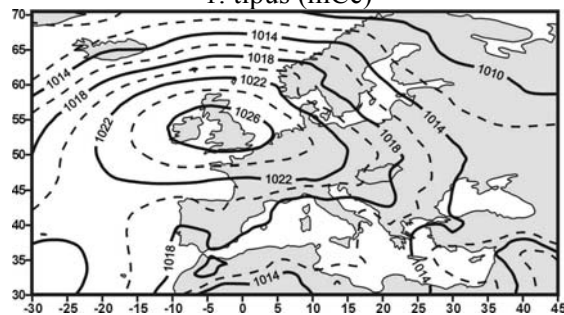
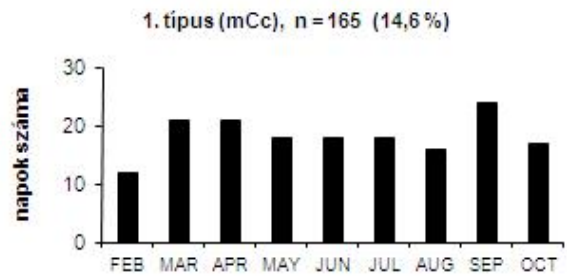
2. *típus (AB)*: Egy erősen fejlett anticiklon található centrumával a Brit-szigetek fölött. Mivel blokkolja a zonális áramlásokat, ez a típus kedvez a meridionális északias légáramlásoknak a Kárpát-medence fölött. Ez a típus a vizsgált időszakban főként nyáron gyakori, s magas légnyomással jár a Kárpát-medencében. Az összes vizsgált nap 8,1%-án fordul elő (17a. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

3. *típus (CMc)*: Ez a típus az összes vizsgált nap mindössze 1,0%-át teszi ki, s szeptemberben és októberben egyáltalán nem fordul elő. E típus esetén ciklonpályák keresztezik a Kárpát-medencét. A hőmérsékleti paraméterek, a telítettségi gőznyomás és a potenciális párolgás e típus fennállásakor a legalacsonyabb (17a. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

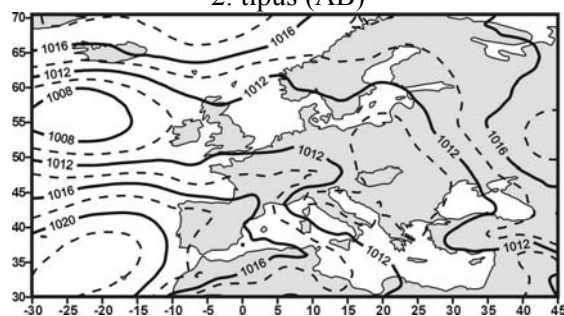
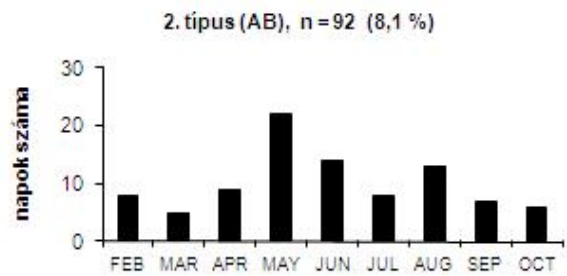
4. *típus (mCw)*: Egy a centrumával É-ÉNy-Európa fölött található ciklon hatására hideg légáramlatok haladnak át a Kárpát-medence fölött. Ez a típus tavasszal és ősszel meghatározó, az összes vizsgált nap 6,0%-án fordul elő (17a. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).



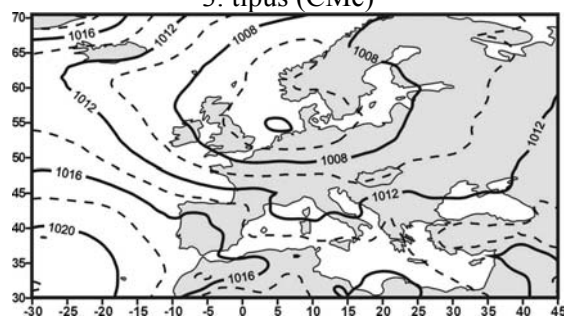
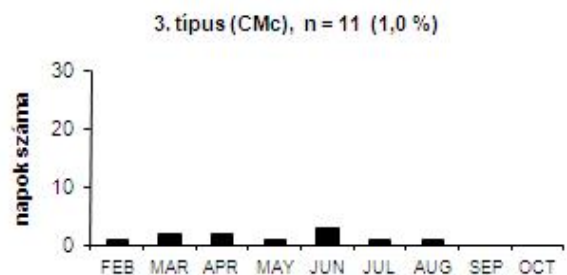
1. típus (mCc)



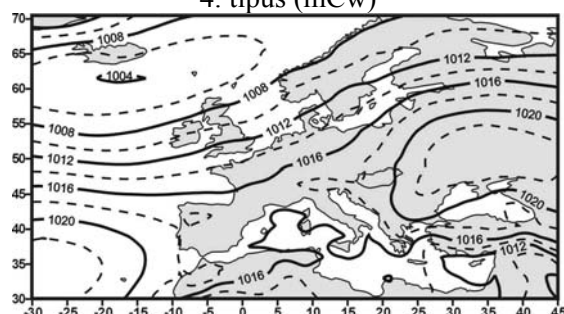
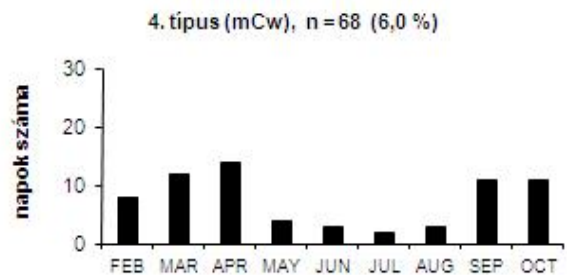
2. típus (AB)



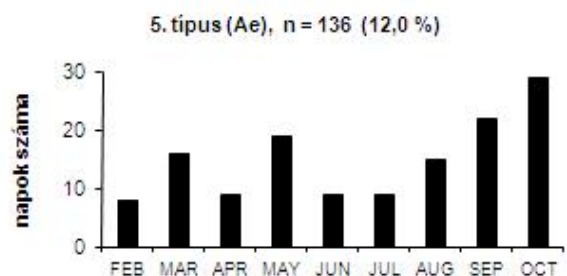
3. típus (CMc)



4. típus (mCw)

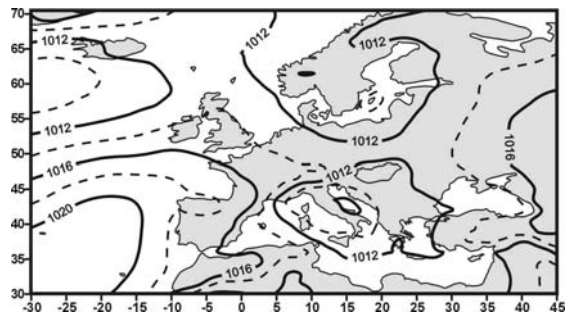


5. típus (Ae)

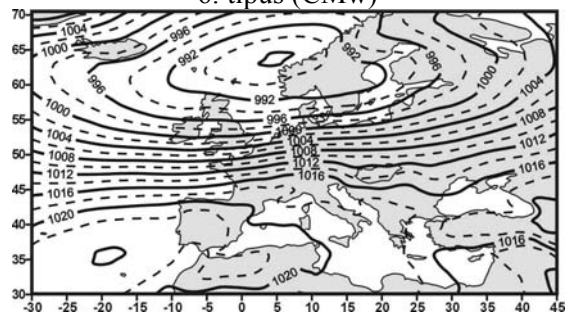
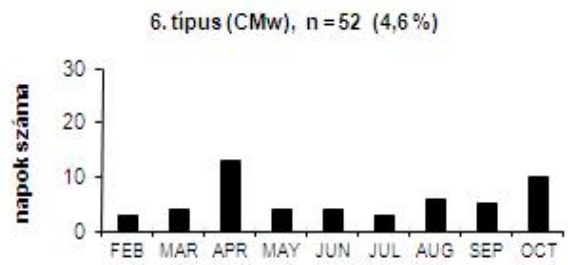


17a. ábra

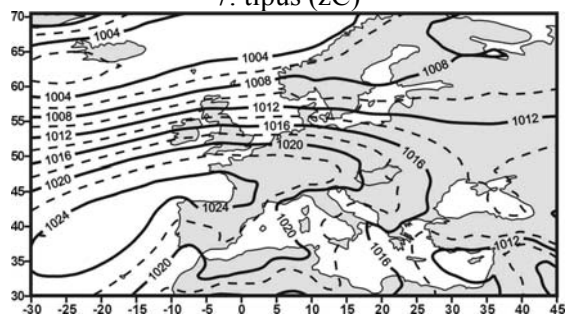
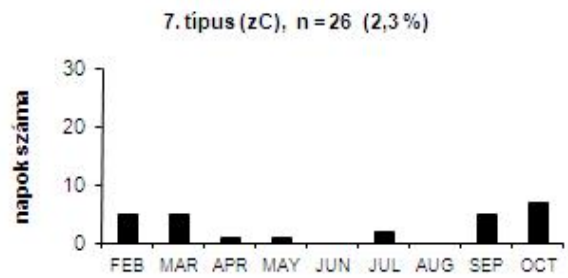
A Péczely-féle szubjektív időjárás-típusok átlagos tengerszinti légnyomási mezői, valamint az azokhoz tartozó napok számának havi gyakoriságai, Észak-atlanti-európai térség, 1997-2001, február 1. – október 31.



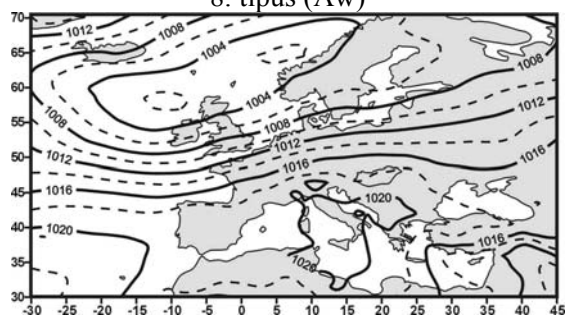
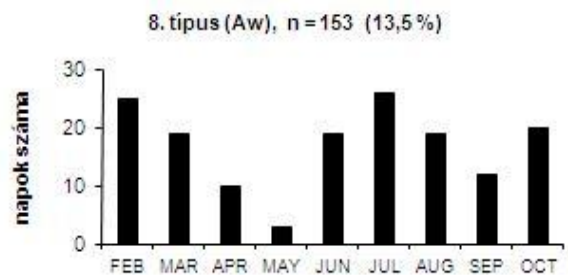
6. típus (CMw)



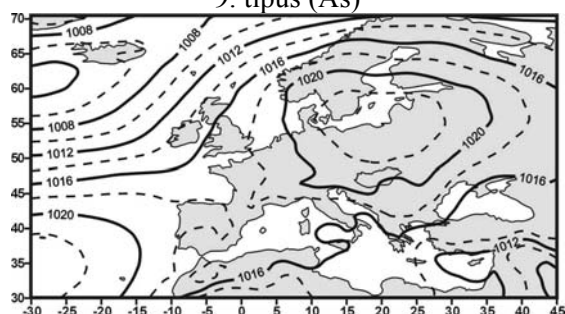
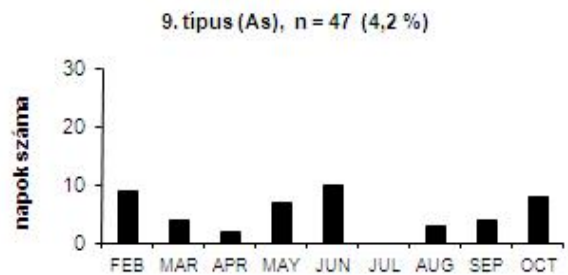
7. típus (zC)



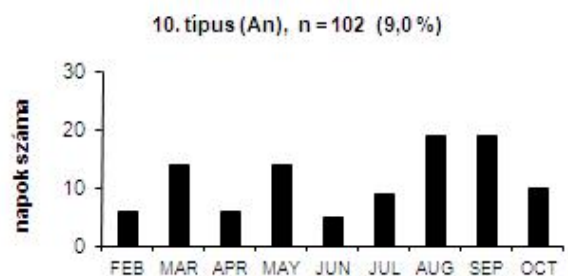
8. típus (Aw)



9. típus (As)

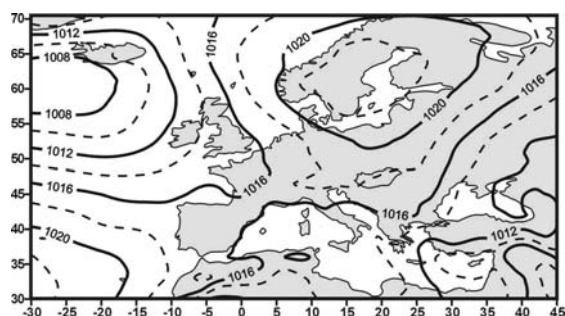


10. típus (An)

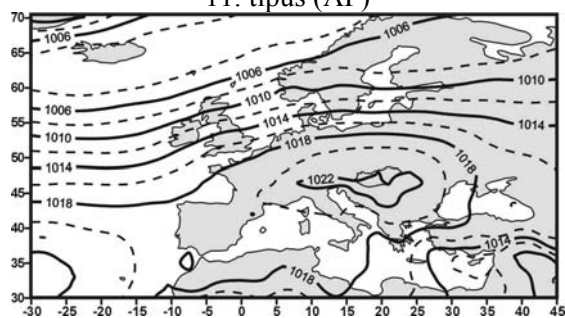
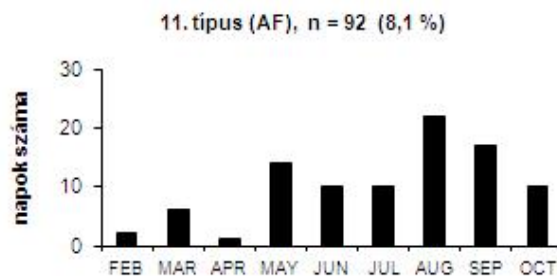


17b. ábra

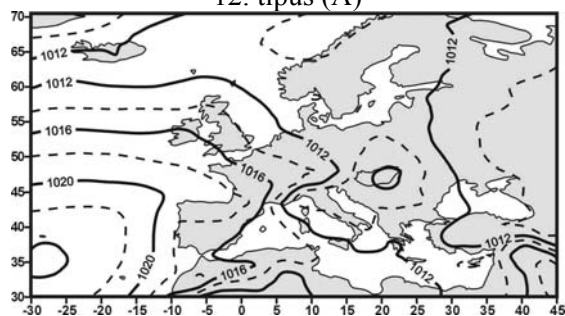
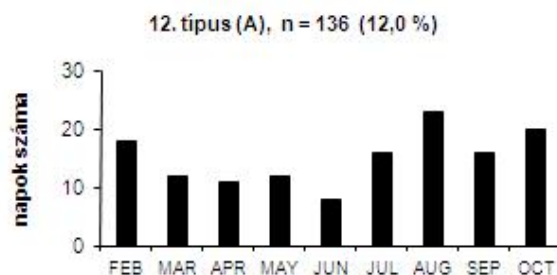
A Péczely-féle szubjektív időjárás-típusok átlagos tengerszintű légnyomási mezői, valamint az azokhoz tartozó napok számának havi gyakoriságai, Észak-atlanti-európai térség, 1997-2001, február 1. – október 31.



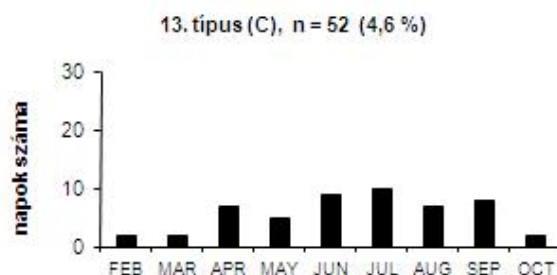
11. típus (AF)



12. típus (A)



13. típus (C)



17c. ábra

A Péczely-féle szubjektív időjárási típusok átlagos tengerszinti légnyomási mezői, valamint az azokhoz tartozó napok számának havi gyakoriságai, Észak-atlanti-európai térség, 1997-2001, február 1. – október 31.

5. típus (Ae): Légnyomási rendszerében egy markáns anticiklon található a centrumával Ukrajna fölött, mely déli-délkeleti légáramlást okoz a Kárpát-medencében. E a típus az összes vizsgált nap 12,0%-át teszi ki. Magyarország szempontjából ez egy anticiklon peremhelyzet, csupán enyhe szelek jellemzik. A középhőmérséklet, a maximum hőmérséklet és a telítettségi gőznyomás e típusban veszi föl a legmagasabb értékét (17a. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

6. típus (CMw): Az összes vizsgált nap 4,6%-án fordul elő, leggyakoribb áprilisban és októberben. A Kárpát-medence fölötti légáramlatokat egy a centrumával az Appennini-félsziget fölött elhelyezkedő ciklon irányítja, melynek melegfrontja áthalad a térségünk fölött. E típusra erős szelek a jellemzők, s ekkor a legalacsonyabb a globálsugárzás ($135,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) (17b. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

7. típus (zC): Ez egy tipikus tavaszi és őszi helyzet, esetleges nyári előfordulásokkal. A mérsékelt öv középső részén igen magas a légnyomási gradiens. E típus fennállásakor gyors ciklonok haladnak át a Kárpát-medence fölött. Változékony időjárás jellemzi, a meteorológiai paraméterek átlagos értékeket vesznek fel, viszont a légnyomás e típusban a második legalacsonyabb (17b. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

8. típus (Aw): Legmarkánsabb képződménye egy erősen fejlett anticiklon DNy-Európa fölött, centrumával az Ibériai-félszigettől nyugatra. Ez a típus a második leggyakoribb, az

összes vizsgált nap 13,5%-ával. A meteorológiai változók közül a hőmérsékleti paraméterek alacsonyok, míg szélsébség átlagos (17b. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

9. típus (As): Egy fejlett alacsony nyomású képződmény jött létre az Atlanti-óceán északkeleti medencéjében. Ennek ellenére a Kárpát-medence időjárását alapvetően egy a Mediterráneum fölött található barometrikus maximum befolyásolja, melynek északi pereme érinti Magyarországot. Az összes vizsgált nap 4,2%-án fordul elő, s a leggyakoribb februárban, májusban, júniusban és októberben. Középhőmérséklete és maximum hőmérséklete magasabb, mint a 8. típusban, a napi hőmérsékleti terjedelem a második legmagasabb (13,4°C), viszont a szélsébség a második legalacsonyabb (0,8 m·s⁻¹) (17b. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

10. típus (An): Egy fejlett anticiklon található centrumával a Baltikum és Lengyelország fölött, mely kiterjed Közép- és K-Európa fölé. Ez a típus az összes vizsgált nap 9,0%-át teszi ki. A meteorológiai elemek szélsőértékektől mentesek (17b. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

11. típus (AF): Tengerszinti légnyomási térképén két jellegzetes képződmény található: egyrészt egy anticiklon, centrumával a Skandináv-félsziget és a Baltikum fölött, másrészt pedig egy a centrumával Izlandtól délnyugatra elhelyezkedő barometrikus minimum. Közülük az észak-európai anticiklon kiterjed Közép- és K-Európa fölé. Ez a típus februárban, márciusban és áprilisban nem jellemző, s az összes vizsgált nap 8,1%-át tartalmazza. A középhőmérséklet ekkor a legmagasabb (17,8°C), a globálsugárzás pedig a harmadik legmagasabb (242,8 W·m⁻²) (17c. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

12 típus (A): Egy anticiklon tartózkodik centrumával a Kárpát-medence fölött. Zavartalan besugárzás jellemzi. Ez a harmadik leggyakoribb típus, mely az összes vizsgált nap 12,0%-án fordul elő. Ebben a típusban a legmagasabb a napi hőmérsékleti terjedelem (13,7°C), a globálsugárzás (258,9 W·m⁻²) és a légnyomás (1006,9 mb), továbbá a legalacsonyabb a szélsébség (0,7 m·s⁻¹) és a relatív nedvesség (64,3%) (17c. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat).

13 típus (C): Az ehhez a típushoz tartozó ciklon többnyire a Mediterráneumból, a Genovai-öböl térségéből származik, s onnan érkezik a Kárpát-medence fölé. Az összes vizsgált nap 4,6%-át teszi ki, s késő tavasszal és nyáron a leggyakoribb. E típus fennállásakor legmagasabb a minimum hőmérséklet (12,6°C), a szélsébség (1,2 m·s⁻¹), a relatív nedvesség (79,9%), a gőznyomás (16,1 hPa) és a harmatpont hőmérséklet (13,6°C) (17c. ábra; 6-7. ábra; 6. táblázat) (Péczy, 1957; 1983; Károssy, 1987; 2004; Makra et al., 2007c).

8.2.2.2. ANOVA statisztikák

A pollenkoncentrációk napi átlagértékei Péczy-féle időjárási típuspárok közötti eltéréseinek szignifikancia vizsgálatát az ANOVA segítségével hajtottuk végre. Eredményül azt kaptuk, hogy a vizsgált 24-ből mindössze 11 taxon (*Acer*, *Ambrosia*, *Artemisia*, *Betula*, *Carpinus*, *Corylus*, *Platanus*, *Poaceae*, *Salix*, *Ulmus* és *Urtica*) átlagos napi pollenszámai mutattak Péczy-típuspárok közötti szignifikáns eltérést legalább a 95%-os valószínűségi szinten. Ezután a Tukey tesztet alkalmaztuk ezen 11 taxon Péczy típusok szerinti napi átlagos pollenszámaira annak kiderítésére, hogy a napi átlagos pollenkoncentrációk konkrétan mely típuspárok között jeleznek lényeges eltérést.

A statisztikailag szignifikáns eltérések a 7. táblázatban találhatók. A Tukey-féle tesztet elvégezve azt kaptuk, hogy nincs két olyan szubjektív típus amelyekre a napi átlagos pollenkoncentrációk eltérései mind a 11 vizsgált taxon esetében szignifikánsak lennének. A 4. és a 7. szubjektív típusok a leginkább karakteresek, hiszen átlagos pollenkoncentrációikat az összes többi típuséival összehasonlítva, az ő esetükben kapjuk a legtöbb, rendre 34, illetve 22 szignifikáns eltérést (7. táblázat).

Az összes szubjektív típuspár 35,9%-ában egy vagy több taxon pollenkoncentrációi számottevően eltérnek egymástól. Ugyanakkor 50 típuspár esetében (az összes típuspár

64,1%-a) egyetlen taxon napi átlagos pollenszámaiban sincs szignifikáns különbség (17a-c. ábra; 7. táblázat; Makra et al., 2007c).

8.2.3. Következtetések

E fejezetben a Péczely-féle szubjektív időjárás-típusok szerepét vizsgáltuk 24 taxon napi átlagos pollenkoncentrációinak osztályozásában.

Azt kaptuk, hogy nincs két olyan szubjektív típus amelyekre a napi átlagos pollenkoncentrációk eltérései mind a 11 vizsgált taxon esetében szignifikánsak lennének. A 4. és a 7. *szubjektív típusok* a leginkább karakteresek, az átlagos pollenkoncentrációik típuspárok szerinti legtöbb szignifikáns eltéréssel. Továbbá az összes típuspár 64,1%-ában egyetlen taxon napi átlagos pollenszámaiban sincs szignifikáns különbség (7. táblázat).

A magas pollenkoncentrációk [11. (AF) *típus*, anticiklon peremhelyzet és 13. (C) *típus*, ciklon centrum helyzet] a szubjektív típusoknál is magas hőmérsékletekhez köthetők (17c. ábra; 6. táblázat). Az előbbi típusban magas a globálsugárzás, míg az utóbbiban alacsony. A globálsugárzás szerepe a csapadékos napokon a legjelentősebb a napi pollenszámok alakításában (Makra és Matyasovszky, 2011c). A 11. (AF) *típusra* a várt eredményt kaptuk, azonban a 13. (C) *típus* szerepe ellentétes a várakozásainkkal. Megjegyzendő, hogy mindkét típus nyáron és kora ősszel a leggyakoribb, amikor általában magasak a pollenkoncentrációk. Ezzel magyarázhatók a magas légnedvesség paraméterek által is jellemzett gyakran csapadékos 13. (C) *típus* magas pollenszámai (17c. ábra). A legalacsonyabb pollenkoncentrációk a 6. (CMw) és a 7. (zC) *típushoz* (mindkettő ciklonális helyzet) kapcsolhatók. Mindkét típus alkalmával alacsony a hőmérséklet, továbbá nagy a borultság és gyakori a csapadék. Emellett igen ritkán fordulnak elő a május-szeptember közötti időszakban, sőt ekkor a 7. (zC) *típus* bekövetkezése elhanyagolható, amelyek együttesen indokolják a fellépésükkor tapasztalt igen alacsony pollenkoncentrációkat (17b. ábra; 6-8. ábra; 6. táblázat) (Péczely, 1957; 1961; 1983; Makra et al., 2007c).

6. táblázat

A vizsgált meteorológiai elemeknek és a taxonok pollenszámainak (pollenszem / m³ levegő) a 13 Péczely-féle időjárási típus napjaihoz tartozó átlagértékei, február 1 – október 31, 1997-2001 (**vastag:** maximum; *dőlt:* minimum)

Péczely-típus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
esetszám (nap)	164	92	<i>11</i>	68	138	52	26	153	48	102	91	138	51
gyakoriság (%)	14,5	8,1	<i>1,0</i>	6,0	12,2	4,6	2,3	13,5	4,2	9,0	8,0	12,2	4,5
T _{mean} (°C)	16,7	15,5	<i>12,8</i>	13,5	17,8	13,8	15,7	15,3	15,9	15,5	17,8	16,1	17,3
T _{max} (°C)	21,6	20,3	<i>17,5</i>	18,4	23,6	17,8	21,4	20,2	21,8	20,6	22,9	22,1	21,5
T _{min} (°C)	10,0	9,2	7,9	7,7	10,4	9,6	10,3	9,5	8,4	9,6	10,5	8,4	12,6
ΔT=T _{max} -T _{min} °C	11,6	11,1	9,6	10,7	13,3	<i>8,1</i>	11,1	10,8	13,4	11,0	12,3	13,7	8,9
WS (m s ⁻¹)	1,1	1,1	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,0	0,8	1,0	0,9	<i>0,7</i>	1,2
RH (%)	72,3	68,9	78,5	74,7	65,2	79,8	73,4	68,5	69,5	67,7	66,6	<i>64,3</i>	79,9
I (W·m ⁻²)	200,6	247,0	204,3	174,7	232,4	<i>135,5</i>	178,3	225,9	213,0	237,5	242,8	258,9	169,6
E (hPa)	20,8	19,6	<i>16,6</i>	16,7	22,8	17,4	19,1	19,9	19,9	20,2	22,5	21,2	21,1
VP (hPa)	14,6	13,2	12,8	<i>12,2</i>	14,1	13,2	13,6	13,2	13,1	13,2	14,5	12,9	16,1
PE (mm)	3,6	3,6	<i>2,4</i>	2,7	4,6	2,5	3,2	3,7	3,7	3,8	4,3	4,4	3,0
T _d (°C)	11,6	9,7	9,1	<i>8,9</i>	10,9	10,2	10,9	9,4	10,1	9,4	11,3	9,1	13,6
P (hPa)	996,3	1004,4	996,2	<i>994,3</i>	1003,9	996,9	994,8	1004,3	1002,6	1006,2	1004,0	1006,9	995,3
<i>Acer</i>	0,8	0,2	<i>0,0</i>	3,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,6	0,3	0,3	0,1	1,3
<i>Alnus</i>	2,1	1,2	1,7	1,0	2,3	2,0	10,0	4,4	1,2	1,7	<i>0,0</i>	3,9	0,1
<i>Ambrosia</i>	54,5	24,5	24,3	37,7	24,3	25,1	2,7	32,8	21,3	50,0	85,2	30,7	59,3
<i>Artemisia</i>	2,5	2,5	0,7	1,0	3,9	2,6	<i>0,5</i>	3,5	2,6	5,5	4,9	5,5	4,2
<i>Betula</i>	4,4	1,5	4,8	12,3	3,4	5,7	3,0	3,8	1,4	1,7	<i>1,1</i>	<i>1,1</i>	5,3
<i>Cannabis</i>	0,9	1,1	2,3	<i>0,4</i>	0,7	0,6	0,9	1,8	<i>0,4</i>	0,6	1,5	1,7	1,7
<i>Carpinus</i>	1,9	0,6	1,0	9,8	1,1	2,3	1,2	0,5	0,7	1,0	<i>0,4</i>	0,6	5,1
Chenopodiaceae	3,1	3,0	2,5	1,7	4,0	2,3	<i>0,7</i>	3,6	1,6	5,9	6,1	4,8	5,1
<i>Corylus</i>	1,2	<i>0,0</i>	0,5	0,6	1,8	1,0	12,0	3,2	2,2	1,1	0,1	3,4	0,1
<i>Fraxinus</i>	1,3	0,1	2,0	2,8	1,2	0,5	0,0	1,0	<i>0,0</i>	0,6	0,3	0,2	0,7
<i>Juglans</i>	0,9	0,9	2,4	0,1	1,3	1,8	<i>0,1</i>	0,2	0,9	0,4	0,8	1,4	1,3
<i>Morus</i>	1,4	3,9	3,1	<i>0,0</i>	3,8	1,9	0,2	0,2	4,8	2,6	1,0	4,6	1,3
<i>Pinus</i>	2,3	3,4	3,4	<i>0,7</i>	2,6	1,0	1,3	<i>0,7</i>	4,9	2,6	2,0	1,4	2,5
<i>Plantago</i>	0,8	1,5	2,2	0,2	1,0	0,9	<i>0,0</i>	0,9	1,0	0,8	2,0	1,1	1,4
<i>Platanus</i>	2,0	0,4	3,5	1,7	0,9	3,7	<i>0,0</i>	0,2	1,6	0,2	0,6	0,5	3,0
Poaceae	8,6	13,3	11,8	3,6	9,5	5,1	1,7	6,6	12,1	9,5	13,0	8,3	13,2
<i>Populus</i>	6,9	<i>0,2</i>	11,1	14,8	4,4	0,1	8,6	4,7	5,8	1,9	0,5	6,2	7,4
<i>Quercus</i>	1,3	0,7	1,5	2,0	0,8	2,9	1,3	0,8	<i>0,4</i>	1,0	0,4	0,9	1,7
<i>Rumex</i>	1,5	3,3	3,9	0,7	1,4	0,9	<i>0,0</i>	0,8	1,7	0,9	2,3	0,9	2,9
<i>Salix</i>	1,6	0,8	3,0	5,2	1,5	1,1	3,1	1,7	0,6	0,9	<i>0,4</i>	0,6	2,7
<i>Taxus</i>	1,3	0,1	0,3	1,8	1,2	0,3	2,8	1,3	1,6	0,9	<i>0,0</i>	2,1	0,5
<i>Tilia</i>	0,7	0,9	2,2	0,3	0,5	0,3	<i>0,0</i>	0,7	1,5	0,5	0,6	0,3	1,3
<i>Ulmus</i>	1,2	0,6	0,6	1,1	0,8	0,5	4,2	1,2	2,0	0,7	<i>0,5</i>	1,0	0,0
<i>Urtica</i>	5,1	8,4	5,8	2,0	7,2	3,4	<i>0,5</i>	8,4	3,6	6,5	8,2	7,2	6,1
átlagos pollenszám	4,5	3,0	3,9	4,4	3,3	2,8	2,3	3,5	3,1	4,1	5,5	3,7	5,3

7. táblázat

Péczely időjárasi típus – pollenkoncentráció differencia mátrix. Minden egyes mátrix cellában két Péczely-féle időjárasi típust hasonlítottunk össze. A mátrix cellákban található taxonok pollenkoncentrációi szignifikánsan eltérnek egymástól az adott két Péczely-féle időjárasi típus között a Tukey-féle tesztek alapján (normál karakter: az eltérés a 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns; **bold karakter**: az eltérés a 99%-os valószínűségi szinten szignifikáns), 1997-2001, február 1. – október 31.

1													
2													
3		2											
4	Ac Car	Ac Car	Be										
5	S	S		4	Ac Car	Be							
6					5	Ac Car							
7	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co	Co
8													
9													
10													
11	Poa												
12													
13													

Ac = *Acer*; Am = *Ambrosia*; Ar = *Artemisia*; Be = *Betula*; Car = *Carpinus*; Co = *Corylus*; Plat = *Platanus*; Poa = *Poaceae*; S = *Salix*; Ul = *Ulmus*; Ur = *Urtica*

8.3. Az objektív időjárási típusok és a Péczely-féle szubjektív időjárási típusok hatékonyságának összehasonlítása a napi átlagos pollenkoncentrációk osztályozásában

8.3.1. Bevezetés

E fejezet célja, hogy az 1997-2001 közötti ötéves periódus február 1. – október 31. közötti időszakára előállított objektív időjárási típusok (Makra et al., 2006b) és a Péczely-féle szubjektív időjárási típusok (Péczely, 1957; 1961; 1983; Makra et al., 2007c) hatékonyságát összehasonlítsuk Szegedre a 24 taxon napi átlagos pollenkoncentrációinak osztályozásában.

Pollenszámok objektív, illetve szubjektív időjárási típusok szerinti osztályozását ez idáig még nem végezték el a szakirodalomban. Ugyanígy mindeddig még nem történt kísérlet e kétféle tipizálás hatékonyságának a vizsgálatára és összehasonlítására. Az említett összehasonlítás további információt adhat a pollenkoncentrációk megbízhatóbb előrejelzéséhez.

A vizsgálat a 8.1. és 8.2. fejezetekben említett 12 meteorológiai elem (lásd: 3.2.1. szakasz) és 24 taxon (lásd: 3.2.2. szakasz) 1997-2001 közötti ötéves napi adatainak a vizsgált évek pollinációs időszakára (február 1. – október 31.) készült elemzéseire épül.

8.3.2. Eredmények

Számításaink alapján a 28 objektív típuspár közül 6 esetében (21,4%) a legtöbb, azaz 5 vagy 6 taxon [leggyakrabban az *Alnus*, *Chenopodiaceae*, *Taxus* és *Urtica* (5. táblázat)], míg a 78 szubjektív típuspár közül 4 esetében (5,1%) szintén a legtöbb, nevezetesen 4, vagy 5 taxon [leggyakrabban az *Acer*, *Betula*, *Carpinus* és *Salix* (7. táblázat)] napi átlagos pollen-számai szignifikánsan eltérnek egymástól.

Továbbá az 1.-3., 1.-5., 1.-8., 3.-5., 5.-7. és 5.-8. objektív típuspárok (5. táblázat), illetve 50 db szubjektív típuspár (7. táblázat) (mindkét tipizálásnál 0 taxon napi átlagos pollenkoncentrációinak lényeges eltéréseivel) a leginkább hasonlóak a vizsgált taxonok pollenkoncentrációinak osztályozásában.

Az objektív típusok közül a 2. típus (anticiklonális helyzet), és a 6. típus (ciklonális helyzet) a legtöbb – rendre 35, illetve 26 – taxon napi átlagos pollenszámainak a többi típuséitól való szignifikáns eltéréseivel a legmeghatározóbbak a napi átlagos pollenkoncentrációk osztályozásában (16a-b. ábra; 5. táblázat).

Másrészről a szubjektív típusok közül a 4., és a 7. típus (a napi átlagos pollenkoncentrációk típuspárok közötti leggyakoribb, azaz rendre 34, illetve 22 szignifikáns eltéréseivel) a legjellegzetesebb makrotípusoknak tekinthetők a napi átlagos pollenszámok osztályozásában (17a-c. ábra; 7. táblázat; Függelék).

Az egyes objektív típuspárok között a napi átlagos pollenszámokban szignifikáns eltérést mutató taxonok közül a legnagyobb gyakorisággal szerepel, tehát hatékonyan csoportosítható a *Chenopodiaceae*, *Acer*, *Urtica* és a *Populus*, míg a legkisebb gyakorisággal jellemezhető, tehát a csoportosítás szempontjából közömbösnek tekinthető a *Juglans*, *Cannabis*, *Morus* és a *Salix* (5. táblázat). Ugyanakkor a napi átlagos pollenszámok a Péczely-féle szubjektív típusok szerinti osztályozására a *Corylus*, *Acer* és a *Carpinus* a legérzékenyebbek, míg az *Ambrosia*, *Betula* és a *Platanus* közömbösek (7. táblázat).

A továbbiakban meghatározzuk az általunk előállított objektív, illetve a Péczely által definiált szubjektív időjárás típusokra, hogy adott típus esetében az egyes taxonok napi átlagos pollenkoncentrációinak a többi típuséitól való szignifikáns eltérései milyen gyakoriságot mutatnak. Ez azt jelzi, hogy az adott típus mennyire hatékony a vizsgált taxonok napi átlagos pollenszámainak osztályozásában (8-9. táblázat).

Az összes objektív (szubjektív) típuspár 78,6%-ában (35,9%-ában) egy vagy több taxon napi átlagos pollenkoncentrációi számottevően eltérnek egymástól. Ugyanakkor mindkét tipizálásnál a maradék típuspárok esetében egyetlen taxon napi átlagos pollenszámaiban sincs szignifikáns különbség (17a-c. ábra; 7. táblázat; Makra, 2006c).

8. táblázat

Az objektív időjárás típusok hatékonyság szerinti sorrendje és aránya a taxonok napi átlagos pollenkoncentrációinak osztályozásában, %
(1 = a leginkább hatékony; ... , 8 = a legkevésbé hatékony)

típus (jelleg)	hatékonyság	
	sorrend	%
1 (c)	8	5,36
2 (a)	1	20,83
3 (ap)	6-7	7,74
4 (c)	5	9,52
5 (ac)	3-4	10,12
6 (c)	2	15,48
7 (a)	3-4	10,12
8 (cc)	6-7	7,74
teljes hatékonyság		10,26

a = anticiklonális; ac = anticiklon centrum; ap = anticiklon peremhelyzet;
c = ciklonális; cc = ciklon centrum

9. táblázat

A Péczely-féle szubjektív időjárás típusok hatékonyság szerinti sorrendje és aránya a taxonok napi átlagos pollenkoncentrációinak osztályozásában, %
(1 = a leginkább hatékony; ... , 13 = a legkevésbé hatékony)

típus (jelleg)	hatékonyság	
	sorrend	%
1 (mCc)	9-10	1,74
2 (AB)	5-8	2,43
3 (CMc)	13	0,35
4 (mCw)	1	11,81
5 (Ae)	5-8	2,43
6 (CMw)	4	2,78
7 (zC)	2	7,64
8 (Aw)	9-10	1,74
9 (As)	11-12	1,04
10 (An)	5-8	2,43
11 (AF)	3	3,82
12 (A)	5-8	2,43
13 (C)	11-12	1,04
teljes hatékonyság		3,15

Az objektív időjárás típusok közül csökkenő sorrendben a 2., és a 6. típus hatékonysága a legnagyobb (rendre 20,83% és 15,48%) (8. táblázat). A szubjektív tipizálásban a 4. (mCw), és a 7. (zC) típus emelhető ki, melyek hatékonysága ugyancsak csökkenő sorrendben rendre 11,81% és 7,64% (9. táblázat). Az említettek a legmarkánsabb időjárás típusok. Az objektív tipizálás számottevően nagyobb teljes hatékonyságot (10,26%) mutat a pollenkoncentrációk osztályozásában, mint a Péczely-féle szubjektív osztályozási rendszer (3,15%) (8-9. táblázat) (Makra, 2006c).

8.3.3. Következtetések

Egyrészt az objektív és a Péczely-féle szubjektív időjárási típusok, másrészt a 24 taxon pollenszámai közötti kapcsolatok tanulmányozásával feltártuk a térséget irányító különböző légnyomási rendszerek és a napi átlagos pollenszámok közötti összefüggéseket.

A napi átlagos pollenszámok objektív, illetve szubjektív időjárási helyzetek szerinti osztályozása során csak azon taxonokkal foglalkoztunk, amelyek típuspárok szerinti átlagos pollenkoncentrációi legalább egy típuspárra szignifikánsan eltértek egymástól.

Megállapítottuk, hogy mind az objektív, mind a szubjektív tipizálás esetén azok a típuspárok, amelyek a legtöbb taxon napi átlagos pollenszámaiban jeleznek szignifikáns eltérést, különböző légnyomási rendszerekkel rendelkeznek.

Megállapítottuk, hogy mind az objektív, mind a szubjektív tipizálás esetében akkor lép fel magas pollenkoncentráció, ha magas a hőmérséklet. A globálsugárzás jóval kisebb súllyal vesz részt a napi pollenszámok alakításában, mint a hőmérséklet (Gioulekas et al., 2004a; Makra et al., 2004; Rodríguez-Rajo et al., 2004a; 2004b; Makra és Matyasovszky, 2011c). Megjegyzendő, hogy csapadékos és csapadékmentes napokon egyaránt az előző napi pollenkoncentráció a legfontosabb prediktor. Ezenkívül a meteorológiai paraméterek közül csapadékos napokon a napi átlagos globálsugárzás a legjelentősebb, míg csapadékmentes napokon a napi középhőmérséklet határozza meg jelentősen a becslés pontosságát (Makra és Matyasovszky, 2011c). Mindezek összhangban vannak a maximális/minimális pollenkoncentrációt mutató objektív/szubjektív időjárási típusok jellemző meteorológiai paramétereivel. Továbbá a magas szélességnek pozitív hatása lehet a pollenkoncentrációra akkor, ha a nagy távolságból érkező légáramlások a pollenben gazdag forrásterületükről, vagy ilyen térségek fölött áthaladva nagy mennyiségű pollent szállítanak a célterület fölé (Makra et al., 2004; 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2010b). Másrészt az alacsony pollenkoncentrációt általában elősegíthetik az alacsony szélesség és a légnedvesség paraméterek magas értékei.

Mindkét tipizálás esetében nem várt eredményt kaptunk a tekintetben, hogy ciklonális típusokhoz is magas pollenkoncentrációk tartoznak. Ez azzal magyarázható, hogy e típusok fennállásakor a hőmérséklet és/vagy a hozzájuk tartozó napok nyári gyakorisága magas. A fentiek alapján arra következtethetünk, hogy mindkét tipizálás légnyomási rendszerei önmagukban nem, csak a hozzájuk tartozó meteorológiai elemek révén magyarázzák átlagos pollenszámaikat (Makra et al., 2006b; Makra et al., 2007c).

Megállapítottuk továbbá, hogy az objektív tipizálás számottevően nagyobb teljes hatékonyságot mutat a pollenkoncentrációk osztályozásában, mint a Péczely-féle szubjektív osztályozási rendszer. Ez azzal magyarázható, hogy az előbbi esetében 12 meteorológiai változó napi elemegyütteseinek a leginkább homogén csoportjai határozták meg az objektív clustereket, míg az utóbbinál csupán egyetlen változó, a légnyomás figyelembe vételével történt a szubjektív csoportok létrehozása (Makra et al., 2006b; Makra, 2006c; Makra et al., 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2007c).

9. Objektív és szubjektív időjárás tipizáláson alapuló napi Poaceae pollenkoncentrációk becslése Szegedre lineáris regresszió segítségével

9.1. Bevezetés

A fűfélék (Poaceae) pollenje világszerte az egyik legfontosabb légköri allergén forrás (Mohapatra et al., 2005). Az érzékenyek számára koncentrációjuk küszöbértéke 30 pollenszem / m³ levegő, amely fölött az allergia tünetei tapasztalhatók (Puc és Puc, 2004). Számos országban a fűfélék pollenje a pollenallergiás megbetegedések fő okozója (Subiza et al., 1995). Pl. Szegeden (Kadocsa és Juhász, 2000), Thessalonikiben (Gioulekas et al., 2004b) és Hamburgban (Nowak et al., 1996) a pollenérzékeny betegek rendre 56,7%-a, 40,4%-a és 24,0%-a allergiás a fűfélék pollenjére. A Poaceae pollenszezonja általában akkor kezdődik, amikor a hőmérséklet napi maximuma meghaladja a 13,5°C-ot (Peternel et al., 2006b). Magyarországon a Poaceae virágzási időszaka a leghosszabb az összes taxoné közül: április közepétől október közepéig tart (Makra et al., 2006b), és évi összpollenszáma az *Ambrosia*-ét követően az összes taxoné közül a második legnagyobb (17,0%) (Juhász, 1996).

Szegeden a mért Poaceae pollenkoncentrációban a lokális pollenszórás is magába foglaló közepes távolságú pollentranszportnak van jelentősebb szerepe a nagy távolságú pollentranszporthoz képest (Makra et al., 2010b). A fűfélék pollenszezonja általában kétszűcsű. Kétmódusú viselkedésüket alapvetően a folyamatos virágzásuk és a kaszálások időpontja határozzák meg (Kasprzyk és Walanus, 2010). Magyarországon az első csúcs február és április között lép fel, míg a második csúcs május és július között tapasztalható (Juhász, 1996).

A napi Poaceae pollenkoncentráció és a meteorológiai elemek napi értékei közötti kapcsolat megállapításának nagy gyakorlati jelentősége van. Egyszerű statisztikai vizsgálatokkal számos tanulmány szignifikáns pozitív korrelációt mutatott ki egyrészt a Poaceae pollenkoncentráció, másrészt a napi maximum hőmérséklet (Valencia-Barrera et al., 2001; Green et al., 2004; Kasprzyk és Walanus, 2010), a napi minimum hőmérséklet (Green et al., 2004), a napi középhőmérséklet (Puc és Puc, 2004; Peternel et al., 2006b; Kasprzyk és Walanus, 2010), valamint a napi globálsugárzás (Valencia-Barrera et al., 2001; Kasprzyk és Walanus, 2010) között. Ugyanakkor a relatív nedvesség (Valencia-Barrera et al., 2001; Puc és Puc, 2004; Peternel et al., 2006b; Kasprzyk és Walanus, 2010) és a csapadék (Fehér és JáraiKomlódi, 1997; Valencia-Barrera et al., 2001; Green et al., 2004; Puc és Puc, 2004; Peternel et al., 2006b; Kasprzyk és Walanus, 2010) negatív kapcsolatot jelzett. Az extrém meleg és az extrém nedves évek a Poaceae nagyobb pollenszórásának kedveznek (Makra et al., 2012). A szélsőségek szerepe ellentmondásos, ugyanis részben pozitív, azáltal, hogy növeli a pollenszórás a portokokból, részben pedig negatív azáltal, hogy a légáramlásokkal felhígítja a pollenkoncentrációt a levegőben (Valencia-Barrera et al., 2001).

A meteorológiai elemek nem önmagukban, egyedi hatásaik révén befolyásolják a napi pollenkoncentrációt, hanem kölcsönhatásaik által. Következésképp, praktikusnak tűnik egyrészt a napi Poaceae pollenkoncentráció, másrészt a meteorológiai elemek együttes napi érté-

kei közötti kapcsolat tanulmányozása. Mindeddig viszonylag kevés tanulmány született hasonló megközelítéssel, melyek többváltozós statisztikai módszereket alkalmaztak. Makra et al. (2006b) objektív időjárási típusokat definiált faktor- és clusteranalízis segítségével ahhoz, hogy a napi pollenkoncentrációkat a meteorológiai elemegyüttesek napi értékeinek a leginkább homogén csoportjaival összekapcsolja. Hart et al. (2007) az időjárási elemeknek a pollenkoncentrációra gyakorolt hatását vizsgálta Sydney térségére, s a pollenkoncentrációk egy szinoptikus osztályozását állította elő főkomponens analízis és clusteranalízis alkalmazásával. Tonello és Prieto (2008) 17 taxon pollen adatait és a hozzájuk tartozó éghajlati paramétereket osztályozta főkomponens analízis és clusteranalízis segítségével, hogy azonosítsa a potenciális természetes vegetáció, a pollen és az éghajlat közötti kapcsolatokat.

E fejezet célja, hogy meghatározza a vizsgált meteorológiai elemegyüttesek napi értékeinek a leginkább homogén csoportjait clusteranalízis alkalmazásával, majd megvizsgáljuk a kapott clusterek szerinti napi átlagos Poaceae pollenkoncentrációkat. Továbbá tanulmányozzuk a meteorológiai elemeknek az egyes clusterek szerinti napi átlagos Poaceae pollenszámokra gyakorolt hatását, amikor hidegfront, illetve melegfront halad át Szeged fölött. Azokat a napokat, amikor nincs front és esik; illetve nincs front és nem esik, szintén figyelembe vesszük. Végül mindegyik fenti kategória esetében kísérletet teszünk a napi átlagos Poaceae pollenszámok egy nappal előre történő megbecslésére.

Ahhoz, hogy megbecsüljük az aktuális napi Poaceae pollenkoncentrációt, öt meteorológiai változó (hőmérséklet, globálisugárzás, relatív nedvesség, tengerszinti légnyomás és szélsebesség) előző napi átlagértékeit, valamint az előző napi Poaceae pollenkoncentrációt, mint prediktorokat vettük figyelembe. A prediktorok és az aktuális napi pollenkoncentrációk közötti kapcsolatot az egyes objektív/szubjektív clusterek, valamint a front- és csapadék információk alapján határoztuk meg. E megközelítés oka az, hogy míg a frontok és a csapadék előrejelzése nagy pontossággal történik, a fenti meteorológiai változók előrejelzése sokkal kevésbé megbízható. Ennélfogva a vizsgált paraméterek előző napi értékeit vettük figyelembe azok aktuális napi előrejelzett értékei helyett.

A vizsgált időszaknak minden egyes évre (1997-2007) a leghosszabb pollinációs időszakot (április 4. – október 16.) tekintettük (Galán et al., 2001).

9.2. Eredmények

9.2.1. Clusteranalízis és ANOVA

Clusteranalízist alkalmaztunk az öt meteorológiai változó eredeti adatsoraira, hogy a klímaelemek értékeiben a legnagyobb hasonlóságot mutató napok objektív csoportjait előállítsuk. Ugyanakkor az időjárási frontokkal kapcsolatos információk alapján egy szubjektív osztályozási rendszert vezettünk be. Eszerint a következő hat időjárási típust (szubjektív kategóriák) definiáltuk: (1) melegfront esővel, (2) melegfront eső nélkül, (3) hidegfront esővel, (4) hidegfront eső nélkül, (5) nincs front és esik, valamint (6) nincs front és nem esik. Ezt követően az egyszempontú variancia analízist (ANOVA) alkalmaztuk annak megállapítására, hogy a napi Poaceae pollenkoncentrációk clusterek közötti varianciája szignifikánsan nagyobb-e, mint azok clustereken belüli varianciája. Ha a clusterek közötti variancia szignifikánsan nagyobb volt, akkor a Tukey tesztet (Tukey, 1985) hajtottuk végre ahhoz, hogy kiderítsük, az időjárási típusok szerinti átlagos napi Poaceae pollenkoncentrációk konkrétan mely típuspárok között mutatnak szignifikáns eltérést.

Egy további feladat a prediktorok és a pollenkoncentráció közötti kapcsolat meghatározása. Mivel mindkét változó típus erős évi menetet mutat, adatsoraikból eltávolítjuk az évi

menetet a standardizálás révén (lásd: 4.2.1. szakasz). Ezt követően mind a teljes adatbázisra (vagyis amikor a szubjektív kategóriákat figyelmen kívül hagyjuk, azaz a tipizálás mentes esetben), mind pedig az objektív/szubjektív időjárási típusokra végrehajtjuk a lineáris regressziókat. Az egyes prediktoroknak a pollenkoncentráció meghatározásában játszott fontossági sorrendjét a stepwise regressziós módszer (Draper és Smith, 1981) segítségével határozzuk meg. A teljes adatkészletre kapott átlagos négyzetes hibát összevetjük az időjárási típusokra kapott átlagos négyzetes hibák súlyozott összegével. A súlyok e típusok relatív gyakoriságai.

A vizsgált 11 éves időszak napjait (10. táblázat) a fenti hat szubjektív kategóriába soroltuk. Ezután clusteranalízist hajtottunk végre egyrészt az eredeti, másrészt a standardizált adatokon. A hat magyarázó változó (5 meteorológiai és 1 pollenváltozó), valamint az eredmény-változó (Poaceae pollenszámok) átlagértékeit mind a front-kategóriákra, mind pedig a kapott clusterekre a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat
A meteorológiai elemek és a pollenkoncentrációk átlagértékei, Szeged
(**vastag:** maximum; **dőlt:** minimum)

(vastag: maximum, dobt. minimum)							
szubjektív kategóriák, eredeti adatok							
cluster	1*	2*	3*	4*	5*	6*	
paraméter	átlag						
összes napok száma	123	320	46	203	211	484	
gyakoriság (%)	8,9	23,1	3,3	14,6	15,2	34,9	
hőmérséklet (°C)	19,4	20,8	19,0	20,9	17,8	19,5	
globálisugárzás (W·m ⁻²)	259,3	361,6	270,1	340,5	250,1	357,5	
relatív nedvesség (%)	75,2	63,7	77,6	64,7	80,7	65,8	
légnomás (hPa)	1000,6	1006,1	1002,1	1006,1	1001,1	1004,5	
szélsebesség (m·s ⁻¹)	1,1	1,0	1,1	0,9	1,0	1,0	
Poaceae pollen, előző nap (pollenszem / m ³ levegő)	16,7	14,7	18,2	17,7	14,5	14,4	
Poaceae pollen, aktuális nap (pollenszem / m ³ levegő)	15,8	15,9	17,2	17,7	13,2	14,6	
objektív clusterek, eredeti adatok, teljes adatbázis							
cluster	1	2	3	4	5	6	7
paraméter	átlag						
összes napok száma	174	249	232	137	82	343	170
gyakoriság (%)	12,5	18,0	16,7	9,9	5,9	24,7	12,3
hőmérséklet (°C)	22,4	16,2	15,8	22,3	19,3	23,3	18,2
globálisugárzás (W·m ⁻²)	285,7	165,3	386,3	349,1	350,5	413,5	329,9
relatív nedvesség (%)	54,8	89,5	64,4	49,5	68,3	69,3	72,3
légnomás (hPa)	1012,7	1000,3	1007,5	997,1	1005,0	1003,2	1003,9
szélsebesség (m·s ⁻¹)	0,9	0,9	0,8	1,0	1,0	0,9	1,7
Poaceae pollen, előző nap (pollenszem / m ³ levegő)	14,7	8,7	9,1	12,1	66,6	14,7	13,2
Poaceae pollen, aktuális nap (pollenszem / m ³ levegő)	14,9	8,4	10,8	12,9	55,3	15,4	14,9

1*: melegfront esővel; 2*: melegfront eső nélkül; 3*: hidegfront esővel; 4*: hidegfront eső nélkül;
5*: nincs front és esik; 6*: nincs front és nem esik

A variancia analízis a Poaceae pollenszámoknak az egyes clusterek közötti szignifikáns eltérését mutatta ki legalább a 95%-os valószínűségi szinten. A front-kategóriákat használva, az egyes kategória-átlagok páronkénti összehasonlítása két esetben mutatott ki szignifikáns eltérést a 6 kategória összes lehetséges 15 kategória-párjai közül (13,3%). Ez esetben mindössze a 4. és 5., valamint a 4. és 6. kategória-párok átlagai különböztek szignifikánsan egymástól. Az eredeti változók clusterézése révén kapott 7 clusterből az összes lehetséges 21 clusterpár közül 14 esetben a napi átlagos pollenszámok szignifikáns eltérést mutattak (66,7%). A standardizált változók segítségével meghatározott 7 clusterből a lehetséges 21 clusterpár közül 7 esetben tapasztaltuk a napi átlagos Poaceae pollenkoncentrációk szignifikáns eltérését (33,3%). Itt a 2. cluster szerepe tűnik lényegesnek, ugyanis a clusterátlaga szignifikánsan eltért az összes többi clusterétől.

A következőkben csupán a napi átlagos pollenszámokban szignifikáns eltérést mutató clustereket, főként az extrém pollenkoncentrációkat mutató clustereket elemezzük részletesen

(10. táblázat). Ha összehasonlítjuk a front-kategóriák, illetve az objektív clusterok révén kapott eredményeket, a következő megállapításokat tehetjük (10. táblázat). A legnagyobb napi átlagos pollenszámot tartalmazó kategóriához (clusterhez) átlagos számú (a legkevesebb) nap tartozik. A legnagyobb napi átlagos pollenszámot magába foglaló front-kategória (cluster) a magyarázó változók extrém értékeit tartalmazza (nem tartalmazza). A szubjektív osztályozás esetében a legnagyobb napi átlagos pollenszámot tartalmazó kategóriát (4. kategória: hidegfront eső nélkül) magas előző napi átlagos Poaceae pollenkoncentráció, a hőmérséklet és a légnyomás legmagasabb középértékei, magas globálsugárzás, valamint alacsony relatív nedvesség és a legkisebb szélesebbesség jellemzi. A meteorológiai paraméterek ezen értékei egy hidegfront előtti időjárási helyzetet feltételeznek, mely valószínűleg egy anticiklon peremhelyzet, ami elősegíti a magas pollenszámok kialakulását (10. táblázat). Az objektív osztályozás esetében a legnagyobb napi átlagos Poaceae pollenkoncentráció clusterében (5. cluster) a legmagasabb az előző napi pollenszám, átlagos a hőmérséklet, magas a globálsugárzás és a szélesebbesség, továbbá az átlagosnál magasabb a légnyomás. Ezek az értékek egy gyenge anticiklon peremhelyzetet feltételeznek, mely elősegíti a Poaceae pollenkoncentráció feldúsulását (10. táblázat) (Matyasovszky, et al., 2011a).

9.2.2. Lineáris regresszió

A teljes adatbázis használata esetén egyedül az előző napi pollenkoncentráció tűnik fontos prediktornak, mely legalább a 90%-os valószínűségi szinten szignifikáns. Nyilvánvalóan ez a legjobb prediktív paraméter minden egyes, a clusteranalízis révén, illetve a csapadékos front-kategóriák révén definiált időjárási típusra.

A teljes adatbázist használva, a magyarázó változók a pollenkoncentráció varianciájának a 29,9%-át megmagyarázzák. Clusterfüggő regressziók alkalmazásával az eredeti adatok clusterezése, a standardizált adatok clusterezése, illetve a szubjektív időjárási típusok a pollenkoncentráció varianciájának rendre a 31,0%-át, 29,6%-át és 29,7%-át magyarázzák. A fentiek alapján a leghatékonyabb osztályozás az eredeti adatok alapján történő clusteranalízis, jóllehet a különböző klasszifikációk hatékonysága elég egyenletes, különösen a két utóbbi. Megjegyzendő, hogy a Poaceae természetes klímafeltételeinek (meleg, száraz éghajlat) megfelelő térség adatbázisa alapján a Poaceae pollenszámok becslése megbízhatóbb, mint egyéb esetben (Matyasovszky, et al., 2011a).

A szubjektív osztályozás esetében a legjobb becslést a „melegfront esővel” kategóriára kaptuk (70,4%-os megmagyarázott variancia), míg a leggyengébb becslés a „hidegfront eső nélkül” kategóriában tapasztalható. Ez utóbbi típusban az átlagos négyzetes hiba nagyobb (13%-kal), mint annak értéke a teljes adatbázisra. Az eredeti adatok clusterezésével a legjobb becslést a 3. clusterre kaptuk (74,6% megmagyarázott variancia). A megfelelő átlagos négyzetes hiba 55,4%-kal nagyobb a teljes adatkészletre kapott értékhez képest.

Az átlagos pollenkoncentrációk objektív clusterok közötti változékonysága nagyobb, mint a szubjektív időjárási típusok esetében. Ez azzal magyarázható, hogy a szubjektív csoportosítás kevesebb magyarázó változót vesz figyelembe, vagy a típusokat önkényesen választja ki, míg az objektív osztályozás lehetővé teszi az időjárási típusok optimális számú csoportjának a kiválasztását, ezáltal biztosítva a pollenkoncentráció nagyobb megmagyarázott varianciáját (Makra et al., 2006b). A „melegfront esővel” kategória egy viszonylag stabil időjárási helyzet leginkább homogén meteorológiai elemegyettesekkel rendelkező napjait tartalmazza. Jóllehet a szélesebbesség magas, a magyarázó változóknak csekély a változékonysága, ami a Poaceae pollenkoncentráció nagyobb megmagyarázott varianciáját biztosítja. Ezzel szemben a „hidegfront eső nélkül” kategória napjain az alacsony szélesebbesség ellenére a magyarázó változók nagyobb változékonysága a pollenkoncentráció alacsonyabb megmagyarázott varianciáját vonja maga után (10. táblázat) (Matyasovszky, et al., 2011a).

9.3. Következtetések

Mind a szubjektív, mind pedig az objektív osztályozás esetében azt kaptuk, hogy az anticiklon peremhelyzetek elősegítik a magas átlagos Poaceae pollenszámok kialakulását.

A Poaceae pollenkoncentráció becslésekor a teljes adatkészletet használva csupán az előző napi pollenkoncentráció volt szignifikáns legalább a 90%-os valószínűségi szinten. Az eredeti adatok clusterezését, a standardizált adatok clusterezését, illetve a szubjektív időjárási típusokat tekintve az eredeti adatokkal (teljes adatbázis) történő objektív osztályozás bizonyult a leghatékonyabbnak a pollenkoncentráció osztályozása szempontjából.

A szubjektív osztályozás esetében a legjobb becslést a „melegfront esővel” kategória napjaira kaptuk, míg a leggyengébb becslés a „hidegfront eső nélkül” kategória napjaira született. A pollenkoncentráció varianciáját nagyobb mértékben magyarázta meg a vizsgált 6 magyarázó változó az objektív időjárási típusokra, mint a szubjektív kategóriák esetében, ami megfelel a várakozásainknak (Makra, 2006c). A Poaceae pollenkoncentráció megmagyarázott varianciájának a „melegfront esővel” kategória, illetve a „hidegfront eső nélkül” kategória közötti eltérése e kategóriák magyarázó változói eltérő változékonyságának tulajdonítható.

A pollenkoncentráció becslése akkor jobb, ha olyan térséget vizsgálunk, amelynek a klímája megfelel a Poaceae klímaoptimumának. Mivel Szeged éghajlata ilyen (Köppen-féle **Ca** típus: meleg-mérsékelt éghajlat; Köppen, 1931), ezért itt a vizsgált magyarázó változók is nagyobb mértékben magyarázzák a Poaceae pollenkoncentráció varianciáját, mint más klíma-területeken (Matyasovszky, et al., 2011a).

A pollenszámok és a hat magyarázó változó fenti kapcsolata lehetővé teszi a pollenkoncentrációnak a magyarázó változók függvényében történő előzetes vizsgálatát. Ahhoz, hogy megbízhatóan előrejelezzük a Poaceae pollenkoncentrációt, fejlettebb módszerek szükségesek. Ugyanakkor mind az objektív, mind a szubjektív időjárási típusok hasznos információt nyújtanak az előrejelzés pontosságáról. Pl. a Poaceae pollenkoncentráció egy melegfronti esőt követően pontosan előrejelezhető, míg ha hidegfront halad át eső nélkül, akkor a leggyengébb becslést kapjuk a pollenkoncentrációra (Matyasovszky, et al., 2011a).

10. A napi parlagfűpollen koncentráció becslése Szegedre az előző napi meteorológiai változókkal regresszió analízis és kvantilis regresszió analízis segítségével

10.1. Bevezetés

A meteorológiai elemeknek különböző taxonok pollenkoncentrációira gyakorolt hatását számos szerző tanulmányozta már (pl. Giner et al., 1999; Galán et al., 2000; 2001; Jato et al., 2000; Makra et al., 2004; Matyasovszky és Makra, 2011b; 2011c). Galán et al. (2000), Peternel et al. (2006) és Oh (2009) a hőmérséklet szerepét találták a legfontosabbnak a pollenszámokkal kapcsolatosan. A relatív nedvesség egy másik fontos paraméter, amely befolyásolja a pollenkoncentrációt (Galán et al., 2000; Makra et al., 2004). Azonban a légnedvesség szerepe összetett. A 60% fölötti éjszakai relatív nedvesség kedvezőtlenül befolyásolja a nappali pollenkoncentrációt, viszont a reggel mért 80% fölötti relatív nedvesség elősegíti a magasabb nappali pollenszámokat (Giner et al., 1999). Galán et al. (2000) arra az eredményre jutott, hogy a légnedvesség negatív kapcsolatban van az Urticaceae pollen koncentrációjával, ha rövid felhőszakadások során nagy mennyiségű eső esik, illetve arányosan változik vele, ha több napon át könnyű zápor hullik. Továbbá Szegeden megfigyelték, hogy csapadékos napot követő napon (amikor a relatív nedvesség magasabb), a pollenkoncentráció hirtelen emelkedik (Makra et al., 2004).

A pollenkoncentráció és a meteorológiai elemek közötti legerősebb korreláció nem-csapadékos napokon tapasztalható (Fornaciari et al., 1992; Galán et al., 2000). Csapadékos napokon ritkán vizsgálták a pollenkoncentrációkat, ugyanis nem egészen világos, hogy ilyenkor milyen szerepet játszik a csapadék és a relatív nedvesség. Nagy mennyiségű csapadékkal járó napokon alacsony Urticaceae pollen koncentrációt mértek, ugyanakkor magas pollenszámokat mértek kis csapadékú napokon (Galán et al., 2000). Más szerzők azt tapasztalták, hogy a parlagfűpollen koncentráció (Peternel et al., 2006), továbbá fák (fenyő, tölgy, éger és nyír), valamint a fűfélék és a gyomok (japán komló, zsálya és parlagfű) pollenszámai jelentősen csökkennek esős napokon (Oh, 2009). A napi pollenkoncentráció megbecslésére gyakran használják a meteorológiai paraméterek előző napi (pl. Galán et al., 2000; Makra et al., 2004; Stennett és Beggs, 2004), illetve azok három nappal korábbi időpontig terjedő értékeit (Makra et al., 2004; Stennett és Beggs, 2004).

Az előző napi pollenkoncentráció szintén hasznos prediktor. A két nappal korábbi (Galán et al., 2000), valamint az előző napi (Galán et al., 2000; Angosto et al., 2005) pollenkoncentrációnak az aktuális napi pollenkoncentrációra gyakorolt hatását szintén tanulmányozták már. Ruiz et al. (2008) szerint a két nappal korábbi pollenkoncentráció a legjobb prediktív változó. A napi pollenkoncentráció átlagos szezonális változása és a három megelőző nap átlagos pollenkoncentrációja szintén fontos paraméterek (Makra et al., 2004).

A pollenkoncentrációnak meteorológiai és pollen paramétereken alapuló előrejelzése az aerobiológia egyik leggyakrabban tanulmányozott területe, ugyanis ennek igen fontos allergológiai alkalmazása van. Erre a problémára a leggyakrabban használt eszközök a lineáris regressziós modellek (Angosto et al., 2005; Smith és Emberlin, 2005; 2006; Rodríguez-Rajo et al., 2005; Ruiz et al., 2008), valamint az autoregressziós (ARIMA) modellek (Rodríguez-Rajo et al., 2006; Ocana-Peinado et al., 2008). Más tanulmányok fejlettebb módszertant használnak, pl. neurális hálókat, vagy neuro-fuzzy modelleket (Ranzi et al., 2003; Sánchez Mesa et al., 2005; Aznarte et al., 2007). Azonban nincsen bizonyíték arra, hogy ez utóbbi eljárások megbízhatóbbak, mint a hagyományos módszerek (Aznarte et al., 2007; Verma és Pathak, 2009).

A légköri transzport modellek alkalmazása egy további eljárás a pollenkoncentráció leírására és előrejelzésére (pl. Helbig et al., 2004; Schueler és Schlüntzen, 2006; Sofiev et al., 2006; Vogel et al., 2008). E modellek nagy előnye a statisztikai modellekkel szemben, hogy figyelembe veszik mind a meteorológiai feltételeknek megfelelő helyi kibocsátást és pollenszórást, mind pedig a nagy távolságú transzportot, míg a statisztikai modellek természetükből adódóan arra a területre korlátozódnak, amelyre azokat kifejlesztették. Azonban a légköri transzport modellek rendszeres használata jelenleg korlátozott, mivel azok alkalmazásához a statisztikai modellekhez képest kiegészítő ismeretek szükségesek. Ilyenek az input paraméterek egy leltára, egy validált fenológiai modell, és egy modell amely parametrizálja a napi pollenkibocsátást (Skjøth et al., 2010). Ez az információ nem áll rendelkezésre a parlagfüre, emiatt a parlagfű pollenszámok előrejelzésére a megfelelő megoldás a statisztikai modellek alkalmazása.

E fejezet célja, hogy időfüggő lineáris regressziós és időfüggő nemparaméteres regressziós modelleket, továbbá egy időfüggő nemparaméteres medián regressziós modellt fejlesszünk ki ahhoz, hogy előrejelezhessük a napi pollenkoncentrációt Szegedre az előző napi meteorológiai paraméterek és az előző napi pollenkoncentráció segítségével. A kifejlesztésre kerülő modelleket mind csapadékos, mind nem-csapadékos napokra alkalmazzuk. A medián regresszió kiterjesztéseként egy nemparaméteres kvantilis regressziót is alkalmazni fogunk. A kvantilis regresszió becslések küszöbértékeinek megvan az a tulajdonsága, hogy ezen küszöbök túllépésének az esélye nem halad meg egy bizonyos előre kiválasztott valószínűségi értéket. Míg a lineáris regressziós modell a prediktoroktól függő átlagot határozza meg, a kvantilis regresszió a feltételes kvantilist adja meg. Mivel tetszőleges kvantilist használhatunk, ezáltal betekintést nyerhetünk a prediktandusz feltételes eloszlásnak teljes terjedelmébe.

11. táblázat
A parlagfűpollen szezon fő jellemzői

év	pollenszezon			csúcskoncentráció	összes pollenszám	
	kezdőnap	utolsó nap	tartam (nap)	(pollenszem / m ³ levegő)	dátum	(pollenszem / m ³ levegő)
1997	07.09.	10.19.	103	928	08.28.	7994
1998	07.26.	10.13.	80	332	09.06.	3857
1999	07.17.	10.21.	97	571	09.12.	8842
2000	07.02.	10.13.	104	608	09.04.	11592
2001	07.14.	10.10.	89	1125	08.26.	12277
2002	07.07.	10.13.	99	246	09.03.	4288
2003	07.26.	10.19.	85	404	08.27.	4760
2004	07.25.	10.12.	78	807	08.28.	6376
2005	07.15.	10.16.	92	603	09.04.	4957
2006	07.09.	10.18.	102	1385	09.06.	13854

Ahhoz, hogy megbecsüljük az aktuális napi parlagfűpollen koncentrációt, nyolc meteorológiai változó (közephőmérséklet, átlagos szélesség, átlagos relatív nedvesség, átlagos globálsugárzás, átlagos tengerszinti légnyomás, minimum hőmérséklet, maximum hőmérsék-

let és a csapadékösszeg) előző napi értékeit vettük figyelembe. Ezeket a változókat, valamint az előző napi parlagfűpollen koncentrációkat alkalmazzuk az 1997-2006 közötti 10 év július 15. – október 15. közötti időszakára. A pollenszezon tartamának megállapítására Galán et al. (2001) kritériumát (lásd: 3.2.2. szakasz) használtuk. A parlagfűpollen szezon legfontosabb karakterisztikáit Szegedre a 11. táblázat tartalmazza.

10.2. Eredmények

10.2.1. Regresszió és medián regresszió

Az időfüggő lineáris regresszió alkalmazásával a legfontosabb prediktornak az előző napi pollenkoncentráció bizonyult, amely a csapadékos és nem-csapadékos napokon a célváltozó varianciájának rendre 48,6%-át, illetve 45,3%-át magyarázzák. Az egyetlen további prediktor, amelyet a lépésenkénti regressziós eljárás alkalmazásával megtartottunk, a napi átlagos globálsugárzás a csapadékos napok esetében, illetve a napi középhőmérséklet a nem-csapadékos napok esetében (12. táblázat). A két-két prediktor együttesen a csapadékos, illetve a nem-csapadékos napokon az aktuális napi pollenkoncentráció 51,9%-át, illetve 55,2%-át magyarázza. Ha figyelembe vesszük a harmadik legfontosabb prediktort a csapadékos, illetve nem-csapadékos napokra, akkor rendre mindössze 0,3%-os (légnyomás), illetve 0,7%-os (relatív nedvesség) további variancia csökkenést kapunk. A parlagfű a meleg és száraz, esetenként aszályra hajló klímát kedveli bőséges napsütéssel, alacsony relatív nedvességgel és felhőzettel a pollinációs időszakában, vagyis a nyári – kora őszi periódusban (Béres et al., 2005). Ennélfogva a hőmérséklet fontos szerepe a nem-csapadékos napokon nyilvánvaló. Az előrejelzés relatív pontossága nagyobb a nem-csapadékos napokon (55,2%), mint a csapadékos napokon (51,9%). Azonban, mivel a reziduális variancia 6486, illetve 6058 (pollenszem / m³ levegő)² a csapadékos, illetve a nem-csapadékos napokra külön-külön, a rendre 14477 és 12596 (pollenszem / m³ levegő)² teljes variancia mellett, az előrejelzési teljesítmény valamivel jobb a csapadékos napokra, mint a nem-csapadékos napokra (ugyanis a reziduális variancia / teljes variancia arány kisebb a csapadékos napokra, mint a nem-csapadékos napokra). E két utóbbi varianciát, mint átlagos négyzetes hibákat (MSE-ket) $p=0$ esetében (azaz a prediktor mentes esetben) kaptuk meg a (4.17.) egyenletből (lásd: 4.2.10. szakasz), mivel az MSE-k a pollenkoncentráció átlagos évi ciklusainak felelnek meg a csapadékos és nem-csapadékos napokon.

12. táblázat

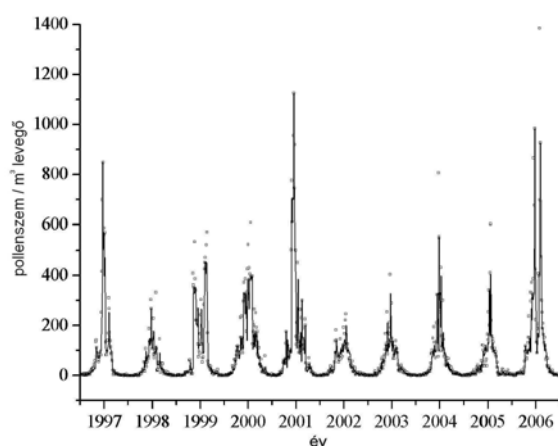
A vizsgált prediktorok: előző napi pollenkoncentráció (PC), előző napi középhőmérséklet (T), előző napi átlagos szélesség (W), előző napi átlagos relatív nedvesség (RH), előző napi átlagos globálsugárzás (GSF), előző napi átlagos tengerszinti légnyomás (SLP), előző napi minimum hőmérséklet ($T_{\min}$), előző napi maximum hőmérséklet ($T_{\max}$), és az előző napi csapadékösszeg (Pr). A statisztikai modellekben szereplő prediktorok vastagon vannak jelölve.

csapadékos nap	PC	T	W	RH	GSF	SLP	$T_{\min}$	$T_{\max}$	Pr
nem-csapadékos nap	PC	T	W	RH	GSF	SLP	$T_{\min}$	$T_{\max}$	Pr

Az időfüggő nemparaméteres regressziót alkalmazva a két korábban említett prediktorra (az előző napi pollenkoncentráció és a napi átlagos globálsugárzás a csapadékos napokra, illetve az előző napi pollenkoncentráció és a napi középhőmérséklet a nem-csapadékos napokra), lényegesen jobb becsléseket kapunk, különösen a csapadékos napokra, amely világosan jelzi, hogy nemlineáris kapcsolat van a prediktorok és a pollenkoncentráció között. Nevezetesen, e prediktorok a célváltozó varianciájának 71,4%-át, illetve 64,6%-át magyarázzák meg

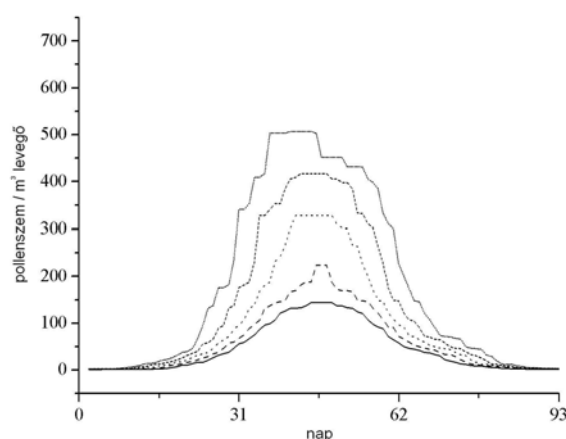
rendre a csapadékos, illetve a nem-csapadékos napokra. A Cai féle (2007) bootstrap tesztet használtuk arra, hogy ellenőrizzük, vajon a megmagyarázott varianciák javulása szignifikáns-e, amikor összehasonlítjuk azokat a paraméteres modellek révén kapott megmagyarázott varianciákkal. A teszt alapján a nemparaméteres modellek gyakorlatilag minden ésszerű szignifikancia szinten hatékonyabbak (a kapott teszt statisztika lényegesen magasabb, mint a 99%-os valószínűségi szinthez tartozó kritikus érték). Az összes napra (a csapadékos és nem-csapadékos napokat együtt tekintve) a prediktorok (ez esetben az előző napi pollenkoncentráció, a napi átlagos globálsugárzás és a napi középhőmérséklet) a célváltozó varianciájának 66,6%-át magyarázzák, ami jelentősen eltér a csapadékos napokra kapott 71,4%-os értéktől. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a nem-csapadékos napok 2,3-szor gyakrabban fordulnak elő, mint a csapadékos napok. A nemparaméteres regressziós modell alkalmazásával kapott átlagos abszolút hiba (MAE) 26,8 (pollenszem / m³ levegő) csapadékos napokra és 27,2 (pollenszem / m³ levegő) nem-csapadékos napokra. Arra gondolhatnánk, hogy ellentmondás van a lineáris regresszió alapuló prediktor kiválasztás és a pollenkoncentráció nemlineáris kapcsolata között. Emiatt a nemparaméteres regresszió alkalmazásához a prediktor kiválasztást megismételtük oly módon, hogy minimalizáltuk az MSE-t egy a stepwise regresszióhoz hasonló módszer alkalmazásával. Az eljárás ugyanazokat a prediktorokat eredményezte, mint amiket az időfüggő lineáris regresszió esetében kaptunk.

A medián regressziós modell alkalmazása előtt azt vártuk, hogy a MAE kisebb értéket vesz fel (az MSE pedig nagyobb) a regresszió révén kapott MAE értékéhez képest. Ugyanis, míg a regresszió az átlagos négyzetes hibát, addig a medián regresszió az átlagos abszolút hibát minimalizálja. Valóban, a medián regresszió révén kapott MAE érték 21,2 pollenszem / m³ levegő (16,5 pollenszem / m³ levegő a csapadékos napokra, míg 23,2 pollenszem / m³ levegő a nem-csapadékos napokra), ami (a %-ban kapott két arányt súlyozva a csapadékos és nem-csapadékos napok száma szerint) 20,9%-kal alacsonyabb, mint a nemparaméteres regresszió révén kapott MAE érték. Mivel gyakorlati jelentősége az előrejelzési hibáknak van, nem pedig azok négyzetének, a nemparaméteres medián regressziós modell adja a legjobb becslést az itt vizsgált előrejelzési modellek közül. A 18. ábra a parlagfűpollen koncentrációjának a nem-paraméteres medián regresszióval meghatározott előrejelzési potenciálját mutatja Szegedre.



18. ábra

A napi pollenkoncentráció a nemparaméteres medián regresszió segítségével történő egynapos előrejelzésével (folytonos)

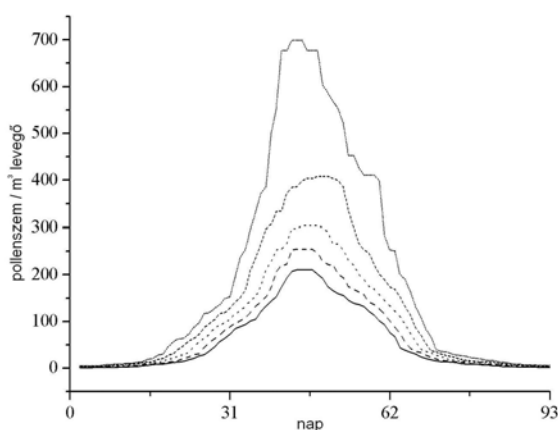


19. ábra

A napi pollenkoncentráció kvantilis trendjei a 0,5 (folytonos), 0,6 (szaggatott), 0,7 (pontosított), 0,8 (rövid szaggatott) és 0,9 (rövid pontosított) kvantilisekre, csapadékos napok (vízszintes tengely: a pollenszezon napjai)

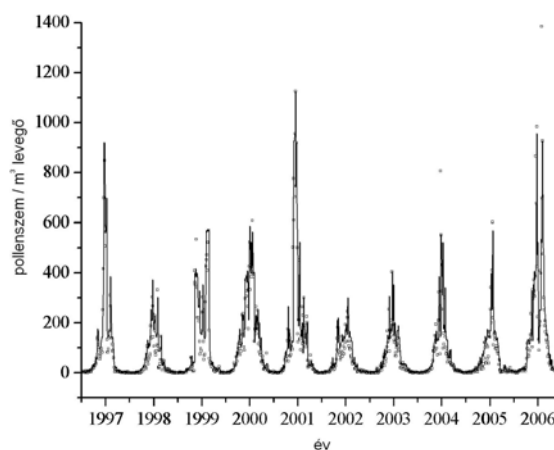
10.2.2. Kvantilis regresszió

Mivel a magas pollenszámoknak nagy a gyakorlati jelentősége, kvantilis regressziót hajtottunk végre a $\tau=0,5, 0,6, \dots, 0,9$ valószínűségi értékekkel. A 19. és a 20. ábra ezen kvantilisok évi ciklusát mutatja, melyeket úgy kapunk meg, hogy elhagyjuk a prediktorokat (elhagyjuk a K_p függvényt) a (4.20.) egyenletben (lásd: 4.2.10. szakasz). Ha összehasonlítjuk a legnagyobb kvantilis értékeket az év folyamán, a csapadékos napokra kapott kvantilisok általában lényegesen kisebbek (főként a 0,9 kvantilisre), ami a pollenszórás kevésbé kedvező feltételeinek, valamint a pollenszemek levegőből való kimosódásának tulajdonítható. Ugyanakkor a 0,7 és a 0,8 kvantilisok a csapadékos napokon az év legnagyobb részében azonosak, vagy nagyobbak, mint ugyanezen kvantilisok a nem-csapadékos napokon. Következésképp, a napi parlagfűpollen koncentráció valószínűségi eloszlása jóval torzultabb a nem-csapadékos napokon, ily módon extrém magas pollenszámokat eredményezve, míg a valószínűségi eloszlás a csapadékos napokon koncentráltabb, és viszonylag kiegyensúlyozott parlagfűpollen koncentrációkat biztosít. Egy gyenge tendencia is megfigyelhető arra vonatkozóan, hogy a 0,9 kvantilis legmagasabb értékei korábban lépnek fel a csapadékos napok évi ciklusában, míg a 0,8 kvantilis legmagasabb értékei hajlamosak később megjelenni a nem-csapadékos napokon, a többi kvantilishoz képest. Mivel a parlagfű általában a száraz és meleg klímákat szereti bőséges napsütéssel (Béres et al., 2005), a nem-csapadékos napok kvantilisei általában lényegesen nagyobbak, köszönhetően a kedvezőbb feltételeknek. Ugyanakkor a parlagfűnek növekedése kezdeti szakaszaiban szüksége van meleg és csapadékos napokra, mivel a csapadék a növény fejlődését elősegíti (Béres et al., 2005). Következésképp, az eső felgyorsítja a pollen emissziót, ami korábban eredményez magas pollenszámokat (magas kvantilisokat) a pollenszezon elején. A görbék lefutása lényegesen egyenletesebb a nem-csapadékos napokra, mivel ezek 2,3-szor gyakoribbak, mint a csapadékos napok, és ily módon számottevően több adat áll rendelkezésre a becslésekhez.



20. ábra

A napi pollenkoncentráció kvantilis trendjei a 0,5 (folytonos), 0,6 (szaggatott), 0,7 (pontosított), 0,8 (rövid szaggatott) és 0,9 (pontosított) kvantilisokra, nem-csapadékos napok (vízszintes tengely: a pollenszezon napjai)



21. ábra

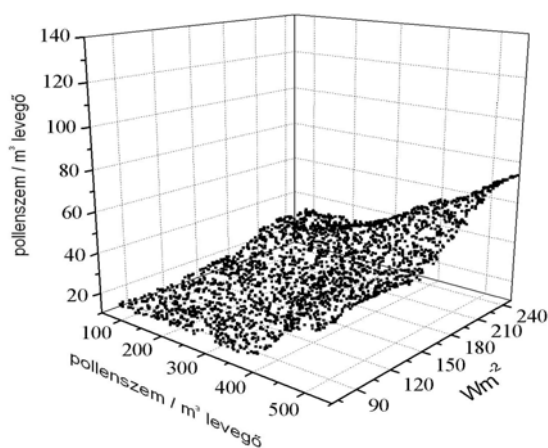
A napi pollenkoncentráció a 0,75 feltételes kvantilisával

A 21. ábra a prediktorokhoz tartozó $\tau=0,75$ időfüggő kvantilist mutatja. A görbe becsült pollenkoncentráció küszöböket határoz meg, melyeknek a prediktorok aktuális értékei mellett a túllépési valószínűsége 0,25. Nyilvánvaló, hogy a kvantilis regresszió τ egyéb érté-

kei mellett más pollenszinteket ad, melyek túllépési valószínűsége $1 - \tau$, s így módon a különböző valószínűségi szintekhez különböző küszöbértékek adhatók meg.

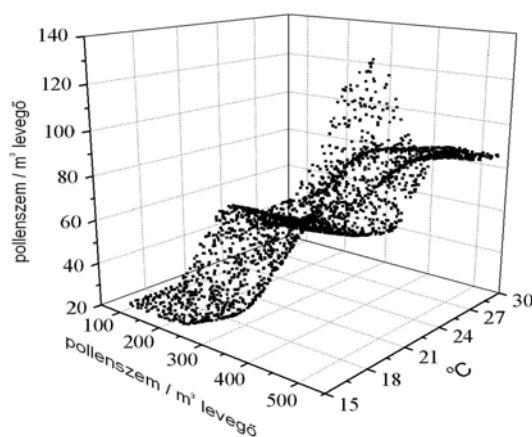
Egy további kérdés: a választott prediktorok különböző értékei mellett milyen legalacsonyabb pollenkoncentrációs küszöbértékek várhatók? A probléma az extrém kvantilis regresszió koncepciójának (Smith, 1994), vagyis a $\tau = 0$ melletti kvantilis regresszió alkalmazásával írható le (lásd: 4.2.10. szakasz). A feltételes extrém kvantilist a pollenkoncentráció feltételes határának nevezzük (Chernozhukov, 2005). Megjegyzendő, hogy ez a feltételes határ bármilyen prediktor értékekre kiszámítható a megfigyelt értékek által meghatározott tartományon belül (lásd: 4.2.10. szakasz).

Ahhoz, hogy bemutassuk az extrém kvantilisnek a prediktoroktól való függését, az augusztus 31.-i dátumot választottuk ki, mivel a legmagasabb pollenkoncentrációk az augusztus vége – szeptember eleje közötti periódusban várhatók (11. táblázat). Az előző napi pollenkoncentráció, az előző napi átlagos globálsugárzás és az előző napi középhőmérséklet, mint prediktorok ezen a napon megfigyelt legalacsonyabb és legmagasabb értékeit (2500 db adat) vettük figyelembe. A 22. és 23. ábrák alapján világos, hogy a csapadékos napokhoz alacsonyabb határ kapcsolódik. Magas (alacsony) előző napi pollenszámok magas (alacsony) aktuális határokat vonnak maguk után. Azonban a globálsugárzás csapadékos napokon, vagy a hőmérséklet a nem-csapadékos napokon szintén lényegesen befolyásolja ezt a határt, mivel mindkét mennyiség növekedése jelentősen megnövelt határokat eredményez. Szintén nyilvánvaló, hogy a megállapított kapcsolatok nem lineárisak; a linearitás esetében a felszíneknek síkokon kell elhelyezkedniük. A feltételek kevésbé kedvezőek a 20 pollenszem / m^3 levegő körüli pollenkoncentrációra, míg a magas előző napi pollenszámok magas globálsugárzással (csapadékos napok), vagy magas hőmérséklettel (nem-csapadékos napok) 70, illetve 120 pollenszem / m^3 levegő fölötti pollenkoncentrációt eredményeznek rendre a csapadékos, illetve nem-csapadékos napokra. Azonban, ha nem csupán a fent említett napot vesszük figyelembe, a létrejött feltételes határok időbeli menetét is megkaphatjuk a teljes 10 éves időszakra a prediktorok megfigyelt értékei mellett a (4.22.) egyenlet alkalmazásával. A 24. ábra azt fejezi ki, hogy a határ a pollenszórás kivételesen kedvező feltételei mellett 350, illetve 450 pollenszem / m^3 levegő fölé is emelkedhet rendre a csapadékos, illetve nem-csapadékos napokon. Ezek a pollenszámok is Szeged térségének igen jelentős parlagfűpollen szennyezettségét mutatják (Makra és Matyasovszky, 2011c).



22. ábra

A napi pollenkoncentráció (pollenszem / m^3 levegő) szintjének a határa csapadékos napokra augusztus 31.-én az előző napi pollenkoncentráció (pollenszem / m^3 levegő) és az előző napi átlagos globálsugárzás ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) függvényében

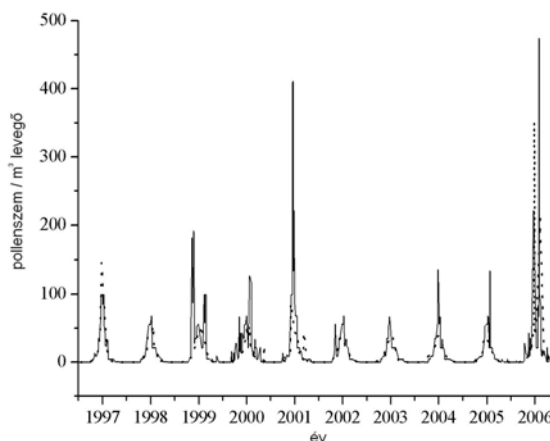


23. ábra

A napi pollenkoncentráció (pollenszem / m^3 levegő) szintjének a határa nem-csapadékos napokra augusztus 31.-én az előző napi pollenkoncentráció (pollenszem / m^3 levegő) és az előző napi középhőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) függvényében

10.3. Következtetések

Időfüggő lineáris regressziós és időfüggő nemparaméteres regressziós modelleket, továbbá egy időfüggő nemparaméteres medián regressziós modellt fejlesztettünk ki a napi parlagfűpollen koncentráció előrejelzésére Szegedre, előző napi meteorológiai paraméterek, valamint előző napi pollenszámok felhasználásával. A modelleket csapadékos és nem-csapadékos napokra alkalmaztuk. A számításokat saját fejlesztésű számítógépes programokkal hajtottuk végre.



24. ábra

A napi pollenkoncentráció tényleges feltételes határa
nem-csapadékos (folytonos) és csapadékos (pontosított) napokra

A legfontosabb prediktornak az előző napi pollenkoncentrációt találtuk, mely a célváltozó variációjának a 48,6%-át, illetve 45,3%-át magyarázta rendre a csapadékos és nem-csapadékos napokon. A stepwise regresszió végrehajtásával ezen kívül mindössze egy-egy prediktort tartottunk meg mindkét esetben, nevezetesen az előző napi átlagos globálsugárzást a csapadékos napokra, valamint az előző napi középhőmérsékletet a nem-csapadékos napokra. A két-két prediktor által együttesen megmagyarázott relatív variancia (az előrejelzés relatív pontossága) nagyobb a nem-csapadékos napokon (55,2%), mint a csapadékos napokon (51,9%). Ugyanakkor a varianciákat megvizsgálva, az előrejelzési teljesítmény valamivel jobb a csapadékos napokra, mint a nem-csapadékos napokra. Ha figyelembe vesszük a harmadik legfontosabb prediktort a csapadékos, illetve nem-csapadékos napokra, akkor rendre mindössze 0,3%-os (légnyomás), illetve 0,7%-os (relatív nedvesség) további variancia csökkenést kapunk. A nem-csapadékos napokon a napi középhőmérséklet szerepe nyilvánvaló: a parlagfű meleg és száraz éghajlaton fejlődik a legjobban. A csapadékos napokon az alacsony globálsugárzás a hőmérséklet csökkenését vonja maga után, ami mérsékli a pollenszórás intenzitását (pl. Giner et al., 1999; Galán et al., 2000). Megjegyzendő, hogy prediktorokként eredetileg nem csupán az előző napi pollenkoncentrációt és az előző napi meteorológiai változókat vettük figyelembe, hanem azok három nappal korábbi időpontig terjedő napi értékeit is. Azonban a 10.2.1. szakaszban említett prediktor kiválasztási eljárás az e fejezetben felhasznált prediktorok mellett döntött.

Nemparaméteres regresszió alkalmazása a két korábban említett prediktorra (az előző napi pollenkoncentráció és a napi átlagos globálsugárzás a csapadékos napokra, illetve az előző napi pollenkoncentráció és a napi középhőmérséklet a nem-csapadékos napokra), lényegesen jobb becsléseket eredményez, különösen a csapadékos napokra, amely világosan jelzi, hogy nemlineáris kapcsolat van a prediktorok és a pollenkoncentráció között. Nevezetesen, e prediktorok a célváltozó variációjának 71,4%-át, illetve 64,6%-át magyarázzák meg rendre a csapadékos, illetve a nem-csapadékos napokra.

A nemparaméteres medián regressziós modell átlagos abszolút hibája 21,2 pollenszem / m³ levegő (16,5 pollenszem / m³ levegő a csapadékos napokra, míg 23,2 pollenszem / m³ levegő a nem-csapadékos napokra), ami lényegesen (20,9%-kal) alacsonyabb, mint a nemparaméteres regresszió alkalmazásával kapott átlagos abszolút hiba. Mivel gyakorlati jelentősége az előrejelzési hibáknak van, nem pedig azok négyzetének, a nemparaméteres medián regressziós modell adja a legjobb becslést az itt vizsgált előrejelzési modellek közül. Ezeket az eredményeket a 13. táblázat összegzi, bemutatva a három statisztikai modellhez tartozó átlagos négyzetes hiba négyzetgyökét (RMSE), valamint az átlagos abszolút hibát (MAE). Itt az évi ciklus kifejezés arra az esetre utal, hogy amikor a prediktorokat elhagyjuk a modellekből, akkor az átlag, a medián, vagy a kvantilis becslését kapjuk.

Ami az év során fellépő legmagasabb kvantilis értékeket illeti, a kvantilis regresszió kisebb kvantiliseket ad (főként a 0,9 kvantilisre) a csapadékos napokon, mint a nem-csapadékos napokon, ami a pollenszórás kevésbé kedvező feltételeivel, valamint a pollenszemek levegőből való kimosódásával magyarázható. A napi parlagfűpollen koncentráció valószínűségi eloszlása jóval torzultabb a nem-csapadékos napokon, melyek a legnagyobb napi pollenszámokat mutatják, míg a valószínűségi eloszlás a csapadékos napokon koncentráltabb, és viszonylag kiegyensúlyozott parlagfűpollen koncentrációkat biztosít. A lehetséges koncentrációk alsó határait is kiszámítottuk a választott prediktorok különböző értékei mellett. A csapadékos napok – a csúscsökkentések eléréséhez kevésbé kedvező körülmények ellenére – 350 pollenszem / m³ levegő fölötti pollenszámokat is produkálhatnak, míg a nem-csapadékos napokon a csúscsökkentések 450 pollenszem / m³ levegő fölöttiek. Ezek a pollenszámok is megerősítik Szeged térségének igen jelentős parlagfűpollen szennyezettségét (Makra és Matyasovszky, 2011c).

13. táblázat

A becslések és az évi ciklusok (zárójelben) átlagos négyzetes hibájának a négyzetgyöke (RMSE) és átlagos abszolút hibája (MAE) a három statisztikai modellre (pollenszem / m³ levegő).

(**vastag:** a MAE legjobb becslése; *dőlt:* az RMSE legjobb becslése)

	paraméteres lineáris regresszió		nemparaméteres regresszió		nemparaméteres medián regresszió	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE
csapadékos nap	77,8 (112,2)	32,3 (58,4)	<i>61,7</i> (115,3)	25,6 (60,0)	63,2 (118,0)	16,5 (36,8)
nem-csapadékos nap	80,5 (120,3)	32,5 (54,8)	<i>67,5</i> (113,6)	27,2 (51,7)	68,8 (115,8)	23,2 (50,3)
összes nap	79,8 (117,9)	32,4 (55,9)	<i>66,1</i> (114,4)	26,7 (54,7)	67,1 (116,5)	21,2 (46,2)

11. A légúti megbetegedések többváltozós analízise és kapcsolatuk a meteorológiai paraméterekkel, valamint a fő biológiai és kémiai légszennyezőkkel

11.1. Bevezetés

A légszennyezettség a legfontosabb és egyre növekvő környezeti kockázat, aminek következményeként évente kb. 800.000 idő előtti elhalálozás történik világszerte (Cohen et al., 2005). Továbbá az allergiás légúti megbetegedések gyakorisága is jelentős, és növekvő tendenciát mutat az utóbbi három évtizedben, különösen az iparilag fejlett országokban (D'Amato et al., 2005). A szennyezett levegőhöz kapcsolódó legfontosabb egészségi hatások a finom részecskék révén kialakuló légúti és szív-érrendszeri betegségek, tüdőrák, az asztma súlyosbodása, akut és krónikus hörghurut, korlátozás a mindennapi tevékenységben, valamint az elvesztett munkanapok számának növekedése. Mindezek a társadalombiztosítási költségek évről évre történő jelentős növekedésével járnak. Összességében az egészségi hatások számos tényezőtől függenek: a légszennyező anyag jellemzőitől, a meteorológiai feltételektől, valamint az adott személy légszennyezettséggel szembeni kitettsége tartamától (Páldy et al., 2003).

A részecskék egészségre gyakorolt hatása függ a méretüktől, ugyanis a nagyobb méretű szemcsék megakadnak az orr nyálkahártyáján, míg a $2,5\text{ }\mu\text{m}$ -nél kisebb méretűek ($\text{PM}_{2.5}$) a legveszélyesebbek, mivel azok bejuthatnak a tüdőbe, befolyásolhatják a vér oxigénnel történő frissítését, és gyulladást, illetve súlyos szövödményeket okozhatnak. Ezek a részecskék rátaapadnak a pollenek felületére és magukat a polleneket is rendkívül allergénné teszik (Just et al., 2007). Szoros összefüggés mutatható ki egyrészt az allergia, az asztma, illetve egyéb légzőszervi megbetegedések előfordulása, másrészt a kémiai légszennyezettség mértéke között. Az iparilag fejlett országokban a légúti megbetegedések számának jelentős növekedése a nagyvárosok levegőjében található kémiai légszennyező anyagok és a biológiai légszennyezők (elsősorban pollen) együttes hatásának tulajdonítható (Andersen et al., 2007; Magas et al., 2007). Megállapították, hogy egyrészt bizonyos pollenfajták és kémiai anyagok, másrészt a légúti megbetegedések közötti kapcsolat erősebb volt ahhoz képest, mint amikor külön vizsgálták akár a kémiai légszennyezőknek (Alves et al., 2010), akár a pollenfajtáknak (Díaz et al., 2007) a légúti megbetegedésekre gyakorolt hatását.

Magyarország a rendkívül magas PM_{10} -szennyezettség miatti életvesztés tekintetében (évente csaknem 16.000 haláleset) – a lakosság számához viszonyítva – 38 európai ország közül a legrosszabb a helyzetben van (Barrett et al., 2008). Hazánk 100 ezer főnél nagyobb lélekszámú városaiban átlagosan 1 évvel, míg Budapesten átlagosan 3 évvel halnak meg hamarabb az emberek a levegő igen magas $\text{PM}_{2.5}$ szennyezettsége következtében (Páldy et al., 2003). Továbbá Magyarországon igen magas a levegő pollenkoncentrációja. A Kárpát-medencében a levegő parlagfűpollen szennyezettsége világviszonylatban a legnagyobb (Makara et al., 2005). Szegeden a légúti betegségekben szenvedők 83,7%-a érzékeny a parlagfű pollenjére (Makra et al., 2010b) (4. ábra).

E fejezet célja, hogy tanulmányozzuk a biológiai (pollen) és a kémiai légszennyezőknek, valamint a meteorológiai változóknak a légúti betegségekre gyakorolt hatását különböző korcsoportok, illetve évszakok szerint Szegedre (4. ábra). Az adatbázis egyedi a tekintetben, hogy a magyarázó változók fenti mindhárom kategóriáját tartalmazza, illetve a tekintetben, hogy a légúti betegségekkel kapcsolatos egyik legnagyobb adatkészlettel dolgozik a szakirodalomban.

A vizsgált adatbázis a következő. A meteorológiai változók közül a hőmérséklet, globálsugárzás, relatív nedvesség, tengerszinti légnyomás és a szélsébség napi átlagértékei; a kémiai változók közül a CO, NO, NO₂, SO₂, O₃ és PM₁₀ napi átlagos tömegkoncentrációi (Alves et al., 2010), továbbá két pollenváltozó, nevezetesen az *Ambrosia* napi pollenkoncentrációi, valamint a napi összes pollenszám (mind a 24 vizsgált taxon együttes napi pollenkoncentrációja), kivéve az *Ambrosia* napi pollenszámaikat. Mindkét pollenváltozót az *Ambrosia* pollenszezonjára (július 15. – október 15.) vizsgáltuk.

A légúti megbetegedésekben szenvedők napi száma Deszkről, a Mellkasi Betegségek Szakkórházából származik, amely a szegedi monitoring állomástól 10 km-re található (4. ábra, alsó panel). A gyermek betegek (0-14 év) igen alacsony gyakorisága miatt csupán 3 korcsoportot vizsgáltuk, nevezetesen a felnőtt betegeket (15-64 év), az idős betegeket (65 év, vagy afölött), valamint az összes beteget, beleértve a gyermek betegeket is. A vizsgált összes betegszám 133 464 fő (4. ábra; 1. táblázat).

A vizsgálatot az 1999-2007 közötti 9 éves adatbázisra, s ezen belül két adatkészletre, nevezetesen az *Ambrosia* pollenszezonjára (július 15. – október 15.), valamint a pollenmentes időszakra (október 17. – január 13.) végeztük el. Megjegyzendő, hogy a szombatokat, továbbá a vasár- és ünnepnapokat, amikor nem történt betegfelvétel, kizártuk a vizsgálatból. A pollenszezon tartamának megállapítására Galán et al. (2001) kritériumát (lásd: 3.2.2. szakasz) használtuk.

11.2. Eredmények

11.2.1. Cluster analízis és ANOVA

A clusteranalízis alkalmazásával előállítottuk 5 meteorológiai elem, vagyis a hőmérséklet, globálsugárzás, relatív nedvesség, légnyomás és szélsébség napi értékeinek a leginkább homogén csoportjait. Az *Ambrosia* pollenszezonjára, illetve a pollenmentes időszakra 5, illetve 4 clustert kaptunk (14a-b. táblázat).

A variancia analízis legalább a 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns eltérést mutatott ki az egyes clusterok átlagos betegszámai között. A Tukey teszt mindhárom korcsoportra (felnőtt betegek, idős betegek, illetve összes beteg) szignifikáns eltéréseket jelzett egyes clusterpárok napi átlagos betegszámai között. Ezt követően csak azon – különösen az extrém magas/alacsony napi átlagos betegszámokat tartalmazó – clusterpárokat vizsgáltuk tovább, amelyekben a fenti szignifikáns eltéréseket tapasztaltuk.

Az *Ambrosia* pollenszezonjára megállapítottuk, hogy a napi átlagos betegszámok a 3. clusterben a legnagyobbak mindhárom életkor kategóriára, ami leginkább az *Ambrosia* pollen, illetve a többi pollen maximális, illetve átlagos napi koncentrációira vezethető vissza (14a. táblázat). Ugyanakkor 4. cluster szolgáltatja a legalacsonyabb betegszámokat. Ez a két pollenfajta, illetve a kémiai változók (az O₃ kivételével) rendre mérsékelt, illetve alacsony koncentrációival magyarázható, melyekhez jelentősen hozzájárulhat az ebben a clusterben mért legnagyobb átlagos szélsébség (14a. táblázat).

Ami a pollenmentes időszakot illeti, a legnagyobb betegszámok mindhárom életkor kategóriára a 4. clusterhez tartoznak. Ez a baktériumok és vírusok szaporodásához kedvező viszonylag magas hőmérséklettel, valamint az erős szelekkel magyarázható, melyek a levegő kiszárítása révén elősegítik a légutak gyulladásos megbetegedéseit. Az anticiklonális jellegű 3. cluster mutatja a legalacsonyabb betegszámokat mindhárom életkor kategóriára, ami valószínűleg a téli igen alacsony hőmérsékletekkel magyarázható, ami hozzájárul a légúti fertőzések csökkenéséhez (Strausz, 2003) (14b. táblázat).

14a. táblázat
A meteorológiai és pollen paraméterek, valamint a betegszámok
cluster szerinti átlagértékei; az *Ambrosia* pollenszezonja
(**vastag:** maximum; *dőlt:* minimum)

cluster	1	2	3	4	5
paraméter	átlagértékek				
összes nap	68	41	26	94	137
gyakoriság (%)	18,6	11,2	<i>7,1</i>	25,7	37,4
hőmérséklet (°C)	23,3	16,9	20,5	24,9	<i>16,4</i>
globálsugárzás (W·m ⁻²)	211,1	155,3	176,4	223,6	<i>126,7</i>
relatív nedvesség (%)	66,1	72,2	68,6	<i>59,3</i>	75,0
légnomás (hPa)	1002,7	1009,4	<i>1001,7</i>	1005,3	1005,9
szélsebesség (m·s ⁻¹)	0,8	<i>0,5</i>	0,9	1,1	0,9
CO (μg·m ⁻³)	468,9	700,5	<i>425,1</i>	444,5	463,8
PM ₁₀ (μg·m ⁻³)	36,3	52,8	40,4	44,0	40,2
NO (μg·m ⁻³)	10,8	44,7	14,1	9,5	15,1
NO ₂ (μg·m ⁻³)	32,9	48,8	33,2	34,0	<i>31,8</i>
O ₃ (μg·m ⁻³)	41,8	26,2	36,3	58,4	29,2
SO ₂ (μg·m ⁻³)	<i>4,0</i>	5,5	4,9	4,9	6,0
<i>Ambrosia</i> (pollenszem / m ³ levegő)	91,7	43,3	593,2	46,2	57,9
összes pollen, kivéve <i>Ambrosia</i>	111,9	16,8	48,7	49,9	<i>14,1</i>
felőtt (15-64 év)	101,6	76,7	114,3	<i>74,5</i>	78,2
idős (≥65 év)	12,8	11,8	13,3	<i>10,5</i>	12,2
összes korcsoport	114,5	88,7	127,9	<i>85,1</i>	90,6

14b. táblázat
A meteorológiai és pollen paraméterek, valamint a betegszámok
cluster szerinti átlagértékei; pollenmentes időszak
(**vastag:** maximum; *dőlt:* minimum)

cluster	1	2	3	4
paraméter	átlagértékek			
összes nap	75	137	<i>44</i>	108
gyakoriság (%)	20,6	37,6	<i>12,1</i>	29,7
hőmérséklet (°C)	10,8	3,2	-2,7	5,7
globálsugárzás (W·m ⁻²)	62,1	38,9	36,2	44,8
relatív nedvesség (%)	<i>82,1</i>	87,6	93,1	87,1
légnomás (hPa)	1010,6	<i>1004,3</i>	1020,3	1008,5
szélsebesség (m·s ⁻¹)	0,6	<i>0,5</i>	0,5	1,4
CO (μg·m ⁻³)	788,2	812,4	729,7	<i>652,2</i>
PM ₁₀ (μg·m ⁻³)	79,2	53,2	61,6	52,6
NO (μg·m ⁻³)	35,9	40,6	28,0	31,9
NO ₂ (μg·m ⁻³)	40,4	38,0	5,2	36,0
O ₃ (μg·m ⁻³)	19,6	15,2	16,8	<i>11,3</i>
SO ₂ (μg·m ⁻³)	10,4	6,6	15,2	7,4
felőtt (15-64 év)	61,4	59,2	<i>50,2</i>	64,6
idős (≥65 év)	11,7	11,6	<i>10,1</i>	13,9
összes korcsoport	73,2	71,0	<i>60,3</i>	78,5

11.2.2. Optimális időlépcsők

Jóllehet vannak példák 8 napig terjedő hosszúságú időlépcsőkre is (Nascimento et al., 2006), a szakirodalomban a beteg szervezetnek a légszennyezettség kitettségre adott válaszában a leggyakrabban alkalmazott időkésés legfeljebb 3 napos (pl. Alves et al., 2010). Valószínű, hogy a magyarázó változók 3 napon belül fejtik ki a hatásukat a légúti betegségek kialakulásához (Knight et al., 1991). Pl. a pollenek azonnali allergiás reakciói 15-20 percen belül bekövetkezhetnek, bizonyos esetekben 8-10 órán belül mutatkoznak, míg az összes immunreakció a sejtekben a kitettséget követő 48-72 órán belül léphet fel (Petrányi, 2000). Az általunk választott időlépcső 0-3 nap között változik. Az életkor növekedésével egy tendencia figyelhető meg több nem-zéró időlépcső kialakulására. A meteorológiai elemek közül a globálsugárzás mutatja a legtöbb pozitív időbeli elmozdulást (jellemzően 2-3 nap) az idős betegek esetében, míg a relatív nedvesség jelzi a legtöbb nem-zéró időkésést (2-3 nap) a felnőttek esetében. Azonban a relatív nedvesség szerepe a pozitív időkésésekben lényegesen kisebb, mint a globálsugárzásé. (Az optimális időkésést úgy határoztuk meg, hogy a regressziós hiba a legkisebb legyen. A relatív nedvesség esetében kevésbé élesen rajzolódik ki az optimális napszámú időkésés, azaz a regresszió hibája ekkor kevésbé függ az időkéséstől, mint pl. a globálsugárzás esetén.) A kémiai légszennyezők közül leginkább a CO-hoz és az SO₂-hoz társíthatók pozitív időlépcsők mind a felnőttek, mind pedig az idős betegek esetében, továbbá az NO-hoz a felnőttek, míg a PM₁₀-hez az idősek esetében, ami jó egyezést mutat egyéb tanulmányok ide vonatkozó eredményeivel (pl. Orazzo et al., 2009). Az *Ambrosia* pollenszezonjában nem mutatható ki tipikus időlépcső az allergiában szenvedő egyik életkor kategóriában sem.

11.2.3. Faktoranalízis speciális transzformációval

Miután végrehajtottuk a faktoranalízist a felnőttek, az idősekre, és együttesen az összes korcsoportra, illetve egyenként mindkét időszakra (összesen 3x2=6 faktoranalízis), 7 illetve 6 faktort tartottunk meg az *Ambrosia* pollenszezonjára, illetve a pollenmentes időszakra. Ahhoz, hogy kiszámíthassuk a magyarázó változók (meteorológiai, kémiai és pollen-változók) fontossági sorrendjét a célváltozó (betegszámok) meghatározásában, a megtartott faktorok súlyait speciális transzformációval az 1. Faktorra transzformáltuk (15a-b. táblázat) (Jahn és Vahle, 1968).

Az *Ambrosia* pollenszezonjában a meteorológiai változók közül csupán a globálsugárzás és a szélsébség mutat szignifikáns kapcsolatot a betegszámokkal mindhárom életkor kategóriára, ami összhangban van Freitas et al. (2010) eredményeivel. A globálsugárzás erősebb pozitív szerepe a betegszámokban ekkor azzal magyarázható, hogy az elősegíti a pollenszórást. Az idősebb betegeknél ez a kapcsolat bár szignifikáns, de gyengébb, ami az ő esetükben a szenzitizáltság gyengülésével (hosszabb időlépcső) hozható kapcsolatba. A szélsébség szerepe kettős, ugyanis (1) az erős szelek a kórházi betegszámok csökkenéséhez vezethetnek azért, hogy a kémiai légszennyezők esetében mérsékelhetik a légszennyezettség koncentrációkat; másrészt (2) elősegíthetik a levegő kiszáradását, ezáltal növelhetik a légúti betegségek számát. Ez utóbbi hatás nagyobb lehet a pollenmentes időszakban, mivel ott a szélsébség arányosan változik az idős betegek számával (15b. táblázat).

Az *Ambrosia* pollenszezonjában a szélsébségnek a betegszámokkal való inverz kapcsolata feltételezi, hogy ekkor a szélnek a légszennyezettséget hígító hatása az uralkodó (15a. táblázat). A hideg pollenmentes időszakban a viszonylag magas hőmérsékletek és nagy szélsébségek növelhetik az idős betegek számát azok gyenge immunrendszere miatt. Ugyanis az idősek szél által kiszáritott levegőnek való ismételt kitettsége a légutak gyulladásához vezethet (15b. táblázat) (Strausz, 2003).

15a. táblázat

Speciális transzformáció.

A magyarázó változóknak a légúti betegségek számára, mint célváltozóra gyakorolt hatása és a magyarázó változók fontossági sorrendje a célváltozó meghatározásában az

1. Faktorra transzformált faktorsúlyaik alapján; az *Ambrosia* pollenszezonja

(szignifikancia küszöbök: *dőlt*: $\alpha_{0,05} = 0.056$; *vastag*: $\alpha_{0,01} = 0.074$)

magyarázó változó	betegek					
	felőtt (15-64 év)		idős (≥ 65 év)		összes korcsoport	
	súly	fontossági sorrend	súly	fontossági sorrend	súly	fontossági sorrend
betegszám	0,914	–	-0,983	–	0,918	–
hőmérséklet (°C)	0,081	10	0,021	13	0,067	10
globálisugárzás ($W \cdot m^{-2}$)	0,168	7	<i>0,134</i>	4	0,146	8
relatív nedvesség (%)	-0,163	8	0,057	10	-0,152	7
légnyomás (hPa)	-0,042	13	-0,103	7	-0,018	13
szélsebesség ($m \cdot s^{-1}$)	-0,220	5	0,142	2	-0,228	5
összes súly	0,675	–	0,457	–	0,611	–
CO ($\mu g \cdot m^{-3}$)	-0,255	3	0,095	8	-0,251	4
PM ₁₀ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	-0,314	2	<i>0,119</i>	5	-0,304	2
NO ($\mu g \cdot m^{-3}$)	-0,058	11	-0,032	12	-0,041	12
NO ₂ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	0,047	12	<i>-0,134</i>	3	0,059	11
O ₃ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	-0,230	4	0,272	1	-0,252	3
SO ₂ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	<i>-0,115</i>	9	0,070	9	<i>-0,119</i>	9
összes súly	1,018	–	0,722	–	1,025	–
<i>Ambrosia</i> (pollenszem / m ³ levegő)	0,553	1	<i>-0,117</i>	6	0,520	1
összes pollen, kivéve <i>Ambrosia</i>	0,199	6	-0,041	11	0,177	6
összes súly	0,752	–	0,158	–	0,697	–

Mind az *Ambrosia* pollenszezonjában, mind pedig a pollenmentes időszakban a kémiai légszennyezők összes súlya a legnagyobb mindhárom életkor kategóriát, illetve mindhárom magyarázó változó típust tekintve, és mindkét időszakban lényegesen nagyobb, mint a másik két magyarázó változó típus összes súlya. Ez azzal magyarázható, hogy az anticiklonális időjárási helyzetek, melyek a leggyakoribbak e két vizsgált időszakban, elősegítik a kémiai légszennyezők felhalmozódását, s így módon a magas légszennyezettség koncentrációk elősegítik a légúti betegségek számának a növekedését (15a-b. táblázat).

Az *Ambrosia* pollenszezonjában a pollenváltozóknak a második legnagyobb a súlya a felnőtt betegek, illetve az összes életkor kategória esetén, ami alapvetően az igen magas *Ambrosia* pollenszámokkal magyarázható (15a. táblázat). A felnőtt betegek az első három magyarázó változó, melyek a leginkább meghatározzák a betegszámokat, csökkenő sorrendben rendre az *Ambrosia*, PM₁₀ és az O₃. Az idős betegek kevesebb szignifikáns kapcsolatot találtak a magyarázó változók és a légúti betegségek száma között, továbbá a pollenváltozók ez esetben mutatják a legkisebb összes súlyt. Ekkor a legmagasabban rangsorolt magyarázó változók csökkenő sorrendben rendre az O₃, szélsebesség és az NO₂. Az *Ambrosia* pollen még szignifikáns kapcsolatot mutat a légúti betegségek számával, azonban a fontossági sorrendben mindössze a 6. helyen szerepel (15a. táblázat).

A pollenmentes időszakra fontossági sorrendben a kémiai változók vannak a legmagasabban rangsorolva (15b. táblázat). A legfontosabb magyarázó változók a felnőtt betegek esetében csökkenő sorrendben rendre a NO₂, hőmérséklet és PM₁₀; az idős betegek ugyancsak csökkenő sorrendben az O₃, szélsebesség és NO₂, míg az összes életkor kategóriára a NO₂, hőmérséklet és az O₃ (15b. táblázat).

A kémiai légszennyezőknek a monitoring állomáson mért tömegkoncentrációi nem csupán a helyi emissziók eredménye. A nagy távolságú transzport (Bozó et al., 2003) révén pl.

2009-ben a Szeged térségébe érkező SO₂, NO₂ és PM₁₀ a mért teljes tömegkoncentrációik rendre 18,8%-át, 4,9%-át és 24,8%-át tették ki a parlagfű pollenszezonjában, míg azok rendre 20,3%-át, 5,1%-át és 24,5%-át tartalmazták a pollenmentes szezonban (http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/).

15b. táblázat

Speciális transzformáció.

A magyarázó változóknak a légúti betegségek számára, mint célváltozóra gyakorolt hatása és a magyarázó változók fontossági sorrendje a célváltozó meghatározásában az

1. Faktorra transzformált faktorsúlyaik alapján; pollenmentes időszak

(szignifikancia küszöbök: *dőlt*: $x_{0,05} = 0.105$; *vastag*: $x_{0,01} = 0.138$)

magyarázó változó	betegek					
	felnőtt (15-64 év)		idős (≥ 65 év)		összes korcsoport	
	súly	fontossági sorrend	súly	fontossági sorrend	súly	fontossági sorrend
betegszám	0,993	–	0,943	–	0,992	–
hőmérséklet (°C)	0,168	2	0,165	4	0,188	2
globálisugárzás (W·m ⁻²)	0,048	8	-0,004	11	0,047	9
relatív nedvesség (%)	0,009	10	-0,083	9	-0,020	11
légnymás (hPa)	<i>0,110</i>	7	<i>0,124</i>	7	0,055	7
szélsebesség (m·s ⁻¹)	0,035	9	0,273	2	0,022	10
összes súly	0,370	–	0,649	–	0,331	–
CO (μg·m ⁻³)	-0,009	11	-0,126	6	-0,049	8
PM ₁₀ (μg·m ⁻³)	0,147	3	0,092	8	0,138	4
NO (μg·m ⁻³)	<i>0,120</i>	6	0,148	5	0,104	5
NO ₂ (μg·m ⁻³)	0,175	1	0,186	3	0,197	1
O ₃ (μg·m ⁻³)	-0,121	5	-0,351	1	-0,158	3
SO ₂ (μg·m ⁻³)	-0,124	4	-0,073	10	-0,091	6
összes súly	0,696	–	0,977	–	0,737	–

11.2.4. Időfüggő többváltozós lineáris regresszió

A betegszámoknak a magyarázó változók által megmagyarázott varianciája a betegszámok teljes varianciájához képest jóval nagyobb a felnőttekre, mint az idősekre (16. táblázat). Továbbá a felnőtt betegek számának évi ciklusa lényegesen nagyobb, ami azt feltételezi, hogy az idős betegek száma csupán kisebb mértékben függ a légszennyezettség koncentrációktól és a meteorológiai feltételektől. Ez azzal a szociális faktorról magyarázható, hogy az idősek hajlamosak alábecsülni krónikus betegségüket, s úgy tekintik azokat, mint az életkor természetes velejáróit. Ily módon az idősek gyakran nem fordulnak orvoshoz, illetve nem kérnek időben gyógykezelést (16. táblázat) (Johnson, 2005).

16. táblázat

A betegszámoknak a magyarázó változók által megmagyarázott relatív varianciája (%) a betegszámok évi ciklusával (évi ciklusa nélkül)

betegek	az <i>Ambrosia</i> pollen-szezonja	pollenmentes időszak
felnőtt	26,8 (50,0)	17,8 (21,2)
idős	19,9 (23,9)	9,9 (13,9)
összes korcsoport	26,5 (48,1)	13,8 (17,7)

Itt három kérdés merül fel. (1) Mi a magyarázó változók fontossági sorrendje a betegszámokra gyakorolt hatásuk erősségét tekintve? (2) Mennyi ezen változók relatív hozzájárulása az összes magyarázó változó által megmagyarázott varianciához? (3) Miként változnak a

betegszámok a magyarázó változók egységnyi változásával? Ami az (1) kérdést illeti, a magyarázó változók betegszámokra gyakorolt fontossági sorrendjének meghatározása a jól ismert stepwise regresszió módszerével történt (Draper és Smith, 1981).

A (2) kérdésre adandó válasz bonyolultabb a magyarázó változók közötti multikollinearitás miatt. Nevezetesen, az egyes változók által külön-külön megmagyarázott varianciák összege nagyobb, mint az összes változó által együttesen megmagyarázott variancia. Következésképp, sem az egyváltozós regressziók az egyes magyarázó változókkal, sem a többváltozós regresszió az összes változó felhasználásával nem alkalmas arra, hogy mennyiségileg meghatározzuk az egyes megmagyarázott varianciákat. Azonban elemi megfontolások azt mutatják, hogy az i -edik változó által megmagyarázott variancia $V - V_i$ és v_i között található, ahol V a teljes megmagyarázott variancia, továbbá v_i és V_i rendre az i -edik változó által megmagyarázott variancia, illetve az összes változó kivéve az i -edik változó által megmagyarázott variancia. Ennélfogva csupán a magyarázó változók által megmagyarázott varianciák terjedelmét mutatja a 17. táblázat.

17. táblázat

Az egyes magyarázó változók által megmagyarázott variancia és az összes magyarázó változó által megmagyarázott variancia aránya (%). Az egyes változók a stepwise regresszió által meghatározott fontossági sorrendjük szerint vannak feltüntetve. Csak azokat a változókat mutatjuk be, amelyeknek a teljes megmagyarázott varianciához való együttes hozzájárulása éppen meghaladja a 90%-ot. (X: szignifikáns a $p < 0.1$ valószínűségi szinten; X: szignifikáns a $p < 0.05$ valószínűségi szinten; X: szignifikáns a $p < 0.01$ valószínűségi szinten)

az <i>Ambrosia</i> pollenszezonja			pollenmentes időszak		
felőtt ¹	idős ²	összes ³	felőtt ¹	idős ²	összes ³
O₃: 15,8-31,7	O₃: 20,1-36,7	O₃: 16,8-46,6	PM₁₀: 14,6-18,5	NO: 10,0-17,1	GSF: 8,0-12,3
T: 1,5-10,9	T: 1,0- 5,0	T: 1,5-10,4	O ₃ : 7,9- 9,0	CO: 8,0-18,1	O ₃ : 10,9-12,3
GSF: 2,3- 6,4	NO ₂ : 5,0-10,0	GSF: 2,2- 6,0	RH: 3,4-19,1	SO ₂ : 8,0-14,1	RH: 4,3-20,3
NO: 3,8- 6,4	WS: 5,0- 6,0	NO: 3,7- 6,3	T: 7,9- 8,4	RH: 3,0-16,1	CO: 4,3-11,6
WS: 6,8-10,2	PM ₁₀ : 3,5-10,1	WS: 7,1-10,1	P: 0,2- 9,6	O ₃ : 13,1-16,1	NO ₂ : 12,3-13,8
PM ₁₀ : 6,0- 7,9	A: 2,5- 4,0	PM ₁₀ : 6,0- 8,2	GSF: 8,4-10,7	WS: 5,0- 9,0	P: 0,1- 9,4
P: 0,1- 5,3	GSF: 4,5- 5,0	P: 0,1- 5,0	SO ₂ : 5,6- 6,2	NO ₂ : 8,0-13,1	NO: 8,0-16,7
A: 5,7- 6,4	P: 0,0- 3,5	A: 4,9- 6,3	NO: 7,3-12,9	PM ₁₀ : 5,0- 5,1	T: 5,1- 9,4
RH: 1,1- 4,2	CO: 2,0- 4,0	RH: 0,7- 3,7			

T = hőmérséklet (°C); GSF = globálsugárzás (W·m⁻²); RH = relatív nedvesség (%); P = légnyomás (hPa); WS = szélesebbesség (m·s⁻¹); CO = szén-monoxid (μg·m⁻³); PM₁₀ = 10 μm-nél kisebb méretű részecskék (μg·m⁻³); NO = nitrogén-monoxid (μg·m⁻³); NO₂ = nitrogén-dioxid (μg·m⁻³); O₃ = ózon (μg·m⁻³); SO₂ = kén-dioxid (μg·m⁻³); A = *Ambrosia* (pollenszem / m³·levegő);
¹: felnőtt betegek; ²: idős betegek; ³: összes korcsoport;

Az *Ambrosia* pollenszezonjában a betegszámokat leginkább befolyásoló magyarázó változók az O₃ és a hőmérséklet mindegyik életkor kategóriára. A felnőtt betegek esetében a többi változó fontossága csökkenő sorrendben: globálsugárzás, NO, szélesebbesség, PM₁₀, légnyomás, *Ambrosia* és relatív nedvesség. Csaknem ugyanezek a változók a legfontosabbak az idős betegekre is, némileg eltérő sorrendben. Meglepő módon, az *Ambrosia* csupán a 6-8. legfontosabb magyarázó változó, amely befolyásolja a betegszámokat. A pollenmentes időszakban az O₃ a második legfontosabb faktor a felnőttekre, illetve az összes korcsoportra, de csak az ötödik az idősekre. A sorrend korcsoportok szerint változik. Pl. a legfontosabb változók a felnőttekre, idősekre, és az összes betegre rendre a PM₁₀, NO, s a globálsugárzás.

Ezenkívül a stepwise regresszió módszere révén azonosított magyarázó változók fontossági sorrendje nem ugyanaz, mint a statisztikai szignifikancia szintjének a sorrendje (17. táblázat). A szignifikancia ugyanis nemcsak a kapcsolat erősségétől függ, hanem a különböző változók adatainak a hosszától és autokorrelációitól is. A szignifikancia szinteket egy Monte Carlo szimulációs kísérlet segítségével határoztuk meg. Egy magyarázó változó autokorrelációit egy ennek a változónak a megfigyelt értékeihez illesztett elsőrendű

autoregressziós modellel közelítve, egy a betegszámoktól független idősort generáltunk az adott magyarázó változó időfüggő empirikus valószínűségi eloszlásfüggvénye alapján. Ezután a megfigyelt értékeket ezen szimulált adatokkal helyettesítettük és egy időfüggő többváltozós lineáris regressziót hajtottunk végre. Ezt követően meghatároztuk ezen regresszió segítségével a betegszámok átlagos négyzetes hibáját. Ezeket a lépéseket 1000 alkalommal ismételtük meg, majd ezen 1000 db szimulált átlagos négyzetes hiba empirikus valószínűségi eloszlásfüggvényéhez tartozó kvantilisok szolgáltatották a kritikus értékeket a 0-hipotézis ellenőrzésére, miszerint ezen magyarázó változó nem korrelál a betegszámokkal. Az eljárást mindegyik magyarázó változóra külön-külön végrehajtottuk.

18. táblázat
A regressziós együtthatók minimumai és maximumai az év folyamán

változó	az <i>Ambrosia</i> pollenszezonja						pollenmentes időszak					
	minimum			maximum			minimum			maximum		
	felölt ¹	idős ²	összes ³	felölt ¹	idős ²	összes ¹	felölt ²	idős ²	összes ³	felölt ¹	idős ²	összes ³
T	-3,61	-0,27	-3,96	5,28	0,01	5,83	-0,52	-0,55	-0,59	2,26	0,08	1,58
GSF	-0,03	-0,02	-0,03	0,38	0,01	0,40	-0,20	-0,02	-0,13	0,13	0,00	0,13
RH	-0,54	-0,06	-0,56	0,17	0,01	0,18	-0,77	-0,21	-0,82	0,29	0,05	0,35
P	-0,04	-0,01	-0,05	0,01	0,01	0,07	-0,03	0,00	-0,03	0,06	0,02	0,08
WS	-35,1	-2,61	-37,7	0,26	0,33	0,17	-4,11	0,00	-3,50	4,49	3,72	6,06
CO	-0,04	-0,01	-0,04	0,00	0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	0,01	0,01	0,00
PM ₁₀	-0,50	-0,03	-0,55	0,14	0,03	0,18	0,00	-0,04	-0,05	0,24	0,04	0,13
NO	-1,00	-0,11	-1,07	0,25	0,01	0,23	-0,15	-0,03	-0,18	0,27	0,09	0,38
NO ₂	-0,26	-0,07	-0,31	0,13	0,09	0,16	-0,42	-0,14	-0,68	0,21	0,08	0,47
O ₃	-1,20	-0,16	-1,37	0,60	0,03	0,10	-0,47	-0,20	-0,70	0,24	0,02	0,00
SO ₂	-1,54	-0,20	-1,75	0,63	0,18	0,99	-1,24	-0,09	-0,54	0,00	0,21	0,47
A	-0,08	-0,03	-0,11	2,78	0,24	3,05						
TP	-0,02	-0,13	0,00	0,34	0,02	0,59						

T = hőmérséklet (°C); GSF = globálisugárzás ($W \cdot m^{-2}$); RH = relatív nedvesség (%); P = légnyomás (hPa);

WS = szélsébség ($m \cdot s^{-1}$); CO = szén-monoxid ($\mu g \cdot m^{-3}$); PM₁₀ = 10 μm -nél kisebb méretű részecskék ($\mu g \cdot m^{-3}$);

NO = nitrogén-monoxid ($\mu g \cdot m^{-3}$); NO₂ = nitrogén-dioxid ($\mu g \cdot m^{-3}$); O₃ = ózon ($\mu g \cdot m^{-3}$); SO₂ = kén-dioxid ($\mu g \cdot m^{-3}$);

A = *Ambrosia* (pollenszem / m^3 -levegő); TP = összes pollen (pollenszem / m^3 -levegő);

¹: felnőtt betegek; ²: idős betegek; ³: összes korcsoport;

A betegszámoknak a magyarázó változók egységnyi változására történő megváltozása évi ciklust mutat, ugyanis a regressziós együtthatók függenek az éven belüli időpontoktól. Nyilvánvaló, hogy a magyarázó változóknak eltérő a hatása az év különböző szakaszaiban. Pl. a szélsébség fordítottan arányos a betegszámokkal az *Ambrosia* pollenszezonjában a szél légszennyezettség koncentrációkat mérséklő hatása miatt. Ugyanakkor a pollenmentes időszakban a szélsébség alapvetően pozitív kapcsolatot jelez a légúti betegségekkel, különösen a gyenge immunrendszerrel rendelkező idős betegek számával, mivel azoknak a levegő kiszáradását elősegítő erős szelek iránti ismételt kitettsége a légutak gyulladásához vezethet (Strausz, 2003). Ezenkívül a légúti betegségeket okozó baktériumok és vírusok működésének optimális feltételei eltérőek. Amíg pl. a tüdőgyulladást és egyéb légúti gyulladásokat előidéző *Mycoplasma bacteria* kedveli az alacsony relatív nedvességet (az *Ambrosia* pollenszezonja), addig a felső légúti fertőzéseket, valamint kötőhártyagyulladást okozó adenovírusok hatékonyabban fejtik ki a hatásukat magasabb relatív nedvesség mellett (pollenmentes időszak). A regressziós együtthatók minimumai és maximumai (18. táblázat) a magyarázó változók egységnyi változása melletti átlagos betegszám változás határait jelzik (Makra et al., 2009; Matyasovszky et al., 2011d).

11.3. Elemzés és következtetések

A légúti betegségeknek a meteorológiai feltételekre és a légszennyezettség koncentrációkra visszavezethető vizsgálata a népegészségügy fontos területe. Ez a fejezet a terület egyik legnagyobb adatbázisát tanulmányozza, továbbá egyedi a tekintetben, hogy a légúti betegségeket előidéző magyarázó változók (5 meteorológiai, 6 kémiai és 2 biológiai változó) három kategóriáját elemzi (egyéb tanulmányok csak a meteorológiai változókat és a kémiai légszennyezőket veszik figyelembe, a pollent figyelmen kívül hagyják). Mindemellett tudomásunk szerint ez idáig csak Kassomenos et al. (2008) tett kísérletet arra, hogy a meteorológiai elemeknek és a kémiai légszennyezőknek a légúti betegségekre gyakorolt hatását egyidejűleg tanulmányozza. Viszont a pollenek szerepét még ő sem vette figyelembe.

Clusteranalízist, valamint faktoranalízist speciális transzformációval és időfüggő többváltozós lineáris regressziót alkalmaztunk avégett, hogy megvizsgáljuk a magyarázó változóknek a légúti betegségekben játszott szerepét, illetve meghatározzuk azok fontossági sorrendjét és értékeljük hatásaikat. Az utóbbi két módszer új eljárásnak számít a szakirodalomban.

Az *Ambrosia* pollenszezonjában a betegszámok a 3. clusterben a legnagyobbak, melynek legjellegzetesebb komponensei az *Ambrosia* és a többi pollen rendre legmagasabb, illetve átlagos koncentrációi (14a-b. táblázat).

A pollenmentes időszakban az egyes életkor kategóriák legnagyobb betegszámai a 4. clusterhez köthetők, mely magas hőmérséklettel, a legnagyobb szélesebséggel, valamint alacsony légnyomással jellemezhető. A meteorológiai paraméterek ezen értékei ciklonális időjárási helyzetet feltételeznek, mely elősegíti a légszennyezettség koncentrációk felhígulását (a CO, PM₁₀ és az O₃ ebben a clusterben veszi fel a minimumát) (14b. táblázat). A kémiai légszennyezők alacsony koncentrációival szemben a viszonylag magas hőmérséklet kedvező a baktériumok és vírusok szaporodásához, míg az erős szelek a levegő kiszáritásával előnyös feltételeket teremtenek a légutak gyulladásos megbetegedéseikhez. Mindkét hatás jelentősen hozzájárul ezen cluster legnagyobb betegszámainak kialakulásához.

Az *Ambrosia* pollenszezonjában a faktoranalízis és a speciális transzformáció végrehajtásával feltártuk, hogy a légúti betegségeket előidéző legfontosabb paraméterek csökkenő sorrendben az *Ambrosia*, PM₁₀, CO, O₃ és a szélesebség a felnőtt betegek, továbbá az O₃, szélesebség, NO₂, globálsugárzás és PM₁₀ az idős betegek, valamint az *Ambrosia*, PM₁₀, O₃, CO és a szélesebség az összes korcsoportra. A betegszámok és a fenti változók közötti kapcsolat előjele negatív, kivéve az *Ambrosiát* minden egyes korcsoportra, valamint az NO₂-t az idős betegek (15a. táblázat). Ebben az időszakban az időfüggő lineáris regresszió révén kapott legfontosabb változók az O₃ negatív hatással minden egyes korcsoport betegsámaira; illetve a hőmérséklet, globálsugárzás, NO és a szélesebség a felnőtt betegek és az összes korcsoport betegeire; továbbá a hőmérséklet, NO₂, szélesebség és a PM₁₀ az idős betegek. Hatásaik előjele változó (17. táblázat). A szélesebség regressziós együtthatói meglehetősen nagyok, s ez megerősíti ennek a változónak a fontosságát (18. táblázat). A pollenmentes időszakban a faktoranalízis speciális transzformációval a következő magyarázó változókat találta a legfontosabbaknak: NO₂, hőmérséklet, PM₁₀, SO₂ és O₃ a felnőtt betegek; O₃, szélesebség, NO₂, hőmérséklet és NO az idős betegek; míg NO₂, hőmérséklet, O₃, PM₁₀ és NO az összes korcsoportra (15b. táblázat). E kapcsolatok előjele pozitív az O₃ és SO₂ kivételével. A magyarázó változóknak az időfüggő lineáris regresszió révén kapott fontossági sorrendje erősen változik az egyes korcsoportok szerint, azonban az O₃ ez esetben szintén kulcsfontosságú magyarázó változónak számít. A szélesebség szerepe lényegesen kisebb, ám a relatív nedvesség fontosabb, mint az *Ambrosia* pollenszezonjában.

Statisztikailag szignifikáns negatív kapcsolatot találtunk a CO koncentráció és a napi betegszámok között egyrészt a felnőtt betegek és az összes korcsoportra az *Ambrosia* pol-

lenszezonjában, másrészt az idős betegekre a pollenmentes szezonban. A CO-t számos tanulmány kapcsolatba hozza a légúti megbetegedésekkel. Míg Freitas et al. (2010) nem talált semmilyen statisztikailag szignifikáns kapcsolatot a légúti betegségek száma és a CO koncentráció között, addig Fusco et al. (2001), valamint Kassomenos et al. (2008) pozitív kapcsolatot mutatott közöttük. Ennélfogva a tartós, de alacsony CO koncentrációknak a légúti betegségekre gyakorolt hatása ez idáig nem világos (15a-b. táblázat).

Az *Ambrosia* pollenszezonjában szignifikáns negatív kapcsolat mutatkozott a légúti betegségek gyakorisága és a PM₁₀ koncentráció között mindhárom életkor kategóriára, míg a pollenmentes szezonban számottevő pozitív kapcsolatot figyeltünk meg közöttük a felnőtt betegek és az összes korcsoportra (15a-b. táblázat). Katsouyanni et al. (1996) és Fusco et al. (2001) feltételezték, hogy a gáznemű légszennyezők, különösen a CO és NO₂ fontosabb prediktorai az akut légúti megbetegedéseknek, mint a részecskék. Ezzel szemben ugyanők (Katsouyanni et al., 1996; Fusco et al., 2001) azt találták, hogy e tekintetben a fő légszennyezők közül a magas PM₁₀ koncentrációknak van domináns szerepe. Fusco et al. (2001) és Alves et al. (2010) szerint a részecskék és a légúti betegségek közötti kapcsolat nem szignifikáns, míg mások (pl. Freitas et al., 2010) azt találták, hogy a légúti betegségek száma a részecskékkel szembeni növekvő kitettséggel szignifikánsan emelkedett. Megjegyzendő, hogy a részecskék egészségi hatása komplex, mivel azok humán következményeit befolyásolja a méretük és összetételük is (Alves et al., 2010).

Az *Ambrosia* pollenszezonjában szignifikáns pozitív kapcsolatot találtunk a légúti betegségek gyakorisága és az NO₂ koncentrációk között az idős betegek, míg a pollenmentes időszakban jelentős pozitív kapcsolat mutatkozott az NO koncentrációk és a légúti betegségek gyakorisága között a felnőtt és idős betegek, valamint az NO₂ koncentrációk és a betegszámok között mindhárom életkor kategóriára (15a-b. táblázat). Jóllehet úgy gondoljuk, hogy az NO és NO₂ növelik a hajlamot a légúti betegségek iránt, a témakörben született tanulmányok következtetései az NO_x és a betegszámok kapcsolatát illetően nem egyértelműek. Pl. az NO₂ magas koncentrációi részben nem jeleznek szignifikáns kapcsolatot a légúti betegségek gyakoriságával (Alves et al., 2010), részben pedig növelik a légúti rendellenességekkel szembeni érzékenységet (Freitas et al., 2010). További példák a NO₂ szintek és a légúti betegségek közötti számottevő pozitív kapcsolatra Fusco et al. (2001) és Kassomenos et al. (2008) munkáiban találhatók.

Számos tanulmány feltételezi, hogy a magas O₃ koncentráció káros az egészségre, s szignifikáns pozitív kapcsolatot tártak fel az O₃ és a légúti betegségek gyakorisága között (pl. Kassomenos et al., 2008). Ezzel szemben mi azt tapasztaltuk, hogy az ózonkoncentráció statisztikailag szignifikáns negatív kapcsolatot mutatott a betegszámokkal mindhárom életkor kategóriára és mindkét vizsgált időszakra (15a-b. táblázat). Ez a legjellegzetesebb kapcsolat a légúti betegségek száma és a kémiai légszennyezők koncentrációi között, amelyet Alves et al. (2010) és Freitas et al. (2010) megállapításai is megerősítenek. Mivel az eredményeink alapján nincs bizonyíték arra, hogy a mért magas ózonkoncentrációk valóban károsak, ez a kapcsolat paradoxnak tűnik. E paradox ózon kapcsolatnak (POA = Paradoxical Ozone Association, Joseph, 2007) nevezett jelenség a motor üzemanyagában található metiléterek, illetve -észtetek égése során keletkező metil-nitritnek tulajdonítható. A metil-nitrit (CH₃NO₂) erősen mérgező vegyület – mely szoros kapcsolatban van az alkil-nitritekkel – s akut reakciókat vált ki a légutakban (Joseph és Weiner, 2002). Mivel a napsugárzásnak a fotokémiai oxidáció révén fontos szerepe van az ózonképződésben, a POA valószínűleg ezzel a nitrit szennyezőanyaggal magyarázható, amely a napsugárzás hatására gyorsan lebomlik. Ennélfogva a metil-nitrit negatívan korrelál az ózonnal. Mivel a napsugárzás ellentétes kapcsolatban van a metil-nitrittel, a leginkább akut metil-nitrit hatások télen várhatók (Joseph, 2007). [A metil-nitrit a rovarok, s ennél fogva a háziveréb és egyes énekesmadarak egyedszámcsökkenésének egy lehetséges oka Európában (Summers-Smith, 2007).] Az O₃ koncentráció és a légúti be-

tegségek közötti negatív korreláció a nyári időszakban (az *Ambrosia* pollenszezonja) a fentiek alapján azzal magyarázható, hogy a monitoring állomás egy forgalmas közlekedési csomópontban található (15a-b. táblázat).

Szignifikáns negatív kapcsolatot mutattunk ki az SO_2 koncentráció és a légúti betegségek száma között a felnőtt betegekre mindkét időszakban, s az összes korcsoportra az *Ambrosia* pollenszezonjában (15a-b. táblázat). A többi esetre a kapcsolat nem szignifikáns. Az SO_2 szerepével kapcsolatos korábbi megállapítások ellentmondásosak. Katsouyanni et al. (1996) nem talált számottevő kapcsolatot kén-dioxid szint és a légúti betegségek gyakorisága között, ugyanakkor más tanulmányok (Kassomenos et al., 2008; Alves et al., 2010) pozitív kapcsolatról számoltak be.

Az *Ambrosia* pollenkoncentrációi szignifikáns pozitív kapcsolatot mutattak a betegszámokkal mindhárom életkor kategóriára (15a. táblázat). Továbbá a többi pollen együttesen szintén pozitívan korrelál a betegségek gyakoriságával a felnőtt betegek és az összes korcsoportra. Hasonló eredményt kapott Carracedo-Martinez et al. (2008) is. Azonban az *Ambrosia* nélkül a többi pollenhez tartozó faktorsúlyok jóval kisebbek, jelezve, hogy utóbbiak hatása lényegesen kisebb a betegszámokra az *Ambrosia*éhoz képest (15a. táblázat).

Az idős betegek kapott eredmények mindkét időszakra számottevően eltérnek a többi életkor kategóriáétól (15a-b. táblázat), alapvetően a korábban említett szociális faktor miatt.

Egyrészt a faktoranalízis (15a-b. táblázat), másrészt a stepwise regresszió (17. táblázat) és a regressziós együtthatók (18. táblázat) eredményeinek az összehasonlítása világosan mutatja a magyarázó változók értékelésének a nehézségeit tekintettel azoknak a betegségek előfordulásában játszott fontossági sorrendjére, ami a változók közötti multikollinearitásnak tulajdonítható. A legnyilvánvalóbb erre az *Ambrosia* példája annak pollenszezonjában. A faktoranalízis alapján ez a legfontosabb – a betegszámokat befolyásoló – változó a felnőtt betegek és az összes korcsoportra, míg a stepwise regresszió csupán a 6-8. legfontosabb paraméterként kezeli azt. Ugyanakkor a 18. táblázat azt mutatja, hogy 10 pollenszem / m^3 levegő *Ambrosia* pollen koncentráció növekedés 28-30 fő betegszám emelkedést (24%) von maga után az idős betegek kivételével. Ez azzal magyarázható, hogy a betegszámokat szignifikánsan befolyásoló hőmérséklet, globálsugárzás, relatív nedvesség és szélsébség jól korrelálnak az *Ambrosia* pollen szintekkel, így módon a stepwise regressziós módszer előnyben részesíti a fent említett változókat az *Ambrosia*val szemben. Egy másik lényeges körülmény az, hogy amikor elvégezzük a faktoranalízist, akkor két tetszőleges változó közötti kapcsolat részben azok évi ciklusainak a hasonlóságával, részben pedig a centralizált adatok (az eredeti adatok és azok évi ciklusa közötti különbség) közötti korrelációval magyarázhatók. Továbbá, a tényleges magyarázó változók és a betegszámok közötti időlépcső bevezetésére – amelyet a faktoranalízis esetében nem alkalmaztunk – a regressziós megközelítés lehetőséget ad. Ezenkívül, ez a kapcsolat a faktoranalízis esetében időben állandó, míg az időfüggő lineáris regresszió megenged különböző típusú kapcsolatokat az év folyamán. Összegezve, az időfüggő regresszió a faktoranalízis révén nyert átfogó képnek egy finomítását adja.

Ami az ózont, mint az *Ambrosia* pollenszezonjában a leginkább szignifikáns változót illeti, $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ koncentráció növekedés a relatív betegszámban –17% változást idéz elő a szezon elején, illetve +11% változást a szezon végén. A hőmérséklet és a szélsébség gyengén szignifikáns magyarázó változók: 1°C hőmérséklet emelkedés 7-8% relatív betegszám növekedést von maga után a szezon elején, illetve annak 5%-os csökkenésével jár a szezon végén; míg a szélsébség $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ -al való növekedése 42-45% betegszám csökkenést okoz (az idős betegek kivételével). A szignifikáns magyarázó változók száma nagyobb a pollenmentes időszakban. A magyarázó változóknak az összes betegszámhoz való relatív hozzájárulása az év során a következő arányokon belül változik: –1.5% - +1.5% a globálsugárzásra, 0% - +8% az

O₃-ra, -10% - +5% a relatív nedvességre, -9% - +6% az NO₂-re és -3% - +6% az NO-ra, a fent említett változók rendre 10 W·m⁻², 10 µg·m⁻³, 10% és 10 µg·m⁻³ növekedése esetén.

A magyarázó változók és a légúti betegségek száma közötti közvetlen kapcsolat meghatározását nehezíti az egyes magyarázó változóknak a betegszámokra gyakorolt eltérő hatása a vizsgált időszakokban. Tipikus példa erre az O₃ inverz szerepe (lásd: a fent említett POA jelenség). További példák a hőmérséklet és a relatív nedvesség. Pl. az *Ambrosia* pollenszezonjában a hőmérséklet és a betegszámok között negatív (bár nem szignifikáns) kapcsolatot találunk az idős betegekre a faktoranalízis segítségével. Ezzel szemben a többi életkor kategóriára ebben az időszakban, valamint az összes korcsoportra a pollenmentes időszakban ez a kapcsolat pozitív. A belélegzett hideg levegő érszűkületet okoz a légutak nyálkahártyájában, ami elnyomja az immunválaszt, s ez utóbbi idézi elő a légúti fertőzések iránti megnövekedett érzékenységet (Mourtzoukou és Falagas, 2007). Másrészt a hőmérséklet növekedése is kapcsolatba hozható a légúti megbetegedésekkel, ugyanis a meleg levegő hozzájárul a légutakban található vírusok elszaporodásához (Omer et al., 2008). A relatív nedvesség mind negatív, mind pedig pozitív (a mi esetünkben nem szignifikáns) kapcsolatot jelezhet a betegszámokkal. A száraz levegővel szembeni ismételt kitettség a légutak összeszűküléséhez, és hiperreaktivitáshoz vezethet (Strausz, 2003). Továbbá az alacsony hőmérsékletek magas relatív nedvesség mellett kedveznek a vírusos légúti fertőzéseknek, amelyek erős szezonalitást mutatnak nagyobb betegszámokkal az év hideg szakában, illetve kisebb kitettséggel nyáron (Sloan et al., 2011). Ugyanakkor a relatív nedvességgel egyidejűleg történő hőmérséklet emelkedés kapcsolatba hozható a betegszámoknak a légutakban található vírusok elszaporodásához köthető növekedésével (Omer et al., 2008). Azonban a helyzet valójában sokkal bonyolultabb, mivel a hőmérsékletet nyáron a globálsugárzás szabályozza, télen viszont a hőmérséklet alapvetően a Kárpát-medencét uraló légtömegek termikus sajátosságaitól függ (Horváth et al., 2002) (Makra et al., 2009; Matyasovszky et al., 2011d).

12. Az allergén pollenek jellemzőinek trendjei Közép-Európában, Szeged példáján

12.1. Bevezetés

Kevesen vitatják napjainkban, hogy a Föld ökoszisztémája globális felmelegedésnek van kitéve. Ez a globális átlagos levegő- és óceánhőmérsékletek emelkedése, a hó és jégtakaró olvadása, valamint az emelkedő globális átlagos tengerszint emelkedés alapján nyilvánvaló. A rendelkezésre álló bizonyítékok arra utalnak, hogy számos ökoszisztémát befolyásolják a regionális klímaváltozások (pl. az emelkedő hőmérsékletek). A szárazföldi ökoszisztémákban a korábban kezdődő tavasz, az egyes taxonoknak a pólus felé, illetve a nagyobb tengerszint fölötti magasságok felé történő elmozdulása igen nagy megbízhatósággal a globális felmelegedésnek tudható be. Emellett jó esély van arra, hogy a regionális klímaváltozásnak a természetes és humán környezetre gyakorolt egyéb hatásai is felbukkannak. Ilyenek lehetnek a hőmérséklet növekedésnek a földhasználat, valamint az allergén pollenek paraméterei [a pollenszezon kezdőnapja, utolsó napja, tartama, évi maximális napi pollenszámok (ezután mindennütt: napi csúcs pollenszámok), extrém magas pollenszámú napok gyakorisága, valamint az évi összes pollenszám] változására gyakorolt hatása az északi félgömb magas és közepes szélességű régióiban (IPCC, 2007).

A pollenszezon fenti karakterisztikáinak napjainkban bekövetkező változásait számos tanulmány kimutatta. A pollenszezon fenológiai paramétereit illetően annak korábbi kezdetéről (Jäger et al., 1996; Emberlin et al., 1997; Emberlin et al., 2002; Clot, 2003; Teranishi et al., 2006; Emberlin et al., 2007a; Stach et al., 2007; Frei, 2008; Frei és Gassner, 2008b), korábbi befejezéséről (Jäger et al., 1996; Stach et al., 2007; Recio et al., 2010), hosszabb pollenszezonról (Stach et al., 2007), a pollenszezon mennyiségi paramétereit tekintve pedig a napi csúcs pollenszámok emelkedéséről (Jäger et al., 1996; Frei, 2008; Frei és Gassner, 2008b; Recio et al., 2010), az évi maximális napi pollenszám korábbi bekövetkezéséről (Jäger et al., 1996; Stach et al., 2007), valamint nagyobb évi összes pollenszámokról (Jäger et al., 1991; Jäger et al., 1996; Frei, 2008; Damialis et al., 2007; Frei és Gassner, 2008b; Cristofori et al., 2010; Recio et al., 2010) számolnak be. Ugyanakkor bizonyos taxonokra vagy trendet nem mutattak ki (Jäger et al., 1996; Frenguelli et al., 2002; Emberlin et al., 2007b), vagy lévén érzékeny a felmelegedésre, a pollenszezon paramétereinek ellentétes változásait figyelték meg (Latorre és Belmonte, 2004; Jato et al., 2009). Míg a pollenszezon fenológiai paramétereinek jelentős változásai a globális felmelegedéshez köthető magasabb hőmérsékleteknek köszönhetőek, addig a pollenszezon mennyiségi paraméterei mind a magasabb hőmérsékletekhez, mind a földhasználat változásaihoz (urbanizáció, a művelési mód változása, vagy a művelés felhagyása) kapcsolódnak (Frei és Gassner, 2008b). Kísérleti úton előidézett felmelegedés eredményei alapján (pl. Ziska et al., 2000) maga a felmelegedés növeli a biomasszát, ami fokozott virágzáshoz és a pollentermelés növekedéséhez vezet. Ugyanakkor ez a kapcsolat nem működik egy melegebb kontinentális éghajlaton, ahol az általános vízhiány a felmelegedéssel összefüggésben biomassza csökkenést okozhat, mivel a zárt füves területek megnyílnak, a sztyeppek félsivataggá válhatnak, az erdős területek pedig erdős sztyeppekké, vagy sztyeppekké degradálódhatnak.

Az elmúlt három évized során – a globális felmelegedéssel párhuzamosan – az aeroallergéneknek az allergiás betegségekben szenvedőkre gyakorolt növekvő hatása tapasztalható, ami az arra érzékeny páciensekben az allergiás légúti betegségek kialakulásának növekvő valószínűségét vonhatja maga után (Damialis et al., 2007; Stach et al., 2007). A pollenszezon fent említett fenológiai és mennyiségi jellemzői mellett további faktorok is, pl. a zárt terek szennyezett levegője és a környezeti levegő szennyezettsége is hozzájárulhatnak a légúti panaszok, illetve a mikrobiális stimuláció iránti csökkentett kitettség kialakulásához (Frei és Gassner, 2008). Ezenkívül a pollen és a légszennyező anyagok közötti kölcsönhatások úgy módosíthatják mind az allergének, mind a pollenek tulajdonságait, hogy a szenzitizált egyének könnyebben válhatnak érzékenyekké (D'Amato, 2011).

A pollenvizsgálatok ritkán adnak átfogó képet egy adott térségben előforduló összes taxon pollenszezonja fenológiai és mennyiségi jellemzőiről. Számos tanulmány mindössze egyetlen taxont (Emberlin et al., 2002; Latorre és Belmonte, 2004; Tedeschini et al., 2006; Emberlin et al., 2007a; Stach et al., 2007; Jato et al., 2009; Recio et al., 2010), vagy csupán néhány taxont (pl. Jäger et al., 1991; Emberlin et al., 2007b; Frei és Gassner, 2008b; García-Mozo et al., 2010) vesz figyelembe. Tudomásunk szerint ez idáig mindössze három tanulmány adott átfogó képet a regionális pollenflóráról, nevezetesen Clot (2003), Damialis et al. (2007) és Cristofori et al. (2010) munkái rendre 25, 16 és 23 taxon figyelembe vételével.

A pollenszezon legfontosabb dátumainak, továbbá a pollen mennyiségét leíró fő paramétereknek az ismerete igen fontos, hiszen ezek alapján a pollen eredetű légúti betegségekben szenvedőket időben tájékoztathatjuk a várható kedvezőtlen feltételekről. Azonban a klímaváltozás eltérő módon befolyásolhatja a különböző taxonok pollenszezonjának paramétereit. E fejezet célja 19 taxon pollenszezon paramétereinek a tanulmányozása Szeged térségére. A gyakorlatban a pollenszezon kezdőnapjának, befejező napjának, valamint az évi összes pollenszámoknak és az évi csúcs pollenszámoknak a trendjeit határoztuk meg minden egyes taxonra.

A meteorológiai változók közül a minimum hőmérséklet ($T_{\min}$, °C), maximum hőmérséklet ($T_{\max}$, °C), középhőmérséklet (T , °C), globálsugárzás (TR , $W \cdot m^{-2}$), relatív nedvesség (RH , %), szélsébség (WS , $m \cdot s^{-1}$) és a csapadék (R , mm) napi értékeit vettük figyelembe (4. ábra). Továbbá az alábbi 19 taxon napi pollenszámaikat vizsgáltuk: *Alnus* (éger), *Ambrosia* (parlagfű), *Artemisia* (üröm), *Betula* (nyír), *Cannabis* (kender), *Chenopodiaceae* (libatopfélék), *Juglans* (dió), *Morus* (eperfa), *Pinus* (fenyő), *Plantago* (útifű), *Platanus* (platán), *Poaceae* (fűfélék), *Populus* (nyár), *Quercus* (tölgy), *Rumex* (lórom), *Taxus* (tisza), *Tilia* (hárs), *Ulmus* (szil), és *Urtica* (csalán). Az egyes taxonok adatsorai hétnaposnál hosszabb adathiányokat nem tartalmaztak. A hiányzó adatokat mindkét irányból lineáris interpolációval becsültük (Damialis et al., 2007). A vizsgálatot az 1997-2007 közötti 11 éves adatsorokra végeztük el.

A legnagyobb pollenszórást mutató taxonok közül az *Ambrosia* nemzetségnek csupán egy faja található Szeged térségében, nevezetesen az *Ambrosia artemisiifolia* (közönséges parlagfű). Ez megtalálható mind a városi környezetben, mind pedig vidéken. A parlagfű előfordulása különösen gyakori a várostól nyugatra. Az uralkodó északnyugati szelek könnyen a város fölé szállíthatják a pollenjét. Mivel a Szegedtől északnyugatra lévő Homokhátságon nem szükséges tarlóhántást végezni talaj-előkészítés céljából a homokos talajok mechanikai tulajdonságai miatt, így a nyár végén a parlagfű igen nagy borítást képes elérni e tájban. Az elmúlt évek során Szeged térségében folytatott autópálya építési munkálatok miatt számos szántót hagytak fel a város közelében, ami szintén kedvezett a parlagfű terjeszkedésének. A *Poaceae* családból számos faj, nevezetesen az *Agropyron repens* (tarackbúza), *Poa trivialis* (sovány perje), valamint a *Poa bulbosa* (gumós perje) az érintetlen területeken, csakúgy mint a *Poa angustifolia* (karcsú perje) és *Alopecurus pratensis* (réti ecsetpázsit) az árterületeken, valamint a várost körülvevő árvízvédelmi töltések mentén jelentős egyedszámmal megtalálha-

tó. A *Populus* nemzetség esetében, a *Populus alba* (fehér nyár) és a *Populus canescens* (szürke nyár), mint természetes fajok, továbbá az I-273 nyár és a *Populus x euroamericana* (kanadai nyár), mint nemes fajták és utóbbiak változatai a leggyakoribbak a városban. Ugyanakkor az *Urtica* nemzetség – melynek egyedüli faja Szeged térségében az *Urtica dioica* (nagy csalán) – gyakran fordul elő a Tisza és Maros ártéri erdeinek az aljnövényzetében, utak és csatornák partján, valamint a város körüli akác ültetvényeken. Az *Urtica* gyakran mutatkozik a városi tér elhagyott füves területein is.

A többi taxon ritkán fordul elő. Az *Alnus* fajok csupán a szegedi botanikus kertben találhatók meg. Az *Artemisia*, *Cannabis*, *Chenopodiaceae* és *Rumex* pollenje érkezik akár az elhanyagolt városi területek felől és azok környezetéből, akár a tarlók, illetve legelők felől. A *Juglans*, *Pinus*, *Platanus*, *Taxus* és *Tilia* fajokat kizárólag közterekre és kertekbe ültették; nincsen természetes élőhelyük Szeged térségében. Azonban az 1960-as évektől a *Pinus* fajokat elkezdték széleskörűen ültetni egy erdősítési program keretében a Szegedtől északnyugatra lévő Homokhátságon. Pollenjük könnyen bejuthat a városba az északnyugati szelek révén. A *Morus* sugárutak mentén és köztereken található meg. A *Plantago* fajok a város és környezete természetes füves területein fordulnak elő. A *Populus* nemzetség természetes fajai és nemesített fajtái a Tisza és Maros menti fűz-nyár ártéri erdőkben jellegzetesek, mintegy összefüggő zöld folyosót képezve a folyók mentén. Továbbá ezen fajokat gyakran ültetik köztereken, illetve a városon kívül a közutak mentén, mint erdősávokat. A *Quercus* fajok a várost körülvevő töltések mentén, valamint a várostól északra fordulnak elő (Horváth et al., 1995; Parker és Malone, 2004).

A pollenszezont a Galán et al. (2001) által bevezetett kritérium alapján definiáljuk.

12.2. Eredmények

12.2.1. Évi trendek

A hiányzó napi pollenszámok az összes adat kevesebb, mint 5%-át teszik ki. A 19 taxon pollenszámai a vizsgált időszak összes pollenmennyiségének a 93,2%-át adják. A legnagyobb pollenszámokat mutató taxonok az *Ambrosia* (32,3%), *Poaceae* (10,5%), *Populus* (9,6%) és az *Urtica* (9,1%), melyek együttesen az összes pollentermelés 61,5%-át produkálják.

Az évi összes pollenszámok, továbbá a pollenszezon kezdőnapja, utolsó napja és tartama csupán néhány esetben eredményezett szignifikáns trendet. A szignifikanciának a Mann-Kendall (MK) teszten alapuló csökkenő szintjei szerinti sorrendben a *Populus*, *Taxus* és *Urtica* évi összes pollenszámai (TAPC) szignifikáns növekedést mutatnak (19. táblázat). Az évi csúcs pollenszámok (APP) legszámottevőbb változásai a szignifikancia csökkenő sorrendjében a *Populus*, *Alnus* és *Juglans* esetében tapasztalhatók (19. táblázat). A *Populus* és *Juglans* növekvő csúcs pollenszámokat, míg az *Alnus* csökkenő csúcs koncentrációkat jelez. Mindössze a *Poaceae* és *Urtica* esetében tapasztalható a pollenszezon tartamának szignifikáns növekedése. A legjelentősebb változások az *Urtica* viselkedésében figyelhetők meg, mivel mind az évi összes pollenszám, mind pedig a pollenszezon hossza (szignifikánsan korábbi kezdőnappal és későbbi utolsó nappal) számottevően növekszik. A *Populus* pollenszezonjában nincsen változás, ugyanakkor mind az évi összes pollenszámai, mind az évi csúcs pollenkoncentrációi határozottan növekednek. Jóllehet a pollenszezon teszt statisztikáinak a többsége statisztikailag nem szignifikáns, a 19 taxon pollenszezonját tekintve annak korábbi kezdőnapjai, illetve későbbi utolsó napjai, azaz hosszabb pollenszezon felé hajló tendencia figyelhető meg (19. táblázat).

Megjegyzendő, hogy mindössze néhány szignifikáns trendet azonosítottunk a 19 taxon pollenszezonjának összes karakterisztikáira. Ez nem meglepő, ugyanis a vizsgált jellemzők évek közötti változékonysága (varianciája) elég nagy, ugyanakkor az adatsorok elég rövidek. Egy 10 elemű adatbázis a legrövidebb, amelyre az MK teszt végrehajtható (pl. Önöz és Bayazit, 2003). Nekünk 11 elemű adatbázisaink vannak, tehát az MK teszt elvégezhető, bár az MK teszt statisztikák kritikus értékei a „nincsen trend” 0 -hipotézis elvetésére meglehetősen magasak a rövid adatsorok miatt. Ahhoz, hogy mélyebb bepillantást nyerhessünk a pollenkoncentrációk általános trendjébe, az alábbiakban részletesen elemezzük a napi trendeket.

19. táblázat

Az évi összes pollenszámoknak (TAPC) (pollenszem / m³ levegő / 10 év), az évi csúcs pollen koncentrációnak (APP) (pollenszem / m³ levegő / 10 év), valamint a pollenszezon kezdőnapjának, utolsó napjának, és tartamának (napok / 10 év) változása lineáris trendekkel számolva. A Mann-Kendall teszt szignifikáns értékeit *** (1%), ** (5%) és * (10%) jelzik.

Taxon	TAPC	APP	pollenszezon		
			kezdőnap	utolsó nap	tartam
<i>Alnus</i>	-207	-59*	18	16	-2
^aAmbrosia	229	230	14*	-9	-22
<i>Artemisia</i>	-61	-133	-4	15	19
<i>Betula</i>	-60	0	-1	2	3
<i>Cannabis</i>	47	-4	8	36**	28
Chenopodiaceae	-175	-9	-2	3	5
<i>Juglans</i>	253	30*	-8	-7	1
<i>Morus</i>	400	44	-7	-4	3
<i>Pinus</i>	-194	-20	-2	-1	0
<i>Plantago</i>	91	3	-23**	19	4
<i>Platanus</i>	271	48	-7	-3	4
^aPoaceae	176	43	-1	17*	27***
^aPopulus	2981**	610**	-2	3	4
<i>Quercus</i>	236	25	4	9	5
<i>Rumex</i>	-505	-45	-11**	3	15
<i>Taxus</i>	697*	59	-4	29***	32
<i>Tilia</i>	-65	-1	-4	-1	3
<i>Ulmus</i>	-160	-12	5	-13	-18
^aUrtica	1183*	25	-13**	18**	31***

^a **vastag:** a legnagyobb pollenszórást mutató taxonok;

* a trend a 10%-os valószínűségi szinten szignifikáns;

12.2.2. Napi trendek

MK teszteket hajtottunk végre és lineáris trendeket becsültünk a 19 vizsgált taxon pollenszezonjainak minden egyes napjára, nevezetesen a 11 éves időszak egyenként 11 elemű pollenkoncentráció adatsoraira. Az ily módon végrehajtott trendanalízis a trendek évi ciklusairól tájékoztat. Ha a pollenszezon egyetlen napján sincsen trend, akkor az MK teszt értékek normális eloszlásúak 0 várható értékkel és 1 varianciával. Ennélfogva, ha egy trend létezéséről döntünk, az azonos azzal a problémával, hogy vajon a napi MK teszt értékek évi átlaga azonosnak tekinthető-e nullával. A klasszikus t -próbát egyszerűsítettük, mivel a variancia ismert ($=1$), ugyanakkor módosítottuk az egymást követő MK teszt értékek közötti autokorrelációk miatt. Elsőrendű autoregresszív [AR(1)] modelleket használtunk ezen autokorrelációk leírására (lásd: 4.2.12. szakasz). Ha átlagoljuk a lineáris trendek napi meredekségeinek értékeit a pollenszezon napjaira, akkor megkapjuk az évi összes pollenszámok változásának a mértékét. A 20. táblázat azt mutatja, hogy az 5%-os valószínűségi szinten 11 taxon évi összes pollenszámai mutatnak szignifikáns trendet a 19 taxonéi közül, s e 11-ből csupán 7 jelez növekvő trendet. Azonban megtörténhet, hogy a pollenszezon pozitív és nega-

tív trendeket mutató periódusokból áll, ami miatt az MK teszt értékek átlaga nem ad átfogó (teljes évre számított) trendet 5 (10%-os valószínűségi szint), illetve 8 (5%-os szint) taxonra. Ezt a lehetőséget az alábbiakban vizsgáljuk meg.

20. táblázat

A napi lineáris trendekből számított évi összes pollenszám változás (pollenszem / m³ levegő / 10 év).

A módosított *t*-próbára a napi Mann-Kendall teszt értékek segítségével kiszámított szignifikáns értékeket *** (1%), ** (5%) és * (10%) jelzik.

Taxa	TAPC
<i>Alnus</i>	-214
^a <i>Ambrosia</i>	-1170
<i>Artemisia</i>	-60
<i>Betula</i>	-60
<i>Cannabis</i>	47*
Chenopodiaceae	-175**
<i>Juglans</i>	253***
<i>Morus</i>	400***
<i>Pinus</i>	-194***
<i>Plantago</i>	91**
<i>Platanus</i>	271**
^a Poaceae	176
^a <i>Populus</i>	2981***
<i>Quercus</i>	236*
<i>Rumex</i>	-505***
<i>Taxus</i>	678***
<i>Tilia</i>	-65*
<i>Ulmus</i>	-160***
^a <i>Urtica</i>	1183***

^a **vastag:** a legnagyobb pollenszórást mutató taxonok;

* a trend a 10%-os valószínűségi szinten szignifikáns;

Nyilvánvaló, hogy az MK teszt statisztikáknak nagy a változékonysága. Emiatt a napi MK teszt értékeket nemparaméteres regressziós módszerrel simítottuk (lásd: 4.2.1. szakasz). Ha egyetlen napon nincs trend, akkor a becsült sávszélesség rendkívül nagy (gyakorlatilag végtelen), ami egy 0-hoz közeli meredekségű vonalat eredményez, mivel a napi trendek évi ciklusához történő lokális lineáris közelítés globálisan lineáris lesz. A simítás során minden egyes taxonra jól definiált véges sávszélességet nyertünk, ami trendeket jelez az *Alnus*, *Ambrosia*, *Artemisia*, *Betula* és a Poaceae taxonjaira is, amelyek a teszt statisztikák simítása nélkül még a 10%-os szignifikancia szinten sem mutatnak teljes évre számított átfogó trendet.

12.2.3. Az éghajlati változók közötti kapcsolatok

MK teszteket hajtottunk végre és lineáris trendeket becsültünk a teljes év minden egyes napjára és minden egyes éghajlati változóra. A napi MK teszt értékek átlagolása révén megállapítható, hogy a globálsugárzás, a relatív nedvesség és a szélsősebesség (még a 0,1%-os valószínűségi szinten is) szignifikáns növekvő trendet mutat. Ugyanakkor a minimum-, maximum- és a középhőmérséklet, valamint a csapadék nem jelez semmilyen átfogó (teljes évre számított) trendet egyetlen elfogadható szignifikancia szinten sem. Azonban a napi MK teszt értékek simításával pozitív és negatív trenddel rendelkező szakaszokat kaptunk az éven belül a középhőmérsékletre és a csapadéokra. A minimum- és a maximum hőmérséklet figyelembe vétele felold egy paradoxont, nevezetesen a globálsugárzás évi növekedése nem vonja maga után a középhőmérséklet évi növekedését. Ha a T_{max}-ot vesszük figyelembe T helyett, akkor a fenti eredmény még inkább nyilvánvaló, ugyanis a T_{max} élesebben változik az éven belül, mint

a T. Ez azzal magyarázható, hogy a TR növekedése jobban befolyásolja a $T_{\max}$ -ot (kora délután) mint a $T_{\min}$ -t (hajnalban, kora reggel).

Megvizsgáltuk, hogy van-e kapcsolat egyrésről a pollenkoncentrációk, másrésről az éghajlati változók trendjei napi meredekségeinek évi ciklusai között. Ezen összefüggések jellemzésére bevezettünk egy kapcsolati mérőszámot (AM) oly módon, hogy kiszámítottuk a 4.2.12. szakaszban leírt nemparaméteres trend becslési eljárás révén kapott meredekségek évi ciklusai közötti korrelációkat. Ezt a mennyiséget mégsem nevezhetjük korrelációnak, ugyanis a korrelációt véletlen változókra definiáljuk, viszont nekünk determinisztikus függvények (évi ciklusok) közötti hasonlóságok mértékét kell meghatároznunk. E paraméter értékeit a 21. táblázat tartalmazza.

21. táblázat

Egyrésről a pollenkoncentrációk, másrésről az éghajlati változók trendjei napi meredekségeinek évi ciklusai közötti kapcsolati mérőszámok (^aAM), illetve a többszörös kapcsolati mérőszám (MAM) az egyes taxonokra

taxon	^a AM							^b MAM
	$T_{\min}$	$T_{\max}$	T	R	TR	RH	WS	
<i>Alnus</i>	0,718*	0,775*	0,742*	0,313	-0,028	-0,620*	-0,455	0,992
^c <i>Ambrosia</i>	0,100	0,207	-0,641*	0,398	0,049	0,087	0,223	0,827
<i>Artemisia</i>	-0,249	0,676*	-0,486	0,140	-0,004	-0,230	-0,049	0,998
<i>Betula</i>	-0,689*	-0,192	-0,544*	-0,663*	-0,006	0,542*	0,070	0,973
<i>Cannabis</i>	0,602*	-0,559*	0,763*	-0,531*	-0,152	0,106	-0,147	0,993
Chenopodiaceae	0,071	0,306	-0,869*	0,644*	0,047	0,112	0,307	0,965
<i>Juglans</i>	0,271	-0,392	-0,466	0,613*	-0,129	-0,726*	0,452	0,925
<i>Morus</i>	0,329	-0,668*	-0,874*	0,821*	-0,216	-0,893*	0,684*	0,978
<i>Pinus</i>	0,093	0,144	0,241	-0,269	-0,160	-0,294	-0,079	0,963
<i>Plantago</i>	0,183	-0,642*	-0,093	0,337	-0,131	0,371	0,490	0,947
<i>Platanus</i>	0,308	-0,265	-0,354	0,368	-0,020	-0,576*	0,328	0,948
^c <i>Poaceae</i>	-0,088	-0,649*	-0,816*	0,826*	-0,057	0,309	0,643*	0,959
^c <i>Populus</i>	0,361	0,358	0,395	0,407	-0,093	-0,378	-0,349	0,869
<i>Quercus</i>	-0,046	0,165	0,360	0,616*	-0,076	-0,640*	-0,062	0,911
<i>Rumex</i>	-0,093	-0,026	0,450	-0,244	-0,060	-0,365	-0,087	0,979
<i>Taxus</i>	0,618*	0,305	0,428	0,446	0,010	0,009	-0,264	0,985
<i>Tilia</i>	0,284	-0,378	-0,171	0,327	0,062	-0,106	0,428	0,973
<i>Ulmus</i>	0,381	0,565*	0,462	0,063	-0,069	-0,766*	-0,256	0,934
^c <i>Urtica</i>	-0,467	0,612*	0,451	-0,396	0,076	-0,580*	-0,705*	0,827

$T_{\min}$: minimum hőmérséklet (°C), $T_{\max}$: maximum hőmérséklet (°C), T: középhőmérséklet (°C),

R: csapadékösszeg (mm), TR: globálsugárzás ($W \cdot m^{-2}$), RH: relatív nedvesség (%), WS: szélesség ($m \cdot s^{-1}$);

^aAM (kapcsolati mérőszám): egyrésről a pollenkoncentrációk, másrésről az éghajlati változók trendjei napi meredekségeinek évi ciklusai közötti kapcsolat szorosságát jelzi az egyes taxonokra;

^bMAM (többszörös kapcsolati mérőszám): azt mutatja, hogy a pollenkoncentráció napi trendjei meredekségeinek az évi ciklusát mennyire jól írja le az éghajlati változók napi trendjei meredekségei évi ciklusainak egy lineáris kombinációja. A MAM értéke 0 és 1 között változik, s 1-hez közelít, ha a fent említett kapcsolat egyre szorosabb (Meyer, 2001).

^cvastag: a legnagyobb pollenszórást mutató taxonok;

*AM > |0,5| erős kapcsolatot jelez;

A fenti kapcsolatot részleteiben csupán az *Ambrosia*, *Poaceae*, *Populus* és *Urtica* taxonjaira (**vastag**)

vizsgáltuk, melyek a legnagyobb évi összes pollenszámokat produkálják a vizsgált 11 éves időszakra.

(1) magas érzékenység: MAM > 0,950, 11 taxon; *Artemisia*, *Cannabis*, *Alnus*, *Taxus*, *Rumex*, *Morus*, *Betula*, *Tilia*, *Chenopodiaceae*, *Pinus* és *Poaceae*;

(2) közepes érzékenység: 0,900 < MAM ≤ 0,950, 5 taxon; *Platanus*, *Plantago*, *Ulmus*, *Juglans* és *Quercus*;

(3) alacsony érzékenység (közömbös): MAM ≤ 0,900, 3 taxon; *Populus*, *Ambrosia* és *Urtica*;

A táblázat utolsó oszlopa egy átfogó (teljes évre számított) mérőszámot, ún. többszörös kapcsolati mérőszámot (MAM) tartalmaz, amely azt mutatja, hogy a pollenkoncentráció napi trendjei meredekségeinek az évi ciklusát mennyire jól írja le az éghajlati változók napi trendjei meredekségei évi ciklusainak egy lineáris kombinációja. A MAM értéke 0 és 1 között változik, s 1-hez közelít, ha a fent említett kapcsolat egyre szorosabb. Valójában a MAM értékét úgy számítjuk ki, mint egy valószínűségi változó, illetve számos egyéb valószínűségi változó közötti többszörös korrelációt, azonban ismételt megjegyzendő, hogy azt nem szabad korre-

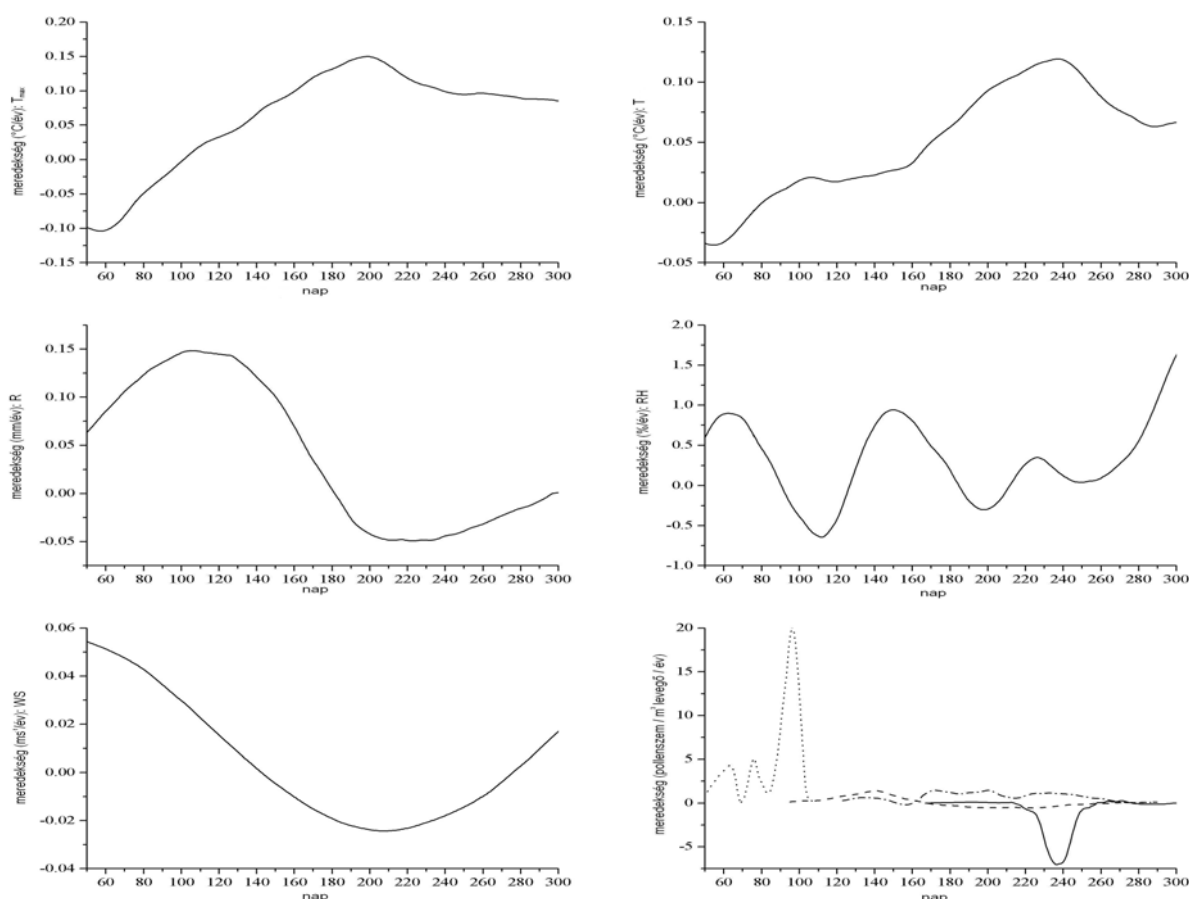
lációnak tekinteni. Az AM és a MAM értékeinek kiszámítása a lineáris algebra elemi megfontolásain alapszik (lásd: pl. Meyer, 2001, 5.15. fejezet).

A pollenkoncentráció napi trendjei meredekségeinek évi ciklusa, illetve az éghajlati változók napi trendjei meredekségeinek évi ciklusai közötti kapcsolatot a 19 taxon közül csupán azokra vizsgáltuk részletesen, amelyek a tekintett 11 éves időszakra a legnagyobb évi összes pollenszámokat mutatják, nevezetesen az *Ambrosia* (32,3%), *Poaceae* (10,5%), *Populus* (9,6%) és az *Urtica* (9,1%) taxonjaira (25. ábra; 21-22. táblázat). A középhőmérséklet legnagyobb emelkedése különösen nyáron (augusztus) korlátozhatja az *Ambrosia* pollentermelését. Ebben az időszakban a vízhiány gondot okozhat a növénynek, így ahhoz, hogy vizet tartson vissza a fejlődéséhez, csökkenti a pollentermelését. Ez az oka annak, hogy az AM negatív kapcsolatban van a középhőmérséklettel (T). A *Poaceae* nagy mennyiségű biomasszát produkál az átlagosnál csapadékosabb években, amely összhangban van a nagyobb pollentermelésével. Az élőhelyek szignifikáns változásai, pl. a füves területek zónáinak eltolódásai (Deák, 2010) szintén befolyásolhatják ezen taxon pollentermelését, mivel nedvesebb környezetben nagyobb biomasszával rendelkező közösségek (amelyekben a *Molinia* vagy az *Alopecurus* az uralkodó) jelenhetnek meg a kivételesen sok csapadék következtében. Ugyanakkor a magas maximum- és középhőmérsékletek a fűféléknél vízhiányhoz vezethetnek a legszárazabb nyári időszakban, ami komolyan visszavetheti a pollentermelésüket. Így ők inkább vizet tárolnak, semmint pollent termelnek. A *Populus* esetében, bár a MAM értéke önmagában magas, azonban relatíve mégis alacsony, ami az éghajlati elemek és a pollenszámok közötti nem lényeges kapcsolatokkal magyarázható. Az *Urtica* pollentermelését az emelkedő maximum hőmérsékletek segítik, és ez az oka annak, hogy e taxon pollenszórása korábban kezdődik és tovább tart (19. táblázat; 21-22. táblázat) (Makra et al., 2011d).

12.3. Elemzés és következtetések

A klímaváltozás eltérő módon módosíthatja a különböző taxonok pollenszezonjának jellemzőit és lényeges hatást gyakorolhat az élőhelyekre. E fejezet a szegedi régió pollenflórájának egy átfogó spektrumát elemzi. Tudomásunk szerint a szakirodalomban ez idáig mindössze három korábbi tanulmány (Clot, 2003; Damialis et al., 2007; Cristofori et al., 2010) vizsgálta a regionális pollenflóra hasonlóan átfogó spektrumait. E fejezet az egyik legnagyobb spektrumot elemzi 19 taxonnal, és egyedi a tekintetben, hogy a vizsgált taxonok pollenszámainak és a 7 éghajlati változónak a napi trendjeit határozza meg. Ez a fajta trendanalízis információt nyújt a trendek napi meredekségeinek évi ciklusairól.

Az évi trendeket tekintve megállapítottuk, hogy csökkenő sorrendben a *Populus*, *Taxus* és *Urtica* évi összes pollenszámai szignifikáns növekedést mutatnak. Továbbá az évi csúcs pollenszámokra a *Populus* és *Juglans* jelzi a legnagyobb növekedést, míg az *Alnus* mutatja a legnagyobb csökkenést. A pollenszezon hossza csupán a *Poaceae* és *Urtica* esetében növekszik számottevően. A napi lineáris trendekből számított évi összes pollenszám változás az 5%-os valószínűségi szinten 19 taxon közül 11 esetében mutat szignifikáns trendet, s ezen 11 taxon közül 7 jelez növekvő trendet. Ezenkívül az összes taxon minden egyes pollenszezon jellemzőjét figyelembe véve a kapott 30 szignifikáns érték közül (beleértve a 10%-os valószínűségi szinthez tartozó trendtendenciákat is) 21 (70%) volt pozitív, ami a trendjeik növekedését jelzi (19-20. táblázat). A napi MK teszt értékek átlagai szignifikáns növekvő trendeket jeleznek a globálsugárzás, a relatív nedvesség és a szélsőbesség esetében. Azonban a hőmérséklet és a csapadék nem mutat szignifikáns trendeket. Mindazonáltal a napi Mann-Kendall teszt értékek simítása pozitív és negatív trendekkel rendelkező szakaszokat jelez az éven belül e két utóbbi változóra.



25. ábra

A napi lineáris trendek meredekségeinek évi ciklusai a maximum hőmérsékletre ($T_{\max}$), a középhőmérsékletre (T), a csapadékösszegre (R), a relatív nedvességre (RH) és a szélsőbességre (WS), illetve az *Ambrosia* (folytonos), *Poaceae* (szaggatott), *Populus* (pontosított) és *Urtica* (szaggatott pontosított) taxonjaira

Az *Ambrosia* pollenszámai csekély növekedést mutatnak az évi lineáris trendek alapján (19. táblázat), ami összhangban van azzal, hogy egy mérsékelt melegedés kedvez a melegtűrő *Ambrosianak*. Azonban csökkenő napi lineáris trendek (20. táblázat; 25. ábra, augusztus második fele) is megfigyelhetők, amelyek a legmelegebb nyári időszakban a vízhiánnyal magyarázhatók (25. ábra, a csapadék napi lineáris trendjei meredekségeinek évi ciklusa). Mivel a parlagok legeltetése, kaszálása még csak kivételes, így a parlagfű élőhelye nem zsugorodik a fiatal parlagokon. A *Poaceae* a regenerálódó parlagok következtében növekvő pollenszámokat mutat, azonban a trend nem szignifikáns. Az idős parlagokon a fűfélék a jellemzők, ami a fű borította területek kiterjedését eredményezi. A *Populus* pollenszámok szignifikánsan növekvő trendeket mutatnak, ami ezen fajok széles klímaturésának köszönhető. Ezenkívül az utóbbi évtizedek során ültetett állományok mára már kifejlődtek, így ezeknek jelentős a pollenszórása, ami a többihez hozzáadódik. Az *Urtica* évi pollenszámainak számottevő emelkedése a következőkkel magyarázható: (1) az alig hasznosított városi élőhelyekkel, (2) a parlagon hagyott területek növekedésével, (3) hatalmas akácfa (*Robinia pseudo-acacia*) ültetvények létesítésével, amelyek a nitrogéntermelésüknek köszönhetően hozzájárulnak az *Urtica* fejlődéséhez, valamint (4) a maximum hőmérsékletek emelkedésével, ami elősegíti a pollenszezon korábbi indulását és későbbi befejezését (Haraszy, 2004) (19-21. táblázat).

Egyrészt a pollenkoncentrációk, másrészt az éghajlati változók trendjei napi meredekségeinek évi ciklusai közötti kapcsolat erősségének a jellemzésére bevezetett kapcsolati mérőszámok (AM) alapján az egyes taxonokat a többszörös AM (MAM) segítségével három kate-

góriába soroltuk. Ezek a következők: (1) magas érzékenység: $MAM > 0,950$, 11 taxon tartozik ide (*Artemisia*, *Cannabis*, *Alnus*, *Taxus*, *Rumex*, *Morus*, *Betula*, *Tilia*, *Chenopodiaceae*, *Pinus* és *Poaceae*); (2) közepes érzékenység: $0,900 < MAM \leq 0,950$, 5 taxonnal (*Platanus*, *Plantago*, *Ulmus*, *Juglans* és *Quercus*); és (3) alacsony érzékenység: $MAM \leq 0,900$, amely 3 taxont tartalmaz (*Populus*, *Ambrosia* és *Urtica*) (21. táblázat).

22. táblázat
A különböző pollenszezon karakterisztikák klímaváltozással kapcsolatos kényszerei és azok szignifikanciái az egyes taxonokra

taxon	¹ klímaváltozás miatti kockázati potenciál (RP)	² EP	³ MAM	⁴ TAPC lineáris trend révén	⁵ APP	⁶ pollenszezon			⁷ TAPC napi lineáris trend révén
						kezdőnap	utolsó nap	tartam	
<i>Alnus</i>	***	-2	+++		(-10)				
⁸ <i>Ambrosia</i>	*(potenciális növekedés)	2	+		(+10)				
<i>Artemisia</i>	*(potenciális növekedés)	2	+++						
<i>Betula</i>	***	-2	+++						
<i>Cannabis</i>	*	0	+++				+5		(+10)
<i>Chenopodiaceae</i>	*(potenciális növekedés) **(néhány taxon)	1	+++						-5
<i>Juglans</i>	*(potenciális növekedés)	2	++		(+10)				+1
<i>Morus</i>	**	-1	+++						+1
<i>Pinus</i>	**	-1	+++						-1
<i>Plantago</i>	*(potenciális növekedés) **(néhány taxon)	1	++			-5			+5
<i>Platanus</i>	*(potenciális növekedés)	2	++						+5
⁸ <i>Poaceae</i>	*(potenciális növekedés) **(néhány taxon) *** (néhány taxon)	1	+++				(+10)	+1	
⁸ <i>Populus</i>	* **(néhány taxon)	1	+	+5	+5				+1
<i>Quercus</i>	* **(néhány taxon)	1	++						(+10)
<i>Rumex</i>	*(potenciális növekedés) **(néhány taxon)	1	+++			-5			-1
<i>Taxus</i>	***	-2	+++	(+10)			+1		+1
<i>Tilia</i>	* **(néhány taxon)	1	+++						(-10)
<i>Ulmus</i>	* **(néhány taxon)	1	++						-1
⁸ <i>Urtica</i>	* **(néhány taxon)	1	+	(+10)		-5	+5	+1	+1

¹Klímaváltozás miatti kockázati potenciál (RP): * nem veszélyeztetett taxonok; ** mérsékelten veszélyeztetett taxonok (néhány faj populációja regionálisan csökkenhet); *** veszélyeztetett taxonok;

²Klímaváltozás miatti terjeszkedési potenciál (EP): 0: nem befolyásolja a globális felmelegedés; 1: néhány fajnál terület növekedés, míg másoknál terület csökkenés lehetséges; 2: szignifikánsan befolyásolja a globális felmelegedés; néhány fajnál terület növekedés várható; -1: néhány fajnál regionális terület csökkenés lehetséges; -2: szignifikánsan befolyásolja a globális felmelegedés, a fajok többségénél terület csökkenés várható;

(A globális felmelegedés hatása közömbös, vagy többnyire kedvező azokra a családokra és nemzetségekre, amelyek a 0, vagy 1 és 2 kategóriákhoz tartoznak, míg azokra a taxonokra, amelyek a -1 és -2 kategóriákban találhatók, a változások kedvezőtlenek. A 0, 1 és -1 kategóriákhoz tartozó taxonok nem érintettek számottevően, azonban azokat, amelyek a 2 és -2 kategóriákhoz kapcsolódnak, szignifikánsan befolyásolja a globális felmelegedés.)

³MAM (többszörös kapcsolati mérőszám): + alacsony érzékenység; ++ közepes érzékenység; +++ magas érzékenység;

⁴TAPC lineáris trend révén: az évi összes pollenszám változását a lineáris trendek révén számítjuk ki;

⁵APP: az évi csúcs pollen koncentráció változását a lineáris trendek révén számítjuk ki;

⁶pollenszezon: a pollenszezon kezdőnapjának, végnapjának és tartamának a változását a lineáris trendek révén számítjuk ki;

⁷TAPC napi lineáris trend révén: az évi összes pollenszám változását a napi lineáris trendek révén számítjuk ki;

^{4, 5, 6, 7:} ± 1, ± 5: szignifikáns növekvő/csökkenő trend az 1%-os, 5%-os valószínűségi szinteken; (± 10): trend tendencia a 10%-os valószínűségi szinten;

⁸vastag: a legnagyobb pollenszórást mutató taxonok;

Ahhoz, hogy értékeljük az egyes taxonok klímaváltozással szembeni válaszát, két kategóriát vezettünk be: a klímaváltozással szembeni kockázati potenciált (RP) és a klímaváltozással szembeni terjeszkedési potenciált (EP). Mindkét kategóriát a legtöbb allergén növény

egy taxonómiai csoportjára (nemzetség, család) határoztuk meg. A hazai vegetáció fajkészletét Magyarország flóra adatbázisa (Horváth et al., 1995) mutatja be, mely nemcsak az ország növényfajait, hanem azok ökológiai indikátor értékeit is tartalmazza. A fenti két új kategóriát az ezen adatbázisból kiválasztott négy fő ökológiai indikátor alapján határoztuk meg. Ezek az indikátorok a következők: a Zólyomi-féle hőigény (TZ-érték), a Soó-féle hőigény (TS-érték), a Borhidi-féle relatív hőigény a vegetációs övek hőklímájával értelmezve (TB-érték), valamint a Borhidi-féle kontinentalitás, a szélsőséges klímahatások, éghajlati szélsőségek tűrése (CB-érték). A fenti ökológiai indikátorok értékeit a magyarországi fajkészlet minden egyes taxonjához hozzárendeltük. Egyes taxonokon belül bizonyos fajoknak más fajokkal történő helyettesítését, valamint az élőhely-eltolódásokat is figyelembe vettük.

A klímaváltozás miatti kockázati potenciál (RP) a különböző taxonokhoz tartozó fajok veszélyeztetettségét fejezi ki a jelenlegi élőhelyükön, s a fajok túlélési potenciálját három osztályba sorolja. A nem veszélyeztetett taxonok (*) túlélhetik a klímaváltozást, mivel a melegebb és szárazabb klímához alkalmazkodó fajok tartoznak hozzájuk, míg az éghajlati szempontból veszélyeztetett taxonokhoz (***) a jelenlegi flórában nem tartoznak olyan fajok, amelyek képesek alkalmazkodni a várhatóan módosuló körülményekhez. Az előbbi esetben egy adott taxonon belül a fajok megváltozása egy bizonyos tájban segítheti a taxon alkalmazkodását a globális felmelegedéshez, míg az utóbbi esetben a melegtűrő fajok hiánya egy adott taxon eltűnéséhez vezethet. Minél szélesebb a tűrőképesség (minél szélesebb skálán fordulnak elő az ökológiai értékek egy taxonon belül, Horváth et al., 1995), továbbá minél több faj (különösen meleg- és szárazságtűrő faj) található egy taxonon belül, annál kevésbé van kitéve a taxon a klímaváltozásnak. A mérsékelten veszélyeztetett taxonok (**) részben túlélhetik a klímaváltozást az élőhelyükön, azonban néhány faj populációja regionálisan csökkenhet (22. táblázat).

Egy adott taxon esetében három változót kell figyelembe venni: (1) a taxonon belüli fajok száma, (2) a taxonon belüli fajokhoz tartozó ökológiai értékek terjedelme és (3) a taxonon belüli meleg- és szárazságtűrő fajok száma (ez a legfontosabb faktor). Pl. a fűfélékhez (Poaceae) igen sok faj tartozik [lásd: (1)], melyekhez tartozó ökológiai értékek igen széles skálán fordulnak elő [lásd: (2)], s közülük sok faj melegtűrő [lásd: (3)], így e taxonon belül elegendő számú faj fog alkalmazkodni a változásokhoz. Ha egy taxon elsősorban meleg- és szárazságtűrő fajokat tartalmaz (pl. *Ambrosia*, *Juglans* és *Platanus*), akkor kevesebb fajnak kell alkalmazkodnia, ezáltal csökkentve a klímaváltozás miatti kockázati potenciált (*). Ha azonban egy taxonhoz csak kevés faj tartozik és azok egyike sem kedveli a meleg és száraz feltételeket, akkor a kipusztulás kockázata szignifikánsan magas (**) (pl. *Betula* és *Alnus*) (22. táblázat).

A klímaváltozás miatti terjeszkedési potenciál (EP) az egyes fajok azon tulajdonságát mutatja, hogy képesek elvándorolni a tájban (menekülési effektus). Jóllehet egy adott taxonon belüli fajok a kockázati potenciál egy, kettő, de akár mindhárom osztályával is jellemezhetők (pl. a Poaceae a *, ** és *** osztályokkal), terjeszkedési potenciáljuk (EP) (azaz elvándorlási képességük) alapján ezen taxonok mindegyikét csupán egy adott csoportba soroljuk. Összesen 5 csoportot képeztünk, mivel az egyes taxonok fajkészletének eltérő klímaturése miatt a klímaváltozásra igen sokféle válasz várható. Ezek a csoportok a következők. (0): Azon taxonok, amelyekre nem hat a globális felmelegedés; (Túlélhetik a klímaváltozást és elterjedési területük, azaz élőhelyük nagyjából ugyanaz marad.) (1): Azon taxonok, amelyekre nem hat a globális felmelegedés, azonban néhány faj esetében terület növekedés, míg más fajoknál terület csökkenés lehetséges; (2): Azon taxonok, amelyeket szignifikánsan befolyásol a globális felmelegedés; néhány faj esetében terület növekedés várható (Ők alkalmazkodnak a legjobban a klímaváltozáshoz, mivel nemcsak túlélnek azt, hanem terjeszkedni is képesek a tájban.); (-1): Néhány faj esetében regionális terület csökkenés lehetséges (Az ő alkalmazkodásuk majdnem sikeres az új feltételekhez.); (-2): Azon taxonok, amelyeket szignifikánsan befolyásol a globá-

lis felmelegedés; a hozzájuk tartozó fajok többségénél terület csökkenés várható (Az ő alkalmazkodási képességük a legkisebb, s így ők fokozatosan el fognak tűnni, sőt a menekülési effektusuk némely menedékhelyükön is kétséges.). A globális felmelegedés hatása semleges, vagy kedvező a (0), (1) és a (2) csoportokba tartozó családok és nemzetségek esetében, míg a (-1) és a (-2) csoportokba tartozó taxonokra a változások kedvezőtlenek a vizsgált területre, s a rendelkezésre álló fajkészletet tekintve (22. táblázat).

A terjeszkedési potenciálok (EP) a kockázati potenciál (RP) figyelembe vételével, a fajkészlet ökológiai indikátorai alapján határoztuk meg. Következésképp, a kockázati potenciál (RP) és a terjeszkedési potenciál (EP) szoros kapcsolatban vannak egymással. Azonban a többszörös kapcsolati mérőszámok (MAM) nincsenek feltétlenül összhangban adott taxonok kockázati és terjeszkedési potenciáljával. E két új növényfüggő indikátor a következő paramétereket veszi figyelembe: (a) a taxonon belüli fajok megváltozása, (b) a fajok széles spektruma (a Kárpát-medencén belül és annak környezetében), (c) az élőhelyek abiotikus sajátosságainak átalakulása, (d) a fajok elvándorlási képessége és (d) az élőhelyek szerepe, mint menedékhelyek, beleértve a speciális mikroklimákat is. A többszörös kapcsolati mérőszámok (MAM) az egyes taxonok klímaérzékenységet csupán egy adott időszakban, adott területen és csak annak fajkészletére veszik figyelembe. Továbbá, a kockázati és terjeszkedési potenciál alkalmas a regionális változások hosszabb időtávon (évszázadok, évezred) történő detektálására, míg a MAM a helyi változások rövidebb időtávon (évtizedek) történő megfigyelésére használható (21-22. táblázat).

A klímaváltozás miatti kockázati (RP) és terjeszkedési (EP) potenciált összehasonlítottuk a MAM értékekkel minden egyes taxonra (21-22. táblázat). A MAM önmagában nem tartalmazza, illetve nem fejezi ki teljes egészében a klímaváltozás miatti kényszereket, azonban a legkisebb klímaérzékenységgű (+) három taxon (*Ambrosia*, *Populus* és *Urtica*) egyike sem veszélyeztetett (*), és az *Ambrosia* kivételével mérsékelt terjeszkedési potenciál (EP=1) jellemzi őket. Ugyanakkor az összes veszélyeztetett taxonra (***) (még akkor is, ha csupán egyetlen faj veszélyeztetett egy adott taxonon belül) a MAM értékek magas érzékenységet (+++) jeleznek. Ennélfogva a MAM értékek jól jellemzik a klímaváltozás miatti kényszereket, és arról tájékoztatnak, hogy az éghajlati paraméterek a vizsgált taxonok környezeti feltételeinek fontos elemei (21-22. táblázat).

Az *Ambrosia* klímaérzékenysége alacsony (+) a MAM értéke szerint (21-22. táblázat). Emiatt populációjának jelentős potenciális növekedése várható a bioklimatológiai indikátor értékei (Horváth et al., 1995) alapján. Nevezetesen, ez a nemzetség jól alkalmazkodhat a száraz és meleg klímafeltételekhez. Ha nagyobb parlagon hagyott területek és elhagyott humán élőhelyek jelennek meg a tájban, további terjeszkedésük várható, különösen a homokos talajokon. A Poaceae klímaérzékenysége magas (+++) a MAM értéke szerint, mivel a vízhiány és a magas hőmérsékletek nehézséget okozhatnak számukra, ami a populációik regionális csökkenéséhez vezethet. Ugyanakkor ehhez a családhoz tartozik a legtöbb faj a vizsgált taxonok közül, így lesznek olyan fajok, amelyek pótolni fogják az itteni fűféléket, sőt a jövőben a mediterrán, illetve a kifejezetten kontinentális régiókból származó fajok is elérhetik a Kárpát-medencét. Természetesen ez a folyamat a jelen fajok némelyikének az eltűnéséhez vezethet. Széles klímátűrésük miatt az *Urtica* és a *Populus* nem klímaérzékenyek (+) a MAM értékeik alapján. Mindkét taxon növelheti populációját a jövőben. Őket nem veszélyezteteti a globális felmelegedés (*), illetve csupán bizonyos fajok mérsékeltén veszélyeztetettek (**). A *Populus* klímátűrése a különböző fajainak széles adaptációjával magyarázható (21-22. táblázat).

Az évi pollenszámok számos taxon esetében határozott növekvő trendet mutatnak. Mindazonáltal a fenológiai jellemzők (a pollenszezon kezdőnapja, utolsó napja, illetve tartama) az 57 eset (19 taxon x 3 fenológiai paraméter) közül csupán 10 esetben mutatnak szignifikáns trendet. E tekintetben a Poaceae és az *Urtica* a legfontosabb taxonok a három fenológiai jellemző közül legalább kettőnek a szignifikáns trendjével. Ennélfogva az évi pol-

lenkoncentrációk növekvő trendjei a növekvő napi pollenkoncentrációkkal magyarázhatók. Következtetéseink széleskörű egyezést mutatnak számos kutatócsoport eredményeivel. Thessalonikire (Görögország) az évi összes pollenszámok, valamint a napi csúcs pollenszámok szignifikáns növekvő trendet mutatnak a vizsgált taxonok többségére. Ugyanakkor nem tapasztaltak számottevő változásokat a fenológiai jellemzőkben (Damialis et al., 2007). A tágabb értelemben vett Közép-Európában Zürichre (Svájc) (Frei, 2008, *Betula*; Frei és Gassner, 2008b, *Betula*), valamint Bécsre (Ausztria) (Jäger et al., 1996, *Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Pinus* és *Ulmus*) a legtöbb vizsgált pollenfajta esetében a pollenszámok növekedését tapasztalták. Ezenkívül Zürichre (Frei, 2008, *Betula*), Poznań-ra (Lengyelország) (Stach et al., 2007, *Artemisia*) és Bécsre (Jäger et al., 1996, *Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Pinus* és *Ulmus*) a pollenszezon korábban kezdődik, a napi maximális pollenszámok nőnek (Frei, 2008, *Betula*) és a napi csúcs pollenszámok korábban következnek be (Stach et al., 2007, *Artemisia*).

Összehasonlítottuk a Szegedre vizsgált taxonokra a pollenszezon mennyiségi (napi, valamint évi adatok alapján számított TAPC, illetve APP) és fenológiai (a pollenszezon kezdőnapja, utolsó napja és tartama) jellemzőin alapuló hosszú tartamú trendek szignifikanciáit (jelen kutatás) a Neuchâtelre (Svájc) (Clot, 2003) és Thessalonikire (Görögország) (Damialis et al., 2007) kapott ugyanezen jellemzőkéivel. Az e fejezetben vizsgált 19 taxon közül csupán a *Taxus*/Cupressaceae jelezte ugyanazt a számottevő növekvő trendet mindhárom településre. Szegedre és Thessalonikire 5 azonos taxont találtunk, amelyek jelentős pozitív trendet mutatnak, míg további 4 azonos taxon szignifikáns eltérő előjelű trendet jelzett a két településre. Szegedre azon 9 taxon közül, melyek a TAPC napi lineáris trendjeiben szignifikáns növekedést mutatnak, 6 fás szárú. Ezek érzékenyebbek a klímaváltozásra, mint a fűfélék és a gyomnövények (Clot, 2003; Damialis et al., 2007) (23. táblázat).

23. táblázat

Az egyes taxonokra lineáris trendekkel számított pollenszezon paraméterek változásainak összehasonlítása egyrészt Magyarország (Szeged), másrészt Svájc (Neuchâtel) és Görögország (Thessaloniki) között

taxon	a taxon habitus	bTAPC			cTAPC napi			APP			pollenszezon								
		lineáris trend révén			lineáris trend révén						kezdőnap			utolsó nap			tartam		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Alnus</i>	AD		+	+				(-)											
^d <i>Ambrosia</i>	H		+								(+)								
<i>Artemisia</i>	H		+													+			
<i>Betula</i>	AD																		
<i>Cannabis</i>	H				(+)									+					
Chenopodiaceae	H			+	-											+			+
<i>Juglans</i>	AD				+			(+)											
<i>Morus</i>	AD				+														
<i>Pinus</i>	AE			+	-					+									
<i>Plantago</i>	H			+	+					+	-		-						+
<i>Platanus</i>	AD			+	+					+									
^d <i>Poaceae</i>	H			+						+				(+)			+		
^d <i>Populus</i>	AD	+		-	+			+		-						-			
<i>Quercus</i>	AD			+	(+)					+									
<i>Rumex</i>	H			+	-					+	-		+						-
<i>Taxus</i>	AE	(+)	+	+	+									+					
<i>Tilia</i>	AD				(-)														
<i>Ulmus</i>	AD		-		-														
^d <i>Urtica</i>	H	(+)		+	+					-				+			+		

^aAD: fás szárú lombhullató, AE: fás szárú örökzöld, H: lágyszárú;

^bTAPC lineáris trend révén: az évi összes pollenszám változását a lineáris trendek révén számítjuk ki;

^cTAPC napi lineáris trend révén: az évi összes pollenszám változását a napi lineáris trendek révén számítjuk ki;

^d **vastag:** a legnagyobb pollenszórást mutató taxonok Szeged térségében;

A legalább az 5%-os valószínűségi szinten szignifikáns paramétereket a változás előjelével (zárójelben) közöljük. A lineáris trend negatív meredeksége a pollenszezon korábbi kezdetét, vagy befejezését, illetve annak rövidebb tartamát, valamint alacsonyabb évi összes pollenszámot jelez.

1: Magyarország (jelen kutatás); 2: Svájc (Clot, 2003); 3: Görögország (Damialis et al., 2007);

Mi szignifikáns növekvő trendet mutattunk ki a globálsugárzásra, a relatív nedvességre és a szélsőségre, míg Frei (2008) a hőmérséklet számottevő növekvő trendjéről számolt be. Számos tanulmány szolgált már bizonyítékkal a potenciális klímaváltozás miatt bekövetkező ökológiai változásokra (Dose és Menzel, 2004), mint pl. a növények és állatok élőhelyeinek eltolódásai az északi félgömb boreális és mérséklet övi zónáiban (Menzel és Fabian, 1999). A fenológiai jellemzők – mint pl. a pollenszezon korábbi kezdete – igen egyszerű bio-indikátorok, melyek segítséget adnak a klímaváltozások nyomon követéséhez (Ahas et al., 2002).

Megjegyzendő, hogy az e fejezetben vizsgált összes taxon család, vagy nemzetség, amelyekhez számos faj tartozik. Ennélfogva adott konkrét fajok helyett valamely család, vagy nemzetség pollenszezonjának és fenológiai jellemzőinek a vizsgálata a pollenszezon adatainak nagyobb változékonyságát vonja maga után. A fenti jellemzők valamelyikének egy kimutatott trendje az adott taxonhoz tartozó összes faj adott paraméterének a változékonyságát magába foglalja, azonban ezt a változékonyságot befolyásolják a meteorológiai változók értékei. Fontos hangsúlyoznunk a globálsugárzás szerepét, mivel annak magas értékei elősegítik a pollentermelést (Valencia-Barrera et al., 2001; Kasprzyk és Walanus, 2010).

Mivel Szegedre a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollen-transzport szerepe nagyobb a teljes pollenkoncentrációban, mint a nagy távolságú transzporté (Makra et al., 2010b), ezért a Szeged térségében mért pollenkoncentrációk egyéb faktorait is figyelembe kell venni. A pollenkoncentrációkat a meteorológiai változókon kívül mezőgazdasági, illetve társadalmi faktorok (Makra et al., 2005), többek között pl. az urbanizáció, ún. „zöld mezős” beruházások, autópálya építési munkálatok miatti földhasználat változások is befolyásolják. A talajok tápanyag feldúsulása elősegíti a pollentermelés növekedését, azonban ez nem jellemző a szegedi agglomerációban található kis méretű magánparcellákból álló mezőgazdasági területre. Fontosabb tényező, hogy nagy ipari területek jöttek létre, továbbá lakótelepek, valamint autópályák épültek a térségben a vizsgált időszak során. Mezőgazdasági területek építési célokra történő leválasztása az elhanyagolt területek bővülését vonhatja maga után, ami hozzájárul a gyomok élőhelyeinek a kiterjedéséhez, s ennélfogva a pollentermelés növekedéséhez (Makra et al., 2011d).

13. VÉGSŐ KÖVETKEZTETÉSEK

Különböző taxonok pollenjei fenológiai és mennyiségi jellemzői meteorológiai elemekkel való kapcsolatának statisztikai vizsgálata viszonylag új tudományterület a szakirodalomban, hiszen a pollencsapdás észlelések csupán az 1960-es években kezdődtek Európában, s kb. három évtized elteltével jelentek meg az első cikkek a témakörben (Declavijo et al., 1988; Emberlin és Norrishill, 1991; Peeters et al., 1994). Magyarországon ez a tudományterület teljesen új, ez idáig még senki nem foglalkozott a pollenklimatológiával.

- 1) Egy új statisztikai próbát állítottunk föl, amelyet Magyarország leghosszabb (22 éves) szegedi parlagfűpollen adatsorára alkalmaztunk. A Makra-próba (Makra et al., 2000; Makra et al., 2002; Makra et al., 2005) segítségével – amely a klasszikus kétmintás t-próba egy speciális esete – megállapítottuk, hogy a vizsgált adatbázisra az augusztus 18. – szeptember 13. közötti időszakban a legsúlyosabb Szeged levegőjének parlagfűpollen terhelése, következésképp ez a legveszélyesebb időszak a szénanátha kialakulására (11. ábra) (Makra et al., 2004; Makra et al., 2005). A legsúlyosabb napi parlagfűpollen terhelés Makra-próba által meghatározott időszaka (aug. 18. – szept. 13.) jól egyezik a maximális napi pollenkoncentrációknak (>100 pollenszem / m^{-3} levegő) a bordó árnyalataival jelzett OKI szerinti (Bobvos et al., 2010; Mányoki et al., 2011) periódusával (aug. 15. – szept. 12.) (11. ábra). A Makra-próba gyakorlati jelentőségét az adja, hogy alkalmazása segíti a légúti betegségekben szenvedők felkészülését a parlagfűpollen terhelés legkritikusabb időszakára.
 - 2) Meghatároztuk a parlagfűpollen transzport szempontjából legfontosabb forrásterületeket, illetve backward trajektóriákat Szeged térségére. Megállapítottuk, hogy a legfontosabb forrásterület a Kárpát-medence (7. cluster), melyet ÉK-Európa (2. cluster), É-Európa (4. cluster) és ÉNy-Európa (1. cluster) követ a mért átlagos pollenkoncentrációk csökkenő sorrendjében. Jóllehet a backtrajektóriák utóbbi három származási területén igen alacsonyak a parlagfű pollenszámok, mégis, azok a Kárpát-medence fölött több száz km utat megtéve, ottani forrásokból számottevő mennyiségű *Ambrosia* pollent fölvéve jelentős mértékben hozzájárulhatnak a célterület helyi parlagfűpollen koncentrációihoz (Makra et al., 2010b).
- Egy heurisztikus megközelítés alkalmazásával elkülönítettük egymástól egyrészt a helyi pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszportot, másrészt pedig a nagy távolságú pollentranszportot. Azt kaptuk, hogy Szegeden a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú transzportnak nagyobb a súlya a napi pollenszintek kialakulásában mind a nem-csapadékos, mind a csapadékos napokon. Eredményeink összhangban vannak Juhász és Juhász (1997) megállapításaival, miszerint Szegeden a napi pollencsúcsok 8,00-16,00 óra között lépnek fel, ami a pollen helyi eredetére utal. Az eredmények pontosíthatják a nagy távolságú transzport szerepét a mért pollenkoncentrációkban, illetve finomíthatják a napi pollenkoncentráció előrejelzését (Makra et al., 2010b).
- A clusteranalízis végrehajtása során a Mahalanobis metrikát használtuk két elem hasonlóságának a meghatározására, amelynek révén elkerülhető a kétszintű clusterezés (Borge et al., 2007) alkalmazása. Ez nem új eredmény, azonban rávilágít a clusteranalízis végrehajtásával kapcsolatosan egy elméleti félreértésre. Ugyanakkor a backtrajektóriák háromdimenziós (3D) clusterezése új eredmény a szakirodalomban, amit ez idáig még

nem alkalmaztak a pollentranszport légcirkulációs pályáinak meghatározására. Az egyes clustereknek a „convhull” függvényvel való 3D körülhatárolása, a 3D konvex testjeikkel körülhatárolt trajektória clusterek vertikális kiterjedésének a bemutatása, továbbá a pollentranszport két komponensének elkülönítése szintén új eredménynek számít (Makra et al., 2010b).

- 3) Megvizsgáltuk az Észak-atlanti–európai térségre meghatározott objektív időjárási típusok, valamint a Péczely-féle szubjektív időjárási típusok szerepét a 24 taxon napi átlagos pollenkoncentrációinak osztályozásában.
- Megállapítottuk, hogy Szegeden az objektív típusok közül sorrendben a 2. (anticiklonális helyzet), 6. és 4. (mindkettő ciklonális helyzet), míg a szubjektív típusok közül a 4. (mCw) és a 7. (zC) (mindkettő ciklonális helyzet) a legjellegzetesebb a napi átlagos pollenkoncentrációk osztályozásában.
- Meghatároztuk, hogy a pollenkoncentráció a 2. (anticiklonális helyzet) és a 6. (ciklonális helyzet) objektív típusokban, illetve a 11. (AF, anticiklon peremhelyzet és a 13. (C, ciklon centrum helyzet) szubjektív típusokban a legnagyobb, továbbá az 5. (anticiklon centrum helyzet) és a 7. (anticiklonális helyzet) objektív típusok, illetve a 6. (CMw) és a 7. (zC) szubjektív típusok (mindkettő ciklonális helyzet) fennállásakor a legkisebb.
- Megállapítottuk, hogy mind az objektív, mind a szubjektív tipizálás esetén azok a típuspárok, amelyek a legtöbb taxon napi átlagos pollenszámaiban jeleznek szignifikáns eltérést, különböző légnyomási rendszerekkel rendelkeznek.
- Megállapítottuk, hogy mind az objektív, mind a szubjektív tipizálás esetében akkor lép fel magas pollenkoncentráció, ha magas a hőmérséklet. A globálsugárzás jóval kisebb súllyal vesz részt a napi pollenszámok alakításában, mint a hőmérséklet (Gioulekas et al., 2004a; Makra et al., 2004; Rodríguez-Rajo et al., 2004a; 2004b; Makra és Matyasovszky, 2011c). Megjegyzendő, hogy csapadékos és csapadékmentes napokon egyaránt az előző napi pollenkoncentráció a legfontosabb prediktor. Ezenkívül a meteorológiai paraméterek közül csapadékos napokon a napi átlagos globálsugárzás a legjelentősebb, míg csapadékmentes napokon a napi középhőmérséklet határozza meg jelentősen a becslés pontosságát (Makra és Matyasovszky, 2011c). Mindezek összhangban vannak a maximális/minimális pollenkoncentrációt mutató objektív/szubjektív időjárási típusok jellemző meteorológiai paramétereivel. Továbbá a magas szélsőbességek pozitív hatása lehet a pollenkoncentrációra akkor, ha a nagy távolságból érkező légáramlások a pollenben gazdag forrásterületükről, vagy ilyen térségek fölött áthaladva nagy mennyiségű pollent szállítanak a célterület fölé (Makra et al., 2004; 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2010b). Másrészt az alacsony pollenkoncentrációt általában elősegíthetik az alacsony szélsőbesség és a légnedvesség paraméterek magas értékei.
- Mindkét tipizálás esetében nem várt eredményt kaptunk a tekintetben, hogy ciklonális típusokhoz is magas pollenkoncentrációk tartoznak. Ez azzal magyarázható, hogy e típusok fennállásakor a hőmérséklet és/vagy a hozzájuk tartozó napok nyári gyakorisága magas. A fentiek alapján arra következtethetünk, hogy mindkét tipizálás légnyomási rendszerei önmagukban nem, csak a hozzájuk tartozó meteorológiai elemek révén magyarázzák átlagos pollenszámaikat (Makra et al., 2006b; Makra et al., 2007c).
- Megállapítottuk továbbá, hogy az objektív tipizálás számottevően nagyobb teljes hatékonyságot mutat a pollenkoncentrációk osztályozásában, mint a Péczely-féle szubjektív osztályozási rendszer. Ez azzal magyarázható, hogy az előbbi esetében 12 meteorológiai változó napi elemegytéseinek a leginkább homogén csoportjai határozták meg az objektív clustereket, míg az utóbbinál csupán egyetlen változó, a légnyomás figyelembe vételével történt a szubjektív csoportok létrehozása (Makra et al., 2006b; Makra, 2006c; Makra et al., 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2007c).

- 4) Megállapítottuk, hogy mind a szubjektív, mind pedig az objektív osztályozás esetében az anticiklon peremhelyzetek elősegítik a magas átlagos Poaceae pollenszámok kialakulását (Matyasovszky et al., 2011a).
- A Poaceae pollenkoncentráció becslésekor a teljes adatkészletet használva csupán az előző napi pollenkoncentráció volt szignifikáns legalább a 90%-os valószínűségi szinten. Az eredeti adatok clusterezését, a standardizált adatok clusterezését, illetve a szubjektív időjárási típusokat tekintve az eredeti adatokkal történő objektív osztályozás bizonyult a leghatékonyabbnak a pollenkoncentráció osztályozása szempontjából.
- A szubjektív osztályozás esetében a legjobb becslést a „melegfront esővel” kategória napjaira kaptuk, míg a leggyengébb becslés a „hidegfront eső nélkül” kategória napjaira született. A pollenkoncentráció varianciáját nagyobb mértékben magyarázta meg a vizsgált 6 magyarázó változó az objektív időjárási típusokra, mint a szubjektív kategóriák esetében, ami megfelel várakozásainknak (Makra, 2006c).
- A pollenkoncentráció becslése akkor jobb, ha olyan térséget vizsgálunk, amelynek a klímája megfelel a Poaceae klímaoptimumának (Matyasovszky et al., 2011a).
- A pollenszámok és a hat magyarázó változó fenti kapcsolata lehetővé teszi a pollenkoncentrációnak a magyarázó változók függvényében történő előzetes vizsgálatát. Ahhoz, hogy megbízhatóan előrejelezzük a Poaceae pollenkoncentrációt, fejlettebb módszerek szükségesek. Ugyanakkor mind az objektív, mind a szubjektív időjárási típusok hasznos információt nyújtanak az előrejelzés pontosságáról. Pl. a Poaceae pollenkoncentráció egy melegfronti esőt követően pontosan előrejelezhető, míg ha hidegfront halad át eső nélkül, akkor a leggyengébb becslést kapjuk a pollenkoncentrációra (Matyasovszky et al., 2011a).
- 5) Időfüggő lineáris regressziós és időfüggő nemparaméteres regressziós modelleket, továbbá egy időfüggő nemparaméteres medián regressziós modellt fejlesztettünk ki a napi parlagfűpollen koncentráció előrejelzésére Szegedre, előző napi meteorológiai paraméterek, valamint előző napi pollenszámok felhasználásával. A modelleket csapadékos és nem-csapadékos napokra alkalmaztuk. A számításokat saját fejlesztésű számítógépes programokkal hajtottuk végre (Makra és Matyasovszky, 2011c).
- Időfüggő lineáris regresszió alkalmazásával a legfontosabb prediktornak az előző napi pollenkoncentrációt találtuk, mely a célváltozó varianciájának a 48,6%-át, illetve 45,3%-át magyarázta rendre a csapadékos és nem-csapadékos napokon. A lépésenkénti regresszió végrehajtásával ezen kívül mindössze egy-egy prediktort tartottunk meg mindkét esetben, nevezetesen az előző napi átlagos globálsugárzást a csapadékos napokra, valamint az előző napi középhőmérsékletet a nem-csapadékos napokra. A két-két prediktor által együttesen megmagyarázott relatív variancia (az előrejelzés relatív pontossága) nagyobb a nem-csapadékos napokon (55,2%), mint a csapadékos napokon (51,9%). Ugyanakkor a varianciákat megvizsgálva, az előrejelzési teljesítmény valamivel jobb a csapadékos napokra, mint a nem-csapadékos napokra. A nem-csapadékos napokon a napi középhőmérséklet szerepe nyilvánvaló: a parlagfű meleg és száraz éghajlaton fejlődik a legjobban. A csapadékos napokon az alacsony globálsugárzás a hőmérséklet csökkenését vonja maga után, ami mérsékli a pollenszórás intenzitását.
- Időfüggő nemparaméteres regresszió alkalmazása a korábban említett két-két prediktorra lényegesen jobb becsléseket eredményez, különösen a csapadékos napokra, amely világosan jelzi, hogy nemlineáris kapcsolat van a prediktorok és a pollenkoncentráció között. Nevezetesen, e prediktorok a célváltozó varianciájának 71,4%-át, illetve 64,6%-át magyarázzák meg rendre a csapadékos, illetve a nem-csapadékos napokra.

Az időfüggő nemparaméteres medián regressziós modell átlagos abszolút hibája lényegesen (20,9%-kal) alacsonyabb, mint a nemparaméteres regresszió alkalmazásával kapott átlagos abszolút hiba. A nemparaméteres medián regressziós modell adja a legjobb becslést a vizsgált három előrejelzési modell közül.

Ami az év során fellépő magas kvantilis értékeket illeti, a kvantilis regresszió kisebb kvantiliseket ad (főként a 0,9 kvantilisre) a csapadékos napokon, mint a nem-csapadékos napokon, ami a pollenszórás kevésbé kedvező feltételeivel, valamint a pollenszemek levegőből való kimosódásával magyarázható. A napi parlagfűpollen koncentráció valószínűségi eloszlása jóval torzultabb a nem-csapadékos napokon, melyek a legnagyobb napi pollenszámokat mutatják, míg a valószínűségi eloszlás a csapadékos napokon koncentráltabb, és viszonylag kiegyensúlyozott parlagfűpollen koncentrációkat biztosít. A lehetséges koncentrációk alsó határai a választott prediktorok különböző értékei mellett a csapadékos napokon 350 pollenszem / m³ levegő fölötti pollenszámok, míg a nem-csapadékos napokon 450 pollenszem / m³ levegő fölötti értékek (Makra és Matyasovszky, 2011c).

- 6) A légúti megbetegedések többváltozós analízise a szakirodalomban fellelhető egyik legnagyobb beteg adatbázisra épül, továbbá egyedi a tekintetben, hogy a légúti betegségeket előidéző magyarázó változók (5 meteorológiai, 6 kémiai és 2 biológiai változó) három kategóriáját elemzi (egyéb tanulmányok legfeljebb a meteorológiai változókat és a kémiai légszennyezőket veszik figyelembe, a pollent figyelmen kívül hagyják) (Matyasovszky et al., 2011d).

A faktoranalízis speciális transzformációval, illetve az időfüggő többváltozós lineáris regresszió alkalmazása a magyarázó változók légúti betegségeken játszott szerepének, illetve fontossági sorrendjüknek a meghatározására és hatásaik értékelésére új eljárásnak számít a szakirodalomban.

Az *Ambrosia* pollenszezonzájában a faktoranalízis és a speciális transzformáció végrehajtásával feltártuk, hogy a légúti betegségeket előidéző legfontosabb paraméterek csökkenő sorrendben az *Ambrosia*, PM₁₀, CO, O₃ és a szélsébség a felnőtt betegek, továbbá az O₃, szélsébség, NO₂, globálsugárzás és PM₁₀ az idős betegek, valamint az *Ambrosia*, PM₁₀, O₃, CO és a szélsébség az összes korcsoportra. A betegszámok és a fenti változók közötti kapcsolat előjele negatív, kivéve az *Ambrosiát* minden egyes korcsoportra, valamint az NO₂-t az idős betegek (15a. táblázat). Ebben az időszakban az időfüggő lineáris regresszió révén kapott legfontosabb változók az O₃ negatív hatással minden egyes korcsoport betegségeire; illetve a hőmérséklet, globálsugárzás, NO és a szélsébség a felnőtt betegek és az összes korcsoport betegeire; továbbá a hőmérséklet, NO₂, szélsébség és a PM₁₀ az idős betegek. Hatásaik előjele változó (17. táblázat). A szélsébség regressziós együtthatói meglehetősen nagyok, s ez megerősíti ennek a változónak a fontosságát (18. táblázat). A pollenmentes időszakban a faktoranalízis speciális transzformációval a következő magyarázó változókat találta a legfontosabbaknak: NO₂, hőmérséklet, PM₁₀, SO₂ és O₃ a felnőtt betegek; O₃, szélsébség, NO₂, hőmérséklet és NO az idős betegek; míg NO₂, hőmérséklet, O₃, PM₁₀ és NO az összes korcsoportra (15b. táblázat). E kapcsolatok előjele pozitív az O₃ és SO₂ kivételével. A magyarázó változóknak az időfüggő lineáris regresszió révén kapott fontossági sorrendje erősen változik az egyes korcsoportok szerint, azonban az O₃ ez esetben szintén kulcsfontosságú magyarázó változónak számít. A szélsébség szerepe lényegesen kisebb, ám a relatív nedvesség fontosabb, mint az *Ambrosia* pollenszezonzájában.

Azt tapasztaltuk, hogy az ózonkoncentráció statisztikailag szignifikáns negatív kapcsolatot mutatott a betegszámokkal mindhárom életkor kategóriára és mindkét vizsgált időszakra (15a-b. táblázat). Ez a legjellegzetesebb kapcsolat a légúti betegségek száma és a kémiai légszennyezők koncentrációi között. E paradox ózon kapcsolatnak (POA = Paradoxical Ozone Association, Joseph, 2007) nevezett jelenség a motor üzemanyagában található metiléterek, illetve -észterek égése során keletkező metil-nitritnek tulajdonítható. A metil-nitrit (CH_3NO_2) erősen mérgező vegyület, amely akut reakciókat vált ki a légutakban (Joseph és Weiner, 2002). Mivel a napsugárzásnak a fotokémiai oxidáció révén fontos szerepe van az ózonképződésben, a POA valószínűleg ezzel a nitrit szennyezőanyaggal magyarázható, amely a napsugárzás hatására gyorsan lebomlik.

Egyrészt a faktoranalízis (15a-b. táblázat), másrészt a lépésenkénti regresszió (17. táblázat) és a regressziós együtthatók (18. táblázat) eltérő eredményeket adnak a magyarázó változóknak a betegségek előfordulásában játszott fontossági sorrendjére, ami a változók közötti multikollinearitásnak tulajdonítható. A legnyilvánvalóbb erre az *Ambrosia* példája annak pollenszezonjában. A faktoranalízis alapján ez a legfontosabb – a betegszámokat befolyásoló – változó a felnőtt betegekre és az összes korcsoportra, míg a lépésenkénti regresszió csupán a 6-8. legfontosabb paraméterként kezeli azt. Ugyanakkor a 18. táblázat azt mutatja, hogy 10 pollenszem / m^3 levegő *Ambrosia* pollen koncentráció növekedés 28-30 fő betegszám emelkedést (24%) von maga után az idős betegek kivételével. Ez azzal magyarázható, hogy a betegszámokat szignifikánsan befolyásoló hőmérséklet, globálsugárzás, relatív nedvesség és szélsőbesség jól korrelálnak az *Ambrosia* pollen szintekkel, ily módon a lépésenkénti regressziós módszer előnyben részesíti a fent említett változókat az *Ambrosiaval* szemben. Egy másik lényeges körülmény az, hogy amikor elvégezzük a faktoranalízist, ez esetben két tetszőleges változó közötti kapcsolat részben azok évi ciklusainak a hasonlóságával, részben pedig a centralizált adatok (az eredeti adatok és azok évi ciklusa közötti különbség) közötti korrelációval magyarázható. Továbbá, a tényleges magyarázó változók és a betegszámok közötti időlépcső bevezetésére – amelyet a faktoranalízis esetében nem alkalmaztunk – a regressziós megközelítés lehetőséget ad. Ezenkívül, ez a kapcsolat a faktoranalízis esetében időben állandó, míg az időfüggő lineáris regresszió megenged különböző típusú kapcsolatokat az év folyamán. Összegezve, az időfüggő regresszió a faktoranalízis révén nyert átfogó képnek egy finomítását adja.

Ami az ózont, mint az *Ambrosia* pollenszezonjában a leginkább szignifikáns változót illeti, $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ koncentráció növekedés a relatív betegszámban -17% változást idéz elő a szezon elején, illetve $+11\%$ változást a szezon végén. A hőmérséklet és a szélsőbesség gyengén szignifikáns magyarázó változók: 1°C hőmérséklet emelkedés $7-8\%$ relatív betegszám növekedést von maga után a szezon elején, illetve annak 5% -os csökkenésével jár a szezon végén; míg a szélsőbesség $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ -al való növekedése $42-45\%$ betegszám csökkenést okoz (az idős betegek kivételével). A szignifikáns magyarázó változók száma nagyobb a pollenmentes időszakban. A magyarázó változóknak az összes betegszámhoz való relatív hozzájárulása az év során a következő arányokon belül változik: $-1,5\%$ - $+1,5\%$ a globálsugárzásra, 0% - $+8\%$ az O_3 -ra, -10% - $+5\%$ a relatív nedvességre, -9% - $+6\%$ az NO_2 -re és -3% - $+6\%$ az NO -ra, a fent említett változók rendre $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 10% és $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ növekedése esetén (Matyasovszky et al., 2011d).

- 7) Az allergén pollenek jellemzőinek trendvizsgálatával a regionális pollenflóra egyik legnagyobb spektrumát elemezzük a szakirodalomban, továbbá e kutatás egyedi a tekintetben, hogy a vizsgált taxonok pollenszámainak és a 7 éghajlati változónak a napi trendjeit határozza meg. Ez a fajta trendanalízis információt nyújt a trendek napi meredekségeinek évi ciklusairól (Makra et al., 2011d).

Az évi trendeket tekintve megállapítottuk, hogy csökkenő sorrendben a *Populus*, *Taxus* és *Urtica* évi összes pollenszámai szignifikáns növekedést mutatnak. Továbbá az évi csúcs pollenszámokra a *Populus* és *Juglans* jelzi a legnagyobb növekedést, míg az *Alnus* mutatja a legnagyobb csökkenést. A pollenszezon hossza csupán a Poaceae és *Urtica* esetében növekszik számottevően. A napi lineáris trendekből számított évi összes pollenszám változás az 5%-os valószínűségi szinten 19 taxon közül 11 esetben mutat szignifikáns trendet, s ezen 11 taxon közül 7 jelez növekvő trendet.

Az *Ambrosia* pollenszámai csekély növekedést mutatnak az évi lineáris trendek alapján (19. táblázat), ami összhangban van azzal, hogy egy mérsékelt melegedés kedvez a melegműző *Ambrosianak*. Azonban csökkenő napi lineáris trendek (20. táblázat; 25. ábra, augusztus második fele) is megfigyelhetők, amelyek a legmelegebb nyári időszakban a vízháánnyal magyarázhatók (25. ábra, a csapadék napi lineáris trendjei meredekségeinek évi ciklusa). Mivel a parlagok legeltetése, kaszálása még csak kivételes, így a parlagfű élőhelye nem zsugorodik a fiatal parlagokon. A Poaceae a regenerálódó parlagok következtében növekvő pollenszámokat mutat, azonban a trend nem szignifikáns. Az idős parlagokon a fűfélék a jellemzőek, ami a fű borította területek kiterjedését eredményezi. A *Populus* pollenszámok szignifikánsan növekvő trendeket mutatnak, ami ezen fajok széles klímátűrésének köszönhető. Ezenkívül az utóbbi évtizedek során ültetett állományok mára már kifejlődtek, így ezeknek jelentős a pollenszórása, ami a többihez hozzáadódik. Az *Urtica* évi pollenszámainak számottevő emelkedése a következőkkel magyarázható: (1) az alig hasznosított városi élőhelyekkel, (2) a parlagon hagyott területek növekedésével, (3) hatalmas akácfa (*Robinia pseudo-acacia*) ültetvények létesítésével, amelyek a nitrogéntermelésüknek köszönhetően hozzájárulnak az *Urtica* fejlődéséhez, valamint (4) a maximum hőmérsékletek emelkedésével, ami elősegíti a pollenszezon korábbi indulását és későbbi befejezését (Haraszty, 2004) (19-21. táblázat).

Bevezettünk egy kapcsolati mérőszámot (AM), valamint egy többszörös kapcsolati mérőszámot (MAM) egyrészt a pollenkoncentrációk, másrészt az éghajlati változók trendjei napi meredekségeinek évi ciklusai közötti kapcsolat erősségének a jellemzésére, majd az AM értékei alapján az egyes taxonokat a többszörös AM (MAM) értékek segítségével három kategóriába soroltuk. Ezek a következők: (1) magas érzékenység: $MAM > 0,950$, 11 taxon tartozik ide (*Artemisia*, *Cannabis*, *Alnus*, *Taxus*, *Rumex*, *Morus*, *Betula*, *Tilia*, *Chenopodiaceae*, *Pinus* és *Poaceae*); (2) közepes érzékenység: $0,900 < MAM \leq 0,950$, 5 taxonnal (*Platanus*, *Plantago*, *Ulmus*, *Juglans* és *Quercus*); és (3) alacsony érzékenység: $MAM \leq 0,900$, amely 3 taxont tartalmaz (*Populus*, *Ambrosia* és *Urtica*) (21. táblázat).

Bevezettünk két új fogalmat a klímaváltozással kapcsolatos kényszerekre, nevezetesen a klímaváltozás miatti kockázati potenciált (RP), illetve terjeszkedési potenciált (EP), melyeket összehasonlítottuk a MAM értékekkel minden egyes taxonra (22. táblázat). A MAM önmagában nem tartalmazza, illetve nem fejezi ki teljes egészében a klímaváltozás miatti kényszereket, azonban a legkisebb klímaérzékenységű három taxon (*Ambrosia*, *Populus* és *Urtica*) egyike sem veszélyeztetett (*), és az *Ambrosia* kivételével mérsékelt terjeszkedési potenciál ($EP=I$) jellemzi őket. Ugyanakkor az összes veszélyeztetett taxonra (***) (még akkor is, ha csupán egyetlen faj veszélyeztetett egy adott taxonon belül) a MAM értékek magas érzékenységet (+++) jeleznek. Ennélfogva a MAM értékek jól jellemzik a klímaváltozás miatti kényszereket, és arról tájékoztatnak, hogy az éghajlati paraméterek a vizsgált taxonok környezeti feltételeinek fontos elemei (21-22. táblázat).

Az *Ambrosia* klímaérzékenysége alacsony (+) a MAM értéke szerint (21-22. táblázat). Emiatt populációjának jelentős potenciális növekedése várható a bioklimatológiai indikátor értékei (Horváth et al., 1995) alapján. Nevezetesen, ez a nemzetség jól alkalmaz-

kodhat a száraz és meleg klímafeltételekhez. Ha nagyobb paragon hagyott területek és elhagyott humán élőhelyek jelennek meg a tájban, további terjeszkedésük várható, különösen a homokos talajokon. A Poaceae klímaérzékenysége magas (++++) a MAM értéke szerint, mivel a vízhiány és a magas hőmérsékletek nehézséget okozhatnak szármakra, ami a populációik regionális csökkenéséhez vezethet. Ugyanakkor ehhez a családhoz tartozik a legtöbb faj a vizsgált taxonok közül, így lesznek olyan fajok, amelyek pótolni fogják az itteni fűféléket, sőt a jövőben a mediterrán, illetve a kifejezetten kontinentális régiókból származó fajok is elérhetik a Kárpát-medencét. Természetesen ez a folyamat a jelen fajok némelyikének az eltűnéséhez vezethet. Széles klímaturúsuk miatt az *Urtica* és a *Populus* nem klímaérzékenyek (+) a MAM értékeik alapján. Mindkét nemzetség növelheti populációját a jövőben. Őket nem veszélyezteti a globális felmelegedés (*), illetve csupán bizonyos fajok mérsékelten veszélyeztetettek (**). A *Populus* klímaturúsága a különböző fajainak széles adaptációjával magyarázható (21-22. táblázat).

Mivel Szegedre a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszport szerepe nagyobb a teljes pollenkoncentrációban, mint a nagy távolságú transzporté (Makra et al., 2010b), ezért a Szeged térségében mért pollenkoncentrációk egyéb faktorait is figyelembe kell venni. A pollenkoncentrációkat a meteorológiai változókon kívül mezőgazdasági, illetve társadalmi faktorok (Makra et al., 2005), többek között pl. az urbanizáció, ún. „zöld mezős” beruházások, autópálya építési munkálatok miatti földhasználat változások is befolyásolják. Az építkezések az elhanyagolt területek bővülését vonhatják maguk után, ami hozzájárul a gyomok élőhelyeinek a kiterjedéséhez, s ennél fogva a pollentermelés növekedéséhez (Makra et al., 2011d).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

MEGKÖSZÖNÖM AZ ALÁBBI KOLLÉGÁK ÉS
INTÉZMÉNYEK SEGÍTSÉGÉT:

**BÁLINT BEATRIX, BÉCZI RITA, CSÉPE ZOLTÁN, DEÁK JÓZSEF
ÁRON, GUBA ZOLTÁN, JUHÁSZ MIKLÓS, KÁROSSY CSABA,
MATYASOVSKY ISTVÁN, MOTIKA GÁBOR, PÁTKAI ZSOLT,
SÁNTA TAMÁS, SÜMEGHY ZOLTÁN, SZENTIMREY TAMÁS;
UNGER JÁNOS**

ROLAND DRAXLER

NOAA AIR RESOURCES LABORATORY (ARL)

**ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT MÓDSZERTANI ÉS
ELEMZŐ OSZTÁLYA**

FÜGGELÉK

4.2.2. A Péczely-féle időjárási típusok

A 00 00 UTC-kor az Észak-atlanti – európai térségre megszerkesztett tengerszinti légnyomás térképek alapján Péczely által létrehozott 13 makroszinoptikus helyzet, azok tipikus napjaival a következők:

Meridionális északias áramlással kapcsolatos helyzetek

1. *típus (mCc)*: Magyarország egy kelet-európai ciklon hátoldali áramrendszerébe esik (tipikus nap: 1981 augusztus 28.)
2. *típus (AB)*: anticiklon a Brit-szigetek fölött (tipikus nap: 1981 április 6.)
3. *típus (CMc)*: Magyarország egy mediterrán ciklon hátoldali áramrendszerébe esik (tipikus nap: 1981 december 17.)

Meridionális délies áramlással kapcsolatos helyzetek

4. *típus (mCw)*: Magyarország egy nyugat-európai ciklon előoldali áramrendszerébe esik (tipikus nap: 1981 szeptember 20.)
5. *típus (Ae)*: anticiklon Magyarországtól keletre (tipikus nap: 1982 február 15.)
6. *típus (CMw)*: Magyarország egy mediterrán ciklon előoldali áramrendszerébe esik (tipikus nap: 1981 január 14.)

Zonális nyugati áramlással kapcsolatos helyzetek

7. *típus (zC)*: zonális, ciklonális (tipikus nap: 1981 február 4.)
8. *típus (Aw)*: nyugat felől Közép-Európa fölé terjeszkedő anticiklon (tipikus nap: 1982 augusztus 22.)
9. *típus (As)*: anticiklon Magyarországtól délre (tipikus nap: 1981 november 22.)

Zonális keleti áramlással kapcsolatos helyzetek

10. *típus (An)*: anticiklon Magyarországtól északra (tipikus nap: 1981 február 26.)
11. *típus (AF)*: anticiklon Fennoskandinávia fölött (tipikus nap: 1981 március 28.)

Centrum helyzetek

12. *típus (A)*: anticiklon a Kárpát-medence fölött (tipikus nap: 1982 január 14.)
13. *típus (C)*: ciklon a Kárpát-medence fölött (tipikus nap: 1982 január 2.)

HIVATKOZÁSOK

- Ahas, R., Aasa, A., Menzel, A., Fedotova, G., Schleifinger, H., 2002: Changes in European spring phenology. *International Journal of Climatology*, 22, 1727-1738.
- Alves, C.A., Scotto, M.G., Freitas, M.C., 2010: Air Pollution and Emergency Admissions For Cardiorespiratory Diseases in Lisbon (Portugal). *Quimica Nova*, 33(2), 337-344.
- Anderberg, M.R., 1973: *Cluster Analysis for Applications*. Academic Press, New York, 353 p.
- Andersen, Z.J., Wahlin, P., Raaschou-Nielsen, O., Scheike, T., Loft, S., 2007: Ambient particle source apportionment and daily hospital admissions among children and the elderly in Copenhagen. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 17(7), 625-636.
- Anderson, B., 2008: *Evaluation Methods for Long Range Transport*. 9th Modeling Conference Presentations. US ENvironmental protection Agency, Technology Transfer Network Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling
- Angosto, J.M., Moreno-Grau, S., Bayo, J., Elvira-Rendueles, B., 2005: Multiple regression models for predicting total daily pollen concentration in Cartagena. *Grana*, 44, 108-114.
- Apatini, D., Replyuk, E., Novák E., Páldy, A., 2008: Az ÁNTSZ Aerobiológiai Hálózatának tájékoztatója, 2007. Országos Környezetegészségügyi Intézet, 70 p, kézirat, Budapest
- Aznarte, J.L., Sánchez, J.M.B., Lugilde, D.N., Fernández, C.D.L., de la Guardia, C.D., Sánchez, F.A., 2007: Forecasting airborne pollen concentration time series with neural and neuro-fuzzy models. *Expert Systems with Applications*, 32, 1218-1225.
- Barrett, K., de Leeuw, F., Fiala, J., Larssen, S., Sundvor, I., Fjellsbø, L., Dusinska, M., Ostatnická, J., Horálek, J., Černíkovský, L., Barmpas, F., Moussipoulos, N., Vlahocostas, C., 2008: Health Impacts and Air pollution – An exploration of factors influencing estimates of air pollution impact upon the health of European citizens. ETC/ACC Technical Paper, No. 13.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos, P., Hunyady, A., 2008: Analysis of regional climate change modeling experiments for the Carpathian basin. *International Journal of Global Warming*, 1, 238-252.
- Bartkova-Scevkova, J., 2003: The influence of temperature, relative humidity and rainfall on the occurrence of pollen allergens (*Betula*, *Poaceae*, *Ambrosia artemisiifolia*) in the atmosphere of Bratislava (Slovakia). *International Journal of Biometeorology*, 48(1), 1-5.
- Basky, Zs., 2009: A Magyarországon ôshonos levéltetvek hatása a parlagfű fejlődésére. *Növényvédelem*, 45(8), 425-432.
- Béres, I., 1981: A parlagfű (*Ambrosia elatior* L.) hazai elterjedése, biológiája és a védekezés lehetőségei. Kandidátusi értekezés. Agrártudományi Egyetem, Keszthely
- Béres, I., Hunyadi, K., 1991: Az *Ambrosia elatior* elterjedése Magyarországon. *Növényvédelem*, 27(9), 405-410.
- Béres, I., Novák, R., Hoffmanné Pathy, Zs., Kazinczi, G., 2005: Az ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) elterjedése, morfológiája, biológiája, jelentősége és a védekezés lehetőségei. *Gyomnövények, Gyomirtás*, 6(1), 1-48.
- Bobvos, J., Mányoki, G., Páldy A., 2010: Mekkora terhet jelent a pollenszezon a lakosságra? – egy új indikátor kifejlesztése. *Egészségtudomány*, 54(3), 103-104.

- Bohren, C., Mermillod, G., Delabays, N., 2006: Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in Switzerland: development of a nationwide concerted action. *Journal of Plant Diseases and Protection. Special Issue*, 20, 497-503.
- Borge, R., Lumbreras, J., Vardoulakis, S., Kassomenos, P., Rodríguez, E., 2007: Analysis of long-range transport influences on urban PM₁₀ using two-stage atmospheric trajectory clusters. *Atmospheric Environment*, 41(21), 4434-4450.
- Bozó, L., Györgyné Váraljai, I., Ivanics, I., Vaskövi, B., Várkonyi, T., 2001: A környezeti levegőszennyezettség mérésének gyakorlata. Kézikönyv az immisszió vizsgálatához. (szerk: Várkonyi, T.) Készült a Környezetvédelmi Minisztérium megbízásából. Budapest, 155 p.
- Bozó, L., Szilávik, J., Vaskövi Béláné, Váraljai, I., 2003: Az 1990-2003 közötti időszak levegőminőségének értékelése. Készült „A levegőminőség alakulása Magyarországon az 1990-2003 közötti időszakban” című tanulmány alapján. (szerk: Várkonyi, T.)
- Cai, Z., 2007: Trending time-varying coefficient time series models with serially correlated errors. *Journal of Econometrics*, 136, 163-188.
- Chernozhukov, V., 2005: Extremal quantile regression. *Annals of Statistics*, 3, 806-839.
- Clot, B., 2003: Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia*, 19, 227-234.
- Cohen, A.J., Anderson, H.R., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Gutschmidt, K., Pope, A., Romieu, I., Samet, J.M., Smith, K., 2005: The global burden of disease due to outdoor air pollution. *Journal of Toxicology and Environmental Health, A*, 68(13-14), 1301-1307.
- Cormen, T.H., Leiserson, C.E., Rivest, R.L., Stein, C., 2001: Finding the convex hull, in *Introduction to Algorithms*, 2nd ed., pp. 947-957, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Cristofori, A., Cristofolini, F., Gottardini, E., 2010: Twenty years of aerobiological monitoring in Trentino (Italy): assessment and evaluation of airborne pollen variability. *Aerobiologia*, 26, 253-261.
- Csontos, P., Vitalos, M., Barina, Z., Kiss, L., 2010: Early distribution and spread of *Ambrosia artemisiifolia* in Central and Eastern Europe. *Botanica Helvetica*, 120(1), 75-78.
- D'Amato, G., Liccardi, G., D'Amato, M., Holgate, S., 2005: Environmental risk factors and allergic bronchial asthma. *Clinical and Experimental Allergy*, 35(9), 1113-1124.
- D'Amato, G., 2011: Effects of climatic changes and urban air pollution on the rising trends of respiratory allergy and asthma. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, 6, 28-37.
- Damialis, A., Gioulekas, D., Lazopoulou, C., Balafoutis, C., Vokou D., 2005: Transport of airborne pollen into the city of Thessaloniki: the effects of wind direction, speed and persistence. *International Journal of Biometeorology*, 49, 139-145.
- Damialis, A., Halley, J.M., Gioulekas, D., Vokou, D., 2007: Long-term trends in atmospheric pollen levels in the city of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, 41, 7011-7021.
- Deák, J.Á.: 2010: Csongrád megye kistájainak élőhelymintázata és tájökölógiai szempontú értékelése. PhD dolgozat. Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 125 p.
- Dechamp, C., Rimet, M.L., Meon, H., Deviller, P., 1997: Parameters of ragweed pollination in the Lyon's area (France) from 14 years of pollen counts. *Aerobiologia* 13, 275-279.
- Declavijo, E.R., Galán, C., Infante, F., Domínguez, E., 1988: Variations of airborne winter pollen in southern Spain. *Allergologia et Immunopathologia*, 16(3), 175-179.
- Díaz, J., Linares, C., Tobías, A., 2007: Short-term effects of pollen species on hospital admissions in the city of Madrid in terms of specific causes and age. *Aerobiologia*, 23(4), 231-238.

- Dorling, S.R., Davies, T.D., Pierce, C.E., 1992: Cluster analysis: a technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry – method and applications. *Atmospheric Environment*, 26(14), 2575-2581.
- Dose, V., Menzel, A., 2004: Bayesian analysis of climate change impacts in phenology. *Global Change Biology*, 10, 259-272.
- Draper N., Smith H., 1981. *Applied Regression Analysis*, 2d ed., John Wiley & Sons, New York
- Draxler, R.R., Hess, G.D., 1998: An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories, dispersion and deposition. *Australian Meteorological Magazine*, 47, 295-308.
- Emberlin, J., Norrishill, J., 1991: Spatial variation of pollen deposition in north London. *Grana*, 30(1), 190-195.
- Emberlin, J., Mullins, J., Corden, J., Millington, W., Brooke, M., Savage, M., Jones S., 1997: The trend to earlier Birch pollen seasons in the UK: A biotic response to changes in weather conditions? *Grana*, 36, 29-33.
- Emberlin, J., Detandt, M., Gehrig, R., Jäger, S., Noland, N., Rantio-Lehtimäki, A., 2002: Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. *International Journal of Biometeorology*, 46, 159-170.
- Emberlin, J., Laaidi, M., Detandt, M., Gehrig, R., Jäger, S., Myszkowska, D., Noland, N., Rantio-Lehtimäki, A., Stach, A., 2007a: Climate change and evolution of the pollen content of the air in seven European countries: The example of Birch. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 47, 57-63.
- Emberlin, J., Smith, M., Close, R., Adams-Groom, B., 2007b: Changes in the pollen seasons of the early flowering trees *Alnus* spp. and *Corylus* spp. in Worcester, United Kingdom, 1996-2005. *International Journal of Biometeorology*, 51, 181-191.
- Fan, J., 1992: Design-adaptive nonparametric regression. *Journal of the American Statistical Association*, 87, 998-1004.
- Fan, J., Gijbels, I., 1992: Variable bandwidth and local linear regression smoothers. *Annals of Statistics*, 20, 2008-2036.
- Fan, J., 1993: Local linear regression smoothers and their minimax efficiency. *Annals of Statistics*, 21, 196-216.
- Fehér, Z., Járαι-Komlódi, M., 1997: An examination of the main characteristics of the pollen seasons in Budapest, Hungary (1991-1996). *Grana*, 36(3), 169-174.
- Fischer, G., Roppert, J., 1965: Ein Verfahren der Transformationsanalyse faktorenanalytischer Ergebnisse. In: *Lineare Strukturen in Mathematik und Statistik unter besonderer Berücksichtigung der Faktoren- und Transformationsanalyse. Arbeiten aus dem Institut für höhere Studien und wissenschaftliche Forschung*. Wien Verlag Physica, Wien-Würzburg, 1.
- Fornaciari, M., Bricchi, E., Greco, F., Fascini, D., Giannoni, C., Frenguelli, G., Romano, B., 1992: Daily variations of *Urticaceae* pollen count and influence of meteoroclimatic parameters in East Perugia during 1989. *Aerobiologia* 8, 407-413.
- Fornaciari, M., Galán, C., Mediavilla, A., Domínguez, E., Romano, B., 2000: Aeropalynological and phenological study in two different Mediterranean olive areas: Cordoba (Spain) and Perugia (Italy). *Plant Biosystems*, 134(2), 199-204.
- Francisco-Fernández, M., Vilar-Fernández, J.M., 2004. Weighted local nonparametric regression with dependent data: study of real private residential fixed investment in the USA. *Statistical Inference for Stochastic Processes*, 7, 69-93.
- Franzen, L.G., Hjelmroos, M., Kallberg, P., Brorstromlunden, E., Juntto, S., Savolainen, A.L., 1994: The yellow-snow episode of Northern Fennoscandia, March-1991 – a case-study

- of long-distance transport of soil, pollen and stable organic-compounds. *Atmospheric Environment*, 28(22), 3587-3604.
- Frei, T., 1997: Pollen distribution at high elevation in Switzerland: Evidence for medium range transport. *Grana*, 36(1), 34-38.
- Frei, T., 2008: Climate change and its impact on airborne pollen in Basel, Switzerland 1969-2007. *Allergologie*, 31, 165-169.
- Frei, T., Gassner, E., 2008a: Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969-2006. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 667-674.
- Frei, T., Gassner, E., 2008b: Trends in prevalence of allergic rhinitis and correlation with pollen counts in Switzerland. *International Journal of Biometeorology*, 52(8), 841-847.
- Freitas, M.C., Pacheco, A.M.G., Verbarg, T.G., Wolterbeek, H.T., 2010: Effect of particulate matter, atmospheric gases, temperature, and humidity on respiratory and circulatory diseases' trends in Lisbon, Portugal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 162(1-4), 113-121.
- Frenguelli, G., Tedeschini, E., Veronesi, F., Bricchi, E., 2002: Airborne pine (*Pinus* spp.) pollen in the atmosphere of Perugia (Central Italy): behaviour of pollination in the two last decades. *Aerobiologia*, 18, 223-228.
- Fusco, D., Forastiere, F., Michelozzi, P., Spadea, T., Ostro, B., Arca, M., Perucci, C.A., 2001: Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. *European Respiratory Journal*, 17, 1143-1150.
- Galán, C., Alcázar, P., Cariñanos, P., Garcia, H., Domínguez-Vilches, E., 2000: Meteorological factors affecting daily urticaceae pollen counts in southwest Spain. *International Journal of Biometeorology*, 43(4), 191-195.
- Galán, C., Cariñanos, P., García-Mozo, H., Alcázar, P., Domínguez-Vilches E., 2001: Model for forecasting *Olea europaea* L. airborne pollen in south-west Andalusia, Spain. *International Journal of Biometeorology*, 45(2), 59-63.
- García-Mozo, H., Mestre, A., Galán, C., 2010: Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 575-580.
- Gassmann, M.I., Pérez, C.F., 2006: Trajectories associated to regional and extra-regional pollen transport in the southeast of Buenos Aires province, Mar del Plata (Argentina). *International Journal of Biometeorology*, 50, 280-291.
- Giner, M.M., García, J.S.C., Sellés, J.G., 1999: Aerobiology of *Artemisia* airborne pollen in Murcia (SE Spain) and its relationship with weather variables: annual and intradiurnal variations for three different species. Wind vectors as a tool in determining pollen origin. *International Journal of Biometeorology*, 43, 51-63.
- Gioulekas, D., Balafoutis, C., Damialis, A., Papakosta, D., Gioulekas, G., Patakas, D., 2004a: Fifteen years' record of airborne allergenic pollen and meteorological parameters in Thessaloniki, Greece. *International Journal of Biometeorology*, 48(3), 128-136.
- Gioulekas, D., Papakosta, D., Damialis, A., Spielsma, F., Giouleka, P., Patakas, D., 2004b: Allergenic pollen records (15 years) and sensitisation in patients with respiratory allergy in Thessaloniki, Greece. *Allergy*, 59, 174-184.
- Gladieux, P., Giraud, T., Kiss, L., Genton, B.J., Jonot, O., Shykoff, J.A., 2011: Distinct invasion sources of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in Eastern and Western Europe. *Biological Invasions*, 13(4), 933-944.
- Golder, D., 1972: Relations among stability parameters in the surface layer. *Boundary Layer Meteorology*, 3, 47-58.
- Green, B.J., Dettmann, M., Yli-Panula, E., Rutherford, S., Simpson, R., 2004: Atmospheric Poaceae pollen frequencies and associations with meteorological parameters in

- Brisbane, Australia: a 5-year record, 1994-1999. *International Journal of Biometeorology*, 48(4), 172-178.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 1998: *Multivariate data analysis*. 730 p, Prentice Hall (5th ed), New Jersey
- Haraszty, Á. (ed.), 2004: *Növényyszervezetten és növényélettan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 800 p.
- Harsányi, E., 2009: Parlagfű és allergia. *Növényvédelem*, 45(8), 454-458.
- Hart, M.A., de Dear, R., Beggs, P.J., 2007: A synoptic climatology of pollen concentrations during the six warmest months in Sydney, Australia. *International Journal of Biometeorology*, 51(3), 209-220.
- Helbig, N., Vogel, B., Vogel, H., Fiedler, F., 2004: Numerical modelling of pollen dispersion on the regional scale. *Aerobiologia*, 20, 3-19.
- Hewson, T.D., 1998: Objective fronts. *Meteorological Applications*, 5(1), 37-65.
- Hirst, J.M., 1952: An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39(2), 257-265.
- Hjelmroos, M., 1991: Evidence of long-distance transport of *Betula* pollen. *Grana*, 30, 215-228.
- Hjelmroos, M., Burkhead, T., Egen, N.B., Spangfort, M., Schumacher, M.J., 1999: Effects of automobile pollution and sunlight on variation of Bet v I content of birch pollen. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 103(1), S91-S91.
- Horváth, F., Dobolyi, Z.K., Morschhauser, T., Lőkös, L., Karas, L., Szerdahelyi, T., 1995: *Flóra adatbázis 1.2*. MTA-ÖBKI, Vácrátót, 267 p.
- Horváth, Sz., Makra, L., Motika, G., 2002: An objective assessment of the connection between meteorological elements and the concentrations of the main air pollutants at Szeged, Hungary. *AMS Fourth Symposium on the Urban Environment and the 12th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the Air and Waste Management Association*, Norfolk, USA, Proceedings, J4.3, J58-J59.
- HYSPLIT4 Model version 4.8 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>, NOAA, Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 1997
- IPCC, *Climate Change 2007. Synthesis Report*
- Jäger, S., Spiessma, F.T.M., Noland, N., 1991: Fluctuations and trends in airborne concentrations of some abundant pollen types, monitored at Vienna, Leiden, and Brussels. *Grana*, 30, 309-312.
- Jäger, S., Nilsson, S., Berggren, B., Pessi, AM., Helander, M., Ramfjord, H., 1996: Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980-1993 – A comparison between Stockholm, Trondheim, Turku and Vienna. *Grana*, 35, 171-178.
- Jäger, S., 1998: Global Aspects of Ragweed in Europe. *Satellite Symposium Proceedings: Ragweed in Europe*. 6th International Congress on Aerobiology, p. 6-8. Perugia, Italy, 31 August – 5 September 1998
- Jäger, S., Litschauer, R., 1998: Ragweed (*Ambrosia*) in Austria. *Satellite Symposium Proceedings: Ragweed in Europe*. 6th International Congress on Aerobiology, p. 22-26. Perugia, Italy, 31 August – 5 September 1998
- Jahn, W., Vahle, H., 1968: *Die Faktoranalyse und ihre Anwendung*. Verlag die Wirtschaft, Berlin, 231 p.
- Járai-Komlódi, M., Juhász, M., 1993: *Ambrosia elatior* (L.) in Hungary (1989-1990). *Aerobiologia*, 9, 75-78.
- Jato, M.V., Rodríguez, F.J., Seijo, M.C., 2000: Pinus pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 43, 147-153.

- Jato, V., Rodríguez-Rajo, F.J., Seijo, M.C., Aira, M.J., 2009: Poaceae pollen in Galicia (NW Spain): characterisation and recent trends in atmospheric pollen season. *International Journal of Biometeorology*, 53, 333-344.
- Jávorka, S., 1910: *Ambrosia artemisiifolia* Magyarországon. *Botanikai Közlemények*, 11, 303.
- Johnson, M.L., (ed), 2005: *The Cambridge Handbook of Age and Ageing*, Cambridge University Press
- Jolliffe, I.T., 1990: Principal component analysis: A beginner's guide – I. Introduction and application. *Weather*, 45, 375-382.
- Jolliffe, I.T., 1993: Principal component analysis: A beginner's guide – Pitfalls, myths and extensions. *Weather*, 48, 246-253.
- Joseph, P.M., Weiner, M.G., 2002: Visits to physicians after the oxygenation of gasoline in Philadelphia. *Archives of Environmental Health*, 57(2), 137-54.
- Joseph, P.M., 2007: Paradoxical ozone associations could be due to methyl nitrite from combustion of methyl ethers or esters in engine fuels. *Environment International*, 33(8), 1090-106.
- Juhász, M., 1995: New results of aeropalynological research in Southern Hungary. *Publications of the Regional Committee of the Hungarian Academy of Sciences, Szeged*, 5, 17-30.
- Juhász, M., 1996: A pollen, mint környezetszennyezést jelző indikátor. 2nd Symposium on Analytical and Environmental Problems. November 4, 1996, Szeged, *Book of Abstracts*, 152-159.
- Juhász, I.E., Juhász, M., 1997: Az aeroallergén növények pollenszórásának napi ritmusa a Dél-Alföld levegőjében. In: (eds: Szabó, T. és Miriszlai, E.) *Környezeti ártalmak és légzőrendszer*, 7, 28-34, Szentmihályi Nyomda, Zalaegerszeg
- Juhász, M., 1998: History of ragweed in Europe. *Satellite Symposium Proceedings: Ragweed in Europe. 6th International Congress on Aerobiology*, p. 11-14. Perugia, Italy, 31 August – 5 September 1998
- Juhász, M., Juhász, I.E., 2002: A hazai gyomnövények aeropalinológiai jelentősége. In: (eds: Szabó, T., Bártfai I., Somlai J.) *Környezeti ártalmak és a légzőrendszer*, 12, 149-160. F & G Press, Zalaegerszeg
- Just, J., Nikasinovic, L., Laoudi, Y., Grimfeld, A., 2007: Air pollution and asthma in children. *Revue Francaise d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 47(3), 207-213.
- Kadocsa, E., Bittera, L., Juhász, M., 1991: Pollenzámlálás alapján végzett bőrtesztek eredményei nyárvégi szezonális rhinitis allergiás betegeken. *Orvosi Hetilap*, 32, 1589-1591.
- Kadocsa, E., Juhász, M., 2000: A szénanáthás betegek allergénspektrumának változása a Dél-Alföldön (1990-1998). *Orvosi Hetilap*, 141(29), 1617-1620.
- Kadocsa, E., Juhász, M., 2002: Study of airborne pollen composition and allergen spectrum of hay fever patients in South Hungary (1990-1999). *Aerobiologia*, 18, 203-209.
- Kalkstein, L.S., Tan, G., Skindlov, J.A., 1987: An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic classification. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 717-730.
- Károssy, Cs., 1987: A Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek katalógusa (1983-1987). *Légekör*, 32(3), 28-30.
- Károssy, Cs., 2004: A Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek, 1988-2003. Kézirat
- Kasprzyk, I., 2008: Non-native *Ambrosia* pollen in the atmosphere of Rzeszow (SE Poland); evaluation of the effect of weather conditions on daily concentrations and starting dates of the pollen season. *International Journal of Biometeorology*, 52(5), 341-351.

- Kasprzyk, I., Walanus, A., 2010: Description of the main Poaceae pollen season using bi-Gaussian curves, and forecasting methods for the start and peak dates for this type of season in Rzeszow and Ostrowiec Sw. (SE Poland). *Journal of Environmental Monitoring*, 12(4), 906-916.
- Kassomenos, P., Papaloukas, C., Petrakis, M., Karakitsios, S., 2008: Assessment and prediction of short term hospital admissions: the case of Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 42(30), 7078-7086.
- Katsouyanni, K., Zmirou, D., Spix, C., 1996: Short-term effects of urban air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data. The Aphea protocol. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 5, Suppl 1, S12-S18.
- Kazinczi, G., Béres, I., Novák, R., Bíró, K., Pathy, Zs., 2008a: Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*): A review with special regards to the results in Hungary. I. Taxonomy, origin and distribution, morphology, life cycle and reproduction strategy. *Herbologia*, 9(1), 55-91.
- Kazinczi, G., Béres, I., Pathy, Zs., Novák, R., 2008b: Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*): A review with special regards to the results in Hungary. II. Importance and harmful effect, allergy, habitat, allelopathy and beneficial characteristics. *Herbologia*, 9(1), 94-118.
- Kazinczi, G., Béres, I., Novák, R., Karamán, J., 2009: Újra fókuszban az ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia Artemisiifolia* L.). *Növényvédelem*, 45(8), 389-403.
- Kiss, L., Béres, I., 2006: Anthropogenic factors behind the recent population expansion of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in Eastern Europe: is there a correlation with political transitions? *Journal of Biogeography*, 33(12), 2156-2157.
- Knight, A., Drouin, M.A., Yang, W.H., Alexander, M., Delcarpio, J., Arnott, W.S., 1991: clinical-evaluation of the efficacy and safety of noberastine, a new H1 antagonist, in seasonal allergic rhinitis - a placebo-controlled, dose-response study. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 88(6), 926-934.
- Koenker, R., Bassett, G.B., 1978: Regression quantiles. *Econometrica*, 46, 33-50.
- Koenker, R., 2005: Quantile regression. Cambridge University Press, Cambridge
- Köppen, W., 1931: Grundriss Der Klimakunde. Walter De Gruyter & Co., Berlin
- Krige, D.G., 1951: A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52(6), 119-139.
- Laaidi, M., Thibaudon, M., Besancenot, J.P., 2003: Two statistical approaches to forecasting the start and duration of the pollen season of *Ambrosia* in the area of Lyon (France). *International Journal of Biometeorology*, 48, 65-73.
- Latorre, F., Belmonte, J., 2004: Temporal and spatial distribution of atmospheric Poaceae pollen in Catalonia (NE Spain) in 1996-2001. *Grana*, 43, 156-163.
- Limpert, E., Burke, J., Galán, C., Trigo, M.M., West, J.S. Stahel, W.A., 2008: Data, not only in aerobiology: how normal is the normal distribution? *Aerobiologia*, 24, 121-124.
- Lorenzo, C., Marco, M., Paola, D.M., Alfonso, C., Marzia, O., Simone, O., 2006: Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 96(1), 86-91.
- Magas, O.K., Gunter, J.T., Regens, J.L., 2007: Ambient air pollution and daily pediatric hospitalizations for asthma. *Environmental Science and Pollution Research*, 14(1), 19-23.
- Mahalanobis, P.C., 1936: On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India*, 2(1), 49-55.

- Mahura, A.G., Ulrik, Č., Korsholm, S., Alexander, Č., Baklanov, A., Rasmussen, Č.A., 2007: Elevated birch pollen episodes in Denmark: contributions from remote sources. *Aerobiologia*, 23(3), 171-179.
- Makovcová, S., Zlinká, J., Mikoláš, V., Salát, D., Krio, V., 1998: Ragweed in Slovak Republic. Satellite Symposium Proceedings: Ragweed in Europe. 6th International Congress on Aerobiology, p. 27-28. Perugia, Italy, 31 August – 5 September 1998
- Makra, L., Tar, K., Horváth, Sz., 2000: Some statistical characteristics of the wind energy over the Great Hungarian Plain. *International Journal of Ambient Energy*, 21(2), 85-96.
- Makra, L., Horváth, Sz., Pongrácz, R., Mika, J., 2002: Long term climate deviations: an alternative approach and application on the Palmer Drought Severity Index in Hungary. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27, 1063-1071.
- Makra, L., Juhász, M., Borsos, E., Béczi, R., 2004: Meteorological variables connected with airborne ragweed pollen in Southern Hungary. *International Journal of Biometeorology*, 49(1), 37-47.
- Makra, L., Juhász, M., Béczi, R., Borsos, E., 2005: The history and impacts of airborne Ambrosia (Asteraceae) pollen in Hungary. *Grana*, 44(1), 57-64.
- Makra, L., Baglyas, V., 2006a: Temporal Distribution of Extreme Airborne Pollen Grain Concentrations in Szeged, Southern Hungary. *Epidemiology*, 17(6), S292-S293.
- Makra, L., Juhász, M., Mika, J., Bartzokas, A., Béczi, R., Sümeghy, Z., 2006b: An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary with special attention to plant pollen levels. *International Journal of Biometeorology*, 50(6), 403-421.
- Makra, L., 2006c: Comparison of Objective Air-mass Types and the Peczely Weather Types and their Ability of Classifying Airborne Pollen Grain Concentrations in Szeged, Hungary. *Epidemiology*, 17(6), S292-S292.
- Makra, L., Pálfi, S., Gál, A., Bíró, L., 2007a: Long Distance Transport of Ragweed Pollen to Southern Hungary. *Epidemiology*, 18(5), S8-S8.
- Makra, L., Pálfi, S., 2007b: Intra-regional and long range ragweed pollen transport over Southern Hungary. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 40-41, 69-77.
- Makra, L., Juhász, M., Mika, J., Bartzokas, A., Béczi, R., Sümeghy, Z., 2007c: Relationship between the Péczy's large-scale weather types and airborne pollen grain concentrations for Szeged, Hungary. *Grana*, 46(1), 43-56.
- Makra, L., Tombácz, Sz., Bálint, B., Sümeghy, Z., Sánta, T., Hirsch, T., 2008: Influences of meteorological parameters and biological and chemical air pollutants to the incidence of asthma and rhinitis. *Climate Research*, 37(1), 99-119.
- Makra, L., Tombácz, Sz., Eotvos, T., Kadocsa, E., 2009: Weather and Pollutants Related Incidence of Asthma and Rhinitis. *Epidemiology*, 20(6), S97-S98.
- Makra, L., Mayer, H., Mika, J., Sánta, T., Holst, J., 2010a: Variations of traffic related air pollution on different time scales in Szeged, Hungary and Freiburg, Germany. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(1-2), 85-94.
- Makra L., Sánta T., Matyasovszky I., Damialis A., Karatzas K., Bergmann K.C., Vokou D., 2010b: Airborne pollen in three European cities: Detection of atmospheric circulation pathways by applying three-dimensional clustering of backward trajectories. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 115, D24220, doi:10.1029/2010JD014743
- Makra, L., Matyasovszky, I., Guba, Z., Karatzas, K., Anttila, P., 2011a: Monitoring the long-range transport effects on urban PM10 levels using 3D clusters of backward trajectories. *Atmospheric Environment*, 45(16), 2630-2641.
- Makra, L., Matyasovszky, I., Thibaudon, M., Bonini, M., 2011b: Forecasting ragweed pollen characteristics with nonparametric regression methods over the most polluted areas in Europe. *International Journal of Biometeorology*, 55(3), 361-371.

- Makra, L., Matyasovszky, I., 2011c: Assessment of the Daily Ragweed Pollen Concentration with Previous-Day Meteorological Variables Using Regression and Quantile Regression Analysis for Szeged, Hungary. *Aerobiologia*, 27(3), 247-259.
- Makra, L., Matyasovszky, I., Deák, J.Á., 2011d: Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in Central Europe based on the example of Szeged, Hungary. *Atmospheric Environment*, 45(33), 6010-6018.
- Makra, L., Matyasovszky, I., Páldy, A., Deák, J.Á., 2012: The influence of extreme high and low temperatures and precipitation totals on pollen seasons of *Ambrosia*, *Poaceae* and *Populus* in Szeged, southern Hungary. *Grana* (accepted on January 18, 2012; Manuscript ID: SGRA-2011-0034.R1)
- Matyasovszky, I., Makra, L., Guba, Z., Pátkai, Zs., Páldy, A., Sümeghy, Z., 2011a: Estimating the daily *Poaceae* pollen concentration in Hungary by linear regression conditioning on weather types. *Grana*, 50(3), 208-216.
- Matyasovszky, I., Makra, L., 2011b: Autoregressive modelling of daily ragweed pollen concentrations for Szeged in Hungary. *Theoretical and Applied Climatology*, 104(1-2), 277-283.
- Matyasovszky, I., Makra, L., 2011c: Estimating extreme daily pollen loads for Szeged, Hungary using previous-day meteorological variables. *Aerobiologia*, DOI: 10.1007/s10453-011-9238-7
- Matyasovszky, I., Makra, L., Bálint, B., Guba, Z., Sümeghy, Z., 2011d: Multivariate analysis of respiratory problems and their connection with meteorological parameters and the main biological and chemical air pollutants. *Atmospheric Environment*, 45(25), 4152-4159.
- Mandrioli, P., Di Cecco, M., Andina, G., 1998: Ragweed pollen: The aeroallergen is spreading in Italy. *Aerobiologia*, 14, 13-20.
- Mányoki, G., Apatini, D., Novák, E., Magyar, D., Bobvos, J., Bobvos, G., Málnási, T., Elek, P., Páldy, A., 2011: Parlagfű – lakossági expozíció. Parlagfű helyzetkép és megoldási javaslatok az Aerobiológiai Hálózat mérései alapján és az OKI-AMO feldolgozásában. Országos Környezetegészségügyi Intézet Egészséghatás Előrejelzés Főosztály, Aerobiológiai Monitorozási Osztály, kézirat, Budapest, 29 p. http://www.zoldholnap.hu/download/docs/Az_Orszagos_Kornyezetegeszsegugyi_Intezet_jelentese_a_parlagfu_helyzetrol.pdf
- McGregor, G.R., Bamzeli, D., 1995: Synoptic typing and its application to the investigation of weather - air pollution relationships, Birmingham, United Kingdom. *Theoretical and Applied Climatology*, 51, 223-236.
- Menzel, A., Fabian, P., 1999: Growing season extended in Europe. *Nature*, 397, 659.
- Meyer, C.D., 2001: *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), ISBN 978-0898714548
- Mohapatra, S.S., Lockey, R.F., Shirley, S., 2005: Immunobiology of grass pollen allergens. *Current Allergy and Asthma Reports*, 5(5), 381-387.
- Motta, A. C., Marliere, M., Peltre, G., Sterenberg, P.A., Lacroix, G., 2006: Traffic-related air pollutants induce the release of allergencontaining cytoplasmic granules from grass pollen. *International Archives of Allergy and Immunology*, 139, 294-298.
- Mourtzoukou, E.G., Falagas, M.E., 2007: Exposure to cold and respiratory tract infections. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 11(9), 938-943.
- Namdeo, A., Bell, M.C., 2005: Characteristics and health implications of fine and coarse particulates at roadside, urban background and rural sites in UK. *Environment International*, 31, 565-573.
- Nascimento, L.F.C., Pereira, L.A.A., Braga, A.L.F., Modolo, M.C.C., Carvalho, J.A., 2006: Effects of air pollution on children's health in a city in Southeastern Brazil. *Revista de Saude Publica*, 40(1), 77-82.

- NCEP/NCAR National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (<http://dss.ucar.edu/datasets/ds090.0/>)
- Novák, R., Dancza, I., Szentey, L., Karamán, J., 2009: Magyarország szántóföldjeinek Gyomnövényzete. Ötödik országos szántóföldi gyomfelvételezés (2007-2008). II. átdolgozott kiadás, FVM, Budapest
- Nowak, D., Heinrich, J., Jorres, R., Wassmer, G., Berger, J., Beck, E., Boczor, S., Claussen, M., Wichmann, H.E., Magnussen, H., 1996: Prevalence of respiratory symptoms, bronchial hyperresponsiveness and atopy among adults: West and East Germany. *European Respiratory Journal*, 9(12), 2541-2552.
- Obtulowicz, K., Kotlinowska, T., Stobiecki, M., Dechnik, K., Obtulowicz, A., Manecki, A., Marszalek, M., Schejbal-Chwastek, M., 1996: Environmental air pollution and pollen allergy. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 3, 131-138.
- Ocana-Peinado, F., Valderrama, M., Aguilera, A.M., 2008: A dynamic regression model for air pollen concentration. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 22, Suppl. 1, S59-S63.
- Oh, J.W., 2009: Development of Pollen Concentration Prediction Models. *Journal of Korean Medical Association*, 52(6), 579-591.
- Omer, S.B., Sutanto, A., Sarwo, H., Linehan, M., Djelantik, I.G.G., Mercer, D., Moniaga, V., Moulton, L.H., Widjaya, A., Muljati, P., Gessner, B.D., Steinhoff, M.C., 2008: Climatic, temporal, and geographic characteristics of respiratory syncytial virus disease in a tropical island population. *Epidemiology and Infection*, 136(10), 1319-1327.
- Orazzo, F., Nespoli, L., Ito, K., Tassinari, D., Giardina, D., Funis, M., Cecchi, A., Trapani, C., Forgeschi, G., Vignini, M., Nosetti, L., Pigna, S., Zanobetti, A., 2009: Air Pollution, Aeroallergens, and Emergency Room Visits for Acute Respiratory Diseases and Gastroenteric Disorders among Young Children in Six Italian Cities. *Environmental Health Perspectives*, 117(11), 1780-1785.
- Önöz, B., Bayazit, M., 2003: The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27, 247-251.
- Páldy, A., Bobvos, J., Magyar, D., Nékám, K., Bitay, Zs., Csajbók, V., Kelemen, A., 2010: Parlagfűallergia. A parlagfű pollinózis – a poliszzenitizáltság kezdete? *Egészségtudomány*, 54(4), 47-55.
- Páldy, A., Bobvos, J., Zsámbokiné Bakacs, M., Erdei, E., Vámos, A., 2003: A levegőszennyezettség egészségkárosító hatásának értékelése. *Budapesti Népegészségügy*, 34(3), 223-227.
- Parker, J., Malone, M., 2004: Flora I-II. Global Book Publishing Pty Ltd., Willoughby
- Pasquill, F., 1962: Atmospheric diffusion. Van Nostrand, London, 209 p.
- Péczely, G., 1957: *Grosswetterlagen in Ungarn*. Kleinere Veröffentlichungen der Zentralanstalt für Meteorologie, 30, Budapest, 86 p.
- Péczely, G., 1961: *Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek éghajlati jellemzése*. Az Országos Meteorológiai Intézet Kisebb Kiadványai, 32, Budapest, 128 p.
- Péczely, G., 1979: Éghajlattan. Tankönyvkiadó, Budapest, 336 p.
- Péczely, G., 1983: Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa (1881-1983). Országos Meteorológiai Szolgálat Kisebb Kiadványai, 53, Budapest, 116 p.
- Peeters, A.G., Frei, T., Wuthrich, B., 1994: Comparison between airborne pollen and frequency of pollinosis at 2 climatologically different locations in Switzerland (Zurich and Locarno). *Allergologie*, 17(11), 501-504.
- Peternel, R., Čulig, J., Hrga, I., Hercog, P., 2006a: Airborne ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen concentrations in Croatia, 2002-2004. *Aerobiologia*, 22(3), 161-168.
- Peternel, R., Srnc, L., Čulig, J., Hrga, I., Hercog, P., 2006b: Poaceae pollen in the atmosphere of Zagreb (Croatia), 2002-2005. *Grana*, 45(2), 130-136.

- Petrányi, Gy., (ed.), 2000: Klinikai Immunológia. Medicina Könyvkiadó, Budapest
- Preparata, F.P., Hong, S.J., 1977: Convex hulls of finite sets of points in two and three dimensions, *Communications of the ACM*, 20, 87-93.
- Priszter, Sz., 1957: Magyarország adventív növényeinek ökológiai-areálgeográfiai viszonyai. Kandidátusi disszertáció. Budapest
- Priszter, Sz., 1960: Adventív gyomnövényeink terjedése. Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kiadványai, 15-16, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Puc, M., Puc, M.I., 2004: Allergenic airborne grass pollen in Szczecin, Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11(2), 237-244.
- Puc, M., 2006: Ragweed and mugwort pollen in Szczecin, Poland. *Aerobiologia*, 22(1), 67-78.
- Radišić, P., 2011: Polen kao pokazatelj kvaliteta Životne sredine. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu Prirodno-Matematički Fakultet Departman Za Biologiju i Ekologiju. Novi Sad, 202 p.
- Rantio-Lehtimäki, A., 1994: Short, medium and long range transported airborne particles in viability and antigenicity analyses. *Aerobiologia*, 10, 175-181.
- Ranzi, A., Lauriola, P., Marletto, V., Zinoni, F., 2003: Forecasting airborne pollen concentrations: Development of local models. *Aerobiologia*, 19, 39-45.
- Recio, M., Docampo, S., García-Sánchez, J., Trigo, M.M., Melgar, M., Cabezudo, B., 2010: Influence of temperature, rainfall and wind trends on grass pollination in Malaga (western Mediterranean coast). *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(7-8), 931-940.
- Renard, R.J., Clarke, L.C., 1965: Experiment in numerical objective frontal analysis. *Monthly Weather Review*, 93(9), 547-556.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Dacosta, N., Jato, V. 2004a: Airborne olive pollen in Vigo (Northwest Spain): a survey to forecast the onset and daily concentrations of the pollen season. *Grana*, 43(2), 101-110.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Iglesias, I., Jato, V., 2004b: Allergenic airborne pollen monitoring of Vigo (NW Spain) in 1995-2001. *Grana*, 43(3), 164-173.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Jato, V., Aira, M.J., 2005: Relationship between meteorology and Castanea airborne pollen. *Belgian Journal of Botany*, 138, 129-140.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Valencia-Barrera, R.M., Vega-Maray, A.M., Suárez, F.J., Fernández-González, D., Jato, V., 2006: Prediction of airborne Alnus pollen concentration by using Arima models. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 13, 25-32.
- Rousseau, D.D., Duzer, D., Cambon, G., Jolly, D., Poulsen, U., Ferrier, J., Schevin, P., Gros, R., 2003: Long distance transport of pollen to Greenland. *Geophysical Research Letters*, 30(14), Article number: 1765
- Rousseau, D.D., Duzer, D., Etienne, J.L., Cambon, G., Jolly, D., Ferrier, J., Schevin, P., 2004: Pollen record of rapidly changing air trajectories to the North Pole. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 109(D6), Article number: D06116
- Rousseau, D.D., Schevin, P., Duzer, D., Cambon, G., Ferrier, J., Jolly, D., Poulsen, U., 2005: Pollen transport to southern Greenland: new evidences of a late spring long distance transport. *Biogeosciences Discussions*, 2, 1-19.
- Rousseau, D.D., Schevin, P., Ferrier, J., Jolly, D., Andreassen, T., Ascanius, S.E., Hendriksen, S.E., Poulsen, U., 2008: Long-distance pollen transport from North America to Greenland in spring. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 113(G2), Article number: G02013
- Ruiz, S.S., Bustillo, A.M.G., Morales, P.C., Cuesta, P., 2008: Forecasting airborne Platanus pollen in the Madrid region. *Grana*, 47, 234-240.
- Sánchez Mesa, J.A., Galán, C., Hervás, C., 2005: The use of discriminant analysis and neural networks to forecast the severity of the Poaceae pollen season in a region with a typical Mediterranean climate. *International Journal of Biometeorology*, 49, 355-362.

- Schueler, S., Schlüntzen, K., 2006: Modeling of oak pollen dispersal on the landscape level with a mesoscale atmospheric model: *Environmental Modeling & Assessment*, 11, 179-194.
- Šikoparija, B., Smith, M., Skjøth, C.A., Radišić, P., Milkovska, S., Šimić, S., Brandt, J., 2009: The Pannonian plain as a source of Ambrosia pollen in the Balkans. *International Journal of Biometeorology*, 53(3), 263-272.
- Simoncsics, P., Osváth, P., Balázs, I., 1968: Qualitative analysis of pollen composition in the air. *Rheumatologia, Balneologia, Allergologia*, 9, 117.
- Sindosi, O.A., Katsoulis, B.D., Bartzokas, A., 2003: An objective definition of air mass types affecting Athens, Greece; the corresponding atmospheric pressure patterns and air pollution levels. *Environmental Technology*, 24, 947-962.
- Skjøth, C.A., Smith, M., Brandt, J., Emberlin, J., 2009: Are the birch trees in Southern England a source of Betula pollen for North London? *International Journal of Biometeorology*, 53(1), 75-86.
- Skjøth, C.A., Smith, M., Šikoparija, B., Stach, A., Myszkowska, D., Kasprzyk, I., Radišić, P., Stjepanovic, B., Hrga, I., Apatini, D., Magyar, D., Páldy, A., Ianovici, N., 2010: A method for producing airborne pollen source inventories: An example of Ambrosia (ragweed) on the Pannonian Plain: *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1203-1210.
- Sloan, C., Moore, M.L., Hartert, T., 2011: Impact of Pollution, Climate and Sociodemographic Factors on Spatiotemporal Dynamics of Seasonal Respiratory Viruses. *CTS-Clinical and Translational Science*, 4(1), 48-54.
- Smith, M., Emberlin, J., 2005: Constructing a 7-day ahead forecast model for grass pollen at north London, United Kingdom. *Clinical and Experimental Allergy*, 35, 1400-1406.
- Smith, M., Emberlin, J., 2006: A 30-Day-Ahead Forecast Model for Grass Pollen in North London, United Kingdom. *International Journal of Biometeorology*, 50, 233-242.
- Smith, M., Skjøth, C.A., Myszkowska, D., Uruska, A., Puc, M., Stach, A., Balwierz, Z., Chlopek, K., Piotrowska, K., Kasprzyk, I., Brandt, J., 2008: Long-range transport of Ambrosia pollen to Poland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(10), 1402-1411.
- Smith, R., 1994: Nonregular regression. *Biometrika*, 81, 173-183.
- Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., Rantio-Lehtimäki, A., 2006: Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study. *International Journal of Biometeorology*, 50, 392-402.
- Spieksma, F.Th.M., den Tonkelaar, J.F., 1986: Four-hourly fluctuations in grass-pollen concentrations in relation to wet versus dry weather, and to short versus long over-land advection. *International Journal of Biometeorology*, 30(4), 351-358.
- Stach, A., García-Mozo, H., Prieto-Baena, J.C., Czarnecka-Operacz, M., Jenerowicz, D., Silny, W., Galán, C., 2007: Prevalence of Artemisia species pollinosis in western Poland: Impact of climate change on aerobiological trends, 1995-2004. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 17, 39-47.
- Štefanić, E., Kovačević, V., Lazanin, Ž., 2005: Airborne ragweed pollen concentration in north-eastern Croatia and its relationship with meteorological parameters. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 12, 75-79.
- Stennett, P.J., Beggs, P.J., 2004: Pollen in the atmosphere of Sydney, Australia, and relationships with meteorological parameters. *Grana*, 43, 209-216.
- Stohl, A., 1998: Computation, accuracy and application of trajectories – A review and bibliography. *Atmospheric Environment*, 32(6), 947-966.
- Strausz, J., (ed.), 2003: *Asthma bronchiale*. Mediszer GlaxoSmithKline, Budapest
- Strausz, J., Böszörményi Nagy, Gy., Csekeő, A., Csoma, Zs., Herjavec, I., Kovács, G., Nyári, L., Ostoros, Gy., Zsarnóczai, I., 2010: A pulmonológiai intézmények 2009 évi epidemiológiai és működési adatai. *Korányi Bulletin*, 2, 2-25.

- Subiza, J., Jerez, M., Jiménez, J.A., Narganes, M. J., Cabrera, M., Varela, S., Subiza, E., 1995: Allergenic pollen and pollinosis in Madrid. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 96(1), 15-23.
- Summers-Smith, J.D., 2007: Is unleaded petrol a factor in urban House Sparrow decline? *British Birds*, 100, 558. ISSN 0007-0335
- Taramarcaz, P., Lambelet, C., Clot, B., Keimer, C., Hauser, C., 2005: Ragweed (*Ambrosia*) progression and its health risks: will Switzerland resist this invasion? *Swiss Medical Weekly*, 135(37-38), 538-548.
- Taylor, A.D., 1997: Conformal map transformations for meteorological modelers. *Computers & Geosciences*, 23, 63-75.
- Tedeschini, E., Rodríguez-Rajo, F.J., Caramiello, R., Jato, V., Frenguelli, G., 2006: The influence of climate changes in *Platanus* spp. pollination in Spain and Italy. *Grana*, 45, 222-229.
- Teranishi, H., Katoh, T., Kenda, K., Hayashi, S., 2006: Global warming and the earlier start of the Japanese-cedar (*Cryptomeria japonica*) pollen season in Toyama, Japan. *Aerobiologia*, 22, 91-95.
- Tonello, M.S., Prieto, A.R., 2008: Modern vegetation-pollen-climate relationships for the Pampa grasslands of Argentina. *Journal of Biogeography*, 5, 926-938.
- Trewartha, G.T., 1968: *An Introduction to Climate*. McGraw-Hill, New York
- Tukey, J.W., 1985: The problem of multiple comparisons (1953) In: *The Collected Works of John W. Tukey, Volume II: Time Series, 1965-1984*. Wadsworth Advanced Books & Software, Monterey, CA.
- Turner, D.B., 1964: A Diffusion Model for an Urban Area. *Journal of Applied Meteorology*, 3, 83-91.
- Valencia-Barrera, R.M., Comtois, P., Fernández-González, D., 2001: Biogeography and bioclimatology in pollen forecasting – An example of grass in Leon (Spain) and Montreal (Canada). *Grana*, 40(4-5), 223-229.
- Vercseg, O., 2008: Jogi eszközök a parlagfű-fertőzés visszaszorítására. *Agrofórum*, 26, 19-21.
- Verma, K.S., Pathak, A.K., 2009: A Comparative Analysis of Forecasting Methods for Aerobiological Studies. *Asian Journal of Experimental Sciences*, 23, 193-198.
- Vogel, H., Pauling, A., Vogel, B., 2008: Numerical simulation of birch pollen dispersion with an operational weather forecast system: *International Journal of Biometeorology*, 52(8), 805-814.
- Yan, W.K., Lap, Y.C., Wah, L.P., 2008: Automatic identification of weather systems from numerical weather prediction data using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 35(1-2), 542-555.
- Yu, K., Jones, M.C., 1998: Local linear quantile regression. *Journal of the American Statistical Association*, 93, 228-237.
- Ziska, L.H., Caulfield, F.A., 2000: Rising CO₂ and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), a known allergy-inducing species: implications for public health. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27, 893-898.

<http://www.ecmwf.int/>

<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>

<http://dss.ucar.edu/datasets/ds090.0/>

<http://www.qhull.org>

<https://ean.polleninfo.eu/ean>

http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/