

IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK LÉGSZENNYEZETTSÉG CENTRIKUS OBJEKTÍV OSZTÁLYOZÁSA SZEGEDRE

ÖSSZEFOGLALÓ

A dolgozat meghatározza a Kárpát-medence fölött előforduló jellegzetes időjárási típusokat a téli (december, január és február), valamint a nyári (június, július és augusztus) hónapokban, majd feltárja, hogy ezen időjárási típusok milyen szerepet játszanak a hagyományos fő légszennyező anyagok feldúsulásában/felhígulásában. Az ECMWF adatbázisára alapozva elkészítettük a 00 óraker UTC mért napi tengersizinti légnyomási mezőket minden egyes időjárási típusra (clusterre) azon célból, hogy kiderítsük a tengersizinti légnyomási mezők és a légszennyező anyagok koncentrációi közötti kapcsolatot Szegeden. A dolgozat adatbázisa 12 meteorológiai elem és 8 légszennyező paraméter napi értékeit tartalmazza az 1997-2001 közötti ötéves periódusra vonatkozóan. A jellegzetes időjárási típusok objektív definiálása a faktoranalízis és a clusteranalízis módszereinek alkalmazásával történt. Eredményeink szerint a téli hónapokban az elsődleges légszennyező anyagok koncentrációit tekintve öt időjárási típust (clustert) különítettünk el, melyek magasabb koncentrációkat jeleznek abban az esetben, ha magas a besugárzás, valamint alacsony a szélsébség. Ez akkor fordul elő, amikor egy anticiklon található centrumával a Kárpát-medence fölött, továbbá akkor, amikor egy anticiklon figyelhető meg a Kárpát-medencétől délre, mely befolyásolja Magyarország időjárását. Alacsony légszennyezőanyag koncentrációk pedig akkor fordulnak elő, amikor zonális légáramlások határozzák meg a Magyarország fölötti időjárási folyamatokat. A nyári hónapok során az anticiklon-centrum helyzet, illetve az anticiklon peremhelyzetek a leggyakoribbak a Kárpát-medence fölött. (Anticiklon peremhelyzet fennállásakor a Kárpát-medence egy magas nyomású légköri képződmény peremén található.) Nyáron a magas besugárzás és a rendkívül alacsony NO_x-koncentrációk miatt a másodlagos légszennyező anyagok erősen feldúsulnak.

1. BEVEZETÉS

A légszennyezettség rendkívül fontos környezetvédelmi probléma, főleg a túlszűfolt és túlnépesedett nagyvárosokban. A legtöbb emberi tevékenység szennyezőanyagokat termel, melyek folyamatosan felhalmozódnak. A légszennyezettség nemcsak forrásának közvetlen környezetét károsítja, hanem hatással van távolabbi térségek levegőminőségére is.

A levegőminőséget, valamint a légszennyező anyagok koncentrációit nemcsak fizikai és kémiai tényezők befolyásolhatják, hanem meteorológiai, továbbá

földrajzi és társadalmi tényezők is. Némely időjárási helyzet, pl. enyhe szélviszonyok, vagy szélcsend hőmérsékleti inverziókkal – ami az anticiklonális időjárási helyzetekre jellemző – szélsőséges mértékben megnövelheti a légszennyező anyagok koncentrációját.

Európára vonatkozóan számos légszennyezettséggel kapcsolatos tanulmány jelent már meg a nemzetközi szakirodalomban. Athén levegőjének tanulmányozása e tekintetben különösen nagy figyelmet kapott, elsősorban a hosszú nyarai miatt, melyekre a szélcsend, vagy gyenge szelek, továbbá zavartalan besugárzás a jellemző. Ez a nyári időjárás, valamint a várost északról határoló hegyek kedveznek a légszennyező anyagok rendkívüli mértékű felhalmozódásához (*Kambezidis et al., 1995; 1998*).

Péczy (1959) vizsgálatai szerint Budapesten a légszennyezettség derült, szélcsendes időjárással, esetleg gyenge légáramlásokkal jellemzett kiterjedt és tartós anticiklonális időjárás fennállásakor éri el csúcserőit. Ugyanakkor a légszennyezettség viszonylag alacsony, amikor ciklonális időjárási viszonyok uralkodnak a Kárpát-medence fölött, erős és turbulens légáramlásokkal. Különösen abban az esetben javul a levegőminőség, amikor Magyarország a ciklon hátoldali, hidegfronti áramrendszerében található.

A dolgozat fő célja, hogy többváltozós statisztikai módszerek alkalmazásával meghatározzuk a Szeged fölött uralkodó időjárási típusok egy objektív, megbízható osztályozási rendszerét a nyári és a téli hónapokra. Ezt követően a homogén hőmérsékleti- és nedvességviszonyok által jellemzett időjárási típusok mindegyikére megbecsüljük a fő légszennyező anyagok koncentrációit. Majd azon célból, hogy feltárhassuk az uralkodó időjárási típusok közötti lehetséges kapcsolatot, meghatározzuk a közepes tengersizinti légnyomási mezők térbeli eloszlását, valamint a Szeged térségében előforduló légszennyező anyagok koncentrációit az egyes időjárási típusokra az Észak-atlanti – Európai térségre.

Viszonylag kevés ilyen témájú tanulmány született a nemzetközi szakirodalomban. *Ambrózy et al. (1984)* makrocirkulációs rendszerek évszakos objektív tipizálását végezte el a napi 500 mb-os abszolút topográfia adatai alapján az Atlanti-Európai térségre. *Bartholy (1989)* a 700 mb-os légnyomási felület napi adatait felhasználva az északi félgömbre határozott meg objektív makrotípusokat. Időjárási típusok objektív megközelítésére példaként említhetők még *McGregor és Bamzeli (1995)*, *Sindosi et al. (2003)*, valamint *Makra et al. (2006)* munkái, akik a hagyományos fő légszennyező anyagok (MAPs) koncentrációi szerint időjárási típusokat hatá-

roztak meg külön-külön Birmingham-re, Athénre, illetve Szegedre. Ugyanakkor *Kassomenos et al.* (1998), *Péczely* (1957, 1983) és *Károssy*, (1987, 2004) szubjektív módszereket alkalmazva érdekes eredményeket kaptak Athén, illetve Budapest éghajlatának makroszinoptikus tipizálásával kapcsolatosan. *Péczely* (1959), valamint *Kassomenos et al.* (1998) szubjektív időjárás típusok hatékonyságát tanulmányozták a légszennyező anyagok feldúsulásában, illetve felhígulásában.

Másrésről gyakran használnak ún. stabilitási osztályokat, pl. a levegőminőség modellezésére azon célból, hogy osztályozzák, vajon a légszennyező anyagok szóródása számottevő, vagy csekély az uralkodó meteorológiai feltételek alapján (melyeket empirikusan határoznak meg a szélesség, a hőmérsékleti gradiens, a borultság vagy a napsugárzás ismeretében) (*Pasquill, 1962; Turner, 1964*). Mind Pasquill, mind Turner osztályozási rendszere független a tengerszint fölötti magasságtól és a felszín érdességétől (*Golder, 1972*). E dolgozatban az általunk használt módszer egy objektív osztályozási rendszer, szemben Pasquill és Turner szubjektív módon meghatározott kategóriáitól. Továbbá az általunk használt módszer sokkal több meteorológiai paramétert vesz figyelembe az időjárás típusok osztályozására, valamint a légszennyező anyagok koncentrációja szerint kapott osztályokat (időjárás típusokat) statisztikailag is kiértékeljük.

Ugyanakkor megjegyezzük, hogy a dolgozatban használt módszerek nem helyettesíthetnek egyéb kémiai transzport modelleket, viszont kiegészítik a jelenleg használatos módszereket, hozzájárulva a légszennyezettség koncentrációk előrejelzéséhez.

E tanulmány egy objektív időjárás osztályozási rendszert mutat be, mely egyúttal alapul szolgálhat egy légszennyezettség megfigyelés/előrejelzési rendszer létrehozására azzal a végső céllal, hogy Szeged légszennyezettségét tanulmányozzuk.

2. SZEGED ÉGHAJLATA ÉS LEVEGŐMINŐSÉGE

2.1. Éghajlat

A Köppen-féle klímaosztályozás szerint Magyarország területének legnagyobb része – Csongrád megyével és a szegedi agglomerációval együtt – a Cf klímazónába tartozik (*Köppen, 1931*), melyet meleg-mérséklet éghajlat jellemez csaknem egyenletes évi csapadékeloszlással („C” az abc szerinti felsorolásban a harmadik klímátípust jelöli, míg az „f” jelentése: állandóan nedves, minden hónapban hullik csapadék, száraz időszak nincs), illetve *Trewartha* (1943) szerint a D.1 klímazóna része, melyre kontinentális éghajlat a jellemző hosszabb meleg évszakkal („D” az abc szerinti felsorolásban a negyedik klímátípust jelöli, míg az „1” azon belül az első altípusra utal).

Magyarország részletesebb, nagyobb felbontású éghajlati osztályozása a vegetációs időszak középhőmér-

sékletén (tVS), valamint az ariditási indexen (H) alapszik ahol $H = S/(LC)$ (S a átlagos évi sugárzási egyenleg; L a párolgási hő, C pedig a átlagos évi csapadékösszeg). Az 1901–1950 közötti 50 éves időszak éghajlati paramétereinek alapján Szeged éghajlata a meleg-száraz kategóriába sorolható a következő fent említett paraméterekkel: $tVS > 17,5$ °C és $H > 1,15$ (*Péczely, 1979*).

2.2. Levegőminőség

Egy részletesebb analízis a környezetminőséget és a környezeti tudatosságot alapul véve Szegedet a vizsgált 88 magyarországi város közül a 32. helyre rangsorolta. [Az 1. helyre rangsorolt város rendelkezett a legjobb környezeti feltételekkel (*Makra et al., 2002*)]. A magyarországi Regionális Immisszió Vizsgáló (RIV) állomásokon 2001-ben mért – a levegőminőségi küszöbértéket meghaladó – szennyezőanyag koncentrációk alapján Szeged levegőminősége egy háromkategóriás osztályozási rendszert (megfelelő, közepesen szennyezett, szennyezett) figyelembe véve a „szennyezett” kategóriába tartozott (*Mohl et al, 2002*). Szegeden a nitrogén-oxidok (NO_x), az ózon, valamint a 10 m-nél kisebb átmérőjű részecskék (PM₁₀) koncentrációi túllépek az EU levegőminőségi küszöbértékeit. [A PM₁₀ napi (24-órás) koncentrációja 11-19-szer magasabb, míg évi koncentrációja kétszer magasabb, mint a 2005. január 1.-től érvényes EU-küszöbérték!]

3. ADATBÁZIS

Az adatok a szegedi monitoring állomásról származnak, amely a belvárosban, a Kossuth Lajos sugárút és a Damjanich utca, sarkán található, kb. 10 m távolságra a Kossuth Lajos sugárúttól. A vizsgálat adatbázisát mind a légszennyező anyagokra, mind a meteorológiai paraméterekre az 1997–2001 közötti öt éves időszak nyári (június, július, augusztus), illetve téli hónapjaira (december, január, február) vonatkozó 30 percenkénti adatok alapján számított értékek képezik.

3.1. Légszennyező anyagok

A figyelembe vett 8 légszennyező paraméter a következő légszennyezők átlagos napi tömegkoncentrációi: CO (mg m⁻³); NO (g m⁻³), NO₂ (g m⁻³), SO₂ (g m⁻³), O₃ (g m⁻³) és PM₁₀ (g m⁻³), valamint az NO₂/NO napi arányai és az O₃ (g m⁻³) napi maximális tömegkoncentrációi.

3.2. Meteorológiai paraméterek

A tekintett 12 meteorológiai paraméter napi adatai a következők: középhőmérséklet (T_{mean}, °C), maximum hőmérséklet (T_{max}, °C), minimum hőmérséklet (T_{min}, °C), napi hőmérsékleti terjedelem (T = T_{max} – T_{min}, °C), szélesség (WS, m s⁻¹), relatív nedvesség (RH, %), globális sugárzás (I, MJ m⁻² nap⁻¹), telítettségi gőznyomás (E, hPa), gőznyomás (VP, hPa), potenciális párolgás (PE, mm), harmatpont hőmérséklet (Td, °C) és légnyomás (P, hPa).

A 00 UTC időpontjában mért tengerszinti légnyomási mezők az ECMWF Re-Analysis ERA 40 project-jéből származnak.

A vizsgált terület az Észak-atlanti – Európai térségben található a 30°N–70.5°N földrajzi szélességek és a 30°W–45°E hosszúságok tartományában. Az 1,5°x1,5° sűrűségű rácshálózatot választottuk, mely 28x51=1428 rácspontot tartalmaz a vizsgált térségben.

4. MÓDSZEREK

Az ilyen rácspontsűrűséggel rendelkezésre álló, clusterenként átlagolt 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 felszín a síkban egy X és Y irányban is egyenközűen beosztott téglalapra képeztünk le.

Ahhoz, hogy a kiindulási adatkészlet dimenzióját csökkentjük, s ily módon a vizsgált 12 változó közötti kapcsolatokat meg tudjuk magyarázni, a faktoranalízis többváltozós statisztikai módszerét alkalmaztuk. (Jolliffe, 1993; Sindosi et al., 2003). A faktorok kiválasztása a főkomponens analízis segítségével történt (a k-adik sajátérték a k-adik főkomponens varianciája). A dolgozatban a „varimax”, vagy másképp „ortogonális faktor rotáció”-t hajtottunk végre (Sindosi et al., 2003). A faktoranalízist a kiindulási változók 12 oszlopból (12 meteorológiai változó) és 450 sorból (450 nap, azaz öt év nyári, illetve téli napjai) álló adattáblázatára alkalmaztuk azon célból, hogy csökkentjük a 12 db – egymással kölcsönös kapcsolatban lévő – meteorológiai paraméter számát, s hogy feltárjuk a legfontosabb független meteorológiai faktorokat, melyek felelősek Szeged időjárásának alakításáért.

A kapott faktorérték idősorokra a clusteranalízist alkalmaztuk azon célból, hogy a hasonló időjárási feltételekkel rendelkező napok objektív csoportjait előállíthassuk. A módszer célja, hogy az objektumok homogenitása a legnagyobb legyen a clusteren belül, s egyúttal azok heterogenitása a legnagyobb legyen a clusterek között. A dolgozatban a hierarchikus eljárást, azon belül pedig az „average linkage” módszert használjuk, (Anderberg, 1973; Hair et al., 1998; Sindosi et al., 2003). Ezután a kapott clusterek mindegyikére (melyek valamelyikébe minden egyes nap beletartozik) kiszámítjuk a meteorológiai és a légszennyező paraméterek átlagértékeit. Ily módon megkapjuk az időjárási feltételek, valamint a légszennyező anyagok koncentrációi közötti összefüggéseket. Végül minden egyes időjárási típusra megszerkesztjük az Észak-atlanti – Európai térség fölött a 00 UTC időpontjában mért közepes tengerszinti lég-

nyomáseloszlás térképeit. E térképek elkészítésének a célja az, hogy összekapcsoljuk a légáramlási rendszereket, valamint a légszennyező anyagok feldúsulását/felhígulását Szeged térségében. Szinoptikus rendszerek itt említett, jól elkülöníthető csoportokba történő osztályozása lehetővé teszi számunkra, hogy leírjuk a Szeged térsége számára legfontosabb szinoptikus típusokat.

Amikor meghatározzuk a szinoptikus típusokat, csupán a meteorológiai paramétereket vesszük figyelembe, kizárva a légszennyezettségi adatokat. Következésképpen, az egyes szinoptikus típusokra kiszámított átlagos légszennyezettség koncentrációk további statisztikai értékelésére van szükség. Ezt a feladatot az egyoldali variancia-analízis segítségével hajtuk végre minden egyes légszennyező anyag esetében. A módszer segítségével a különböző szinoptikus típusok (cluster) légszennyező anyag koncentrációinak szignifikáns eltérései meghatározhatók. Végül a Tukey-féle differencia tesztet alkalmazzuk azon célból, hogy mennyiségileg összehasonlíthassuk minden egyes szinoptikus típus párhuzamait között az átlagos légszennyezettség koncentrációkat (páronkénti többszörös összehasonlítás) (McGregor and Bamzeli, 1995; Sindosi et al., 2003).

5. EREDMÉNYEK

5.1. Téli hónapok

A faktoranalízisnek a meteorológiai elemek idősorára való alkalmazása 4 faktort eredményezett, melyek a teljes variancia 86,51%-át megmagyarázzák.

1. *Faktor* a teljes variancia 50,86%-át megmagyarázza, s tartalmazza a három legfontosabb hőmérsékleti változót (középhőmérséklet, maximum- és minimum-hőmérséklet), továbbá három fontos légnyomásváltozót (telítettségi gőznyomás, gőznyomás és harmatpont-hőmérséklet). Látható, hogy a hőmérsékleti változók nincsenek közvetlen kapcsolatban a globális sugárzással, amely télen a 3. Faktortól függ. Ez arra vezethető vissza, hogy a téli léghőmérsékletet elsősorban szinoptikus skálájú légtömegek befolyásolják, a helyi eredetű besugárzásnak jóval kisebb a szerepe. E hőmérséklet- és légnyomásváltozók magas faktorsúlya szoros kapcsolatukat jelzi. Nevezetesen, a gőznyomás magas faktorsúlya azzal magyarázható, hogy a hőmérséklet emelkedésével növekszik a légkör vízgőzkapacitása. A harmatpont-hőmérséklet kapcsolatban van a fenti paraméterekkel, ugyanis a gőznyomás növekedése (csökkenése) a hőmérséklet növekedésére (csökkenésére) vezethető vissza.

2. *Faktor* (a teljes variancia 19,85%) csupán a relatív nedvességet tartalmazza (negatív előjellel) és a potenciális párolgást. Az ellentétes előjelű magas faktorsúlyok fordított összefüggést jeleznek e két változó között. Ugyanis a magas (alacsony) potenciális párolgás alacsony (magas) relatív nedvességhez kapcsolódik.

3. *Faktor* a teljes variancia 8,72%-át magyarázza, s a napi hőmérsékleti terjedelmet, valamint a globális sugárzást foglalja magába. A magas globális sugárzás értékek, melyek alacsony felhőborítottságot jeleznek, általában magas maximum-hőmérsékletet okoznak. Amikor az ezt követő éjszaka tartósan derült marad az ég, az éjszakai hőszűllamú kisugárzás a felszín nagyobb lehűléséhez, valamint alacsonyabb Tmin értékhez vezet; következésképpen a Trange általában nagyobb lesz ilyen időjárási feltételek fennállásakor. (Ez csak abban az esetben igaz, ha pl. hűvösebb légtömeg advekción nem lép föl.)

4. *Faktor* alig gyengébb, mint a 3 Faktor és a teljes variancia 7,08%-át magyarázza. Mindössze a légnyomást tartalmazza.

Ezt követően a clusteranalízist alkalmaztuk a négy faktorérték idősorra és ennek eredményeként a vizsgált napok 6 homogén csoportját különítettük el. Az egyik

cluster mindössze 4 napot tartalmazott (ezek a következők: 2001. január 5, 10, 18, 19; az összes vizsgált nap alig 0,89%-a). Ezek a napok egy anticiklonhoz kapcsolódó szélsőséges időjárási feltételeket mutattak, magas légszennyezőanyag koncentrációkkal. Emiatt ezt a cluster-t kihagytuk, s a továbbiakban a megmaradó öt jellegzetes cluster-t elemeztük, melyek az uralkodó időjárási típusokat tartalmazzák.

A vizsgált clusterekhez tartozó közepes tengerszinti légnomáseloszlás térképei, valamint az egyes clusterek (időjárási típusok) napjainak a száma az 1. ábrán látható.

Az öt időjárási típust légnomási rendszereikkel, s a hozzájuk tartozó légszennyezettség koncentrációkkal az alábbiakban mutatjuk be.

1. Cluster: Ezt nevezhetjük úgy is, mint „anticiklon a Kárpát-medence fölött”. Ezt a légnomási rendszert magas légnomás jellemzi Közép-Európa fölött. Ez az időjárási típus az összes vizsgált nap 12,5%-ra jellemző és a következő időjárási paramétereknek hozzá: magas globális sugárzás (középtértéke = 5,4 MJ m⁻²), a hőmérsékleti paraméterek (napi középhőmérséklet, maximum- és minimum-hőmérséklet) legalacsonyabb értékei, a légnedvesség paraméterek (gőznyomás, telítettség gőznyomás, potenciális párolgás és harmatpont hőmérséklet) legalacsonyabb értékei, továbbá igen alacsony szélsebesség (0,3 m s⁻¹). Ilyen időjárási feltételek esetén az elsődleges légszennyező anyagok (CO, NO₂, SO₂ és a PM₁₀, az NO kivételével) erősen feldúsulnak a belvárosban a csekély átszellőzés, valamint az éjszaka során kialakult hőmérsékleti inverziók következtében (Horváth et al., 2002). Ezen időjárási típus fennállásakor – a csekély borultsággal összhangban – a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációi (O₃ és O_{3max}) viszonylag magasak.

2. Cluster: Ennek a típusnak a neve: „anticiklon a mediterrán térség fölött”. Ez a cluster az összes napok 30%-át tartalmazza, egyúttal a leggyakoribb helyzet. Légnomási rendszere egy anticiklon peremhelyzetet jelez a Kárpát-medence fölött, gyenge szelekkel, illetve szélcsenddel. Ezen időjárási típusra felhős idő, valamint – az alacsonyabb éjszakai lehűlések miatt – magasabb hőmérsékletek a jellemzők. A hőmérsékleti paraméterek szignifikánsan magasabb értékeket mutatnak, mint az 1. Cluster esetében. Az ózonkoncentrációk alacsonyabbak a nagyobb borultság miatt. Az elsődleges légszennyezők alacsonyabb koncentrációi a nagyobb szélsőséggel magyarázhatók.

3. Cluster: Az Azori-szigetek felől magas nyomású nyelv húzódik Közép-Európa fölé. Ez a helyzet azonban csak februárban jellegzetes. Fennállásakor egy anticiklon elérheti Közép-, sőt Kelet-Európát is, csendes, napos időjárást okozva, magas hőmérsékletekkel és erős szelekkel. A CO, SO₂ és a PM₁₀ alacsony koncentrációi az 1. Clusterben tapasztalható értékekhez képest azzal magyarázhatók, hogy az öt cluster közül ebben a clusterben a legnagyobb az átlagos szélsebesség. Mivel az NO átlagos koncentrációja az 1. és a 3. Clusterben megegyezik, az ózon nagyobb földúsulása a 3. Clusterben az 1. Clusterbeli értékéhez képest a csekélyebb borultsággal magyarázható. (Ez azonban csak abban az esetben igaz, ha nincs advekció.)

4. Cluster: Anticiklon található Dél-Európa és Észak-Afrika fölött. Ez a cluster nem különbözik lényegesen a 3. Clustertől, amit a χ^2 -próba függetlenségvizsgálat eredménye is jelez. A Délnyugat-Európa

fölötti magas nyomású képződmény ebben a clusterben kiterjed a Mediterráneum keleti része fölé. A nagyon alacsony szélsőségek miatt az elsődleges légszennyező anyagok koncentrációi (az SO₂ kivételével) rendkívül magasak (CO = 0,93 mg m⁻³; NO = 44,0 µg m⁻³; NO₂ = 47,2 µg m⁻³; PM₁₀ = 61,4 µg m⁻³). Egyidejűleg a globális sugárzás is magas. Az ózon koncentrációja azonban mégsem magas. Ennek oka az NO legmagasabb koncentrációi, beleértve az NO₂/NO arány legalacsonyabb értékeit, melyek a következő lebomlási folyamat révén megakadályozzák az ózonképződést: NO + O₃ → NO₂ + O₂.

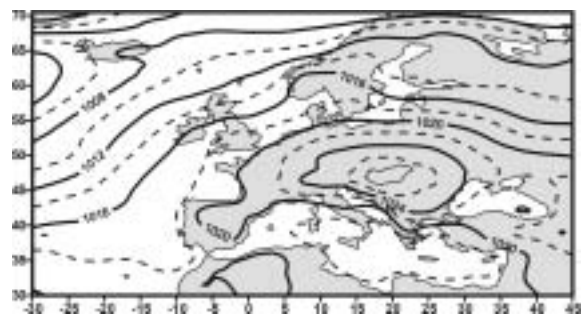
5. Cluster: Intenzív zonális áramlás figyelhető meg Európa fölött. Ez az időjárási típus az összes napok 20,1%-át teszi ki, s decemberben a leggyakoribb. Fennállásakor erős szelek tapasztalható Szegeden. Légnomási rendszere zonális áramlást jelez a Kárpát-medence fölött, mely az elsődleges légszennyezők viszonylag alacsony koncentrációit vonja maga után. Különösen igaz ez az SO₂-re és a PM₁₀-re, melyek ebben a típusban veszik föl a legalacsonyabb koncentrációikat. Másrészt a legnagyobb borultság (I = 2,7 MJ m⁻², csakúgy, mint a 2. Clusterben), közepes NO-koncentrációval az ózonparaméterek legalacsonyabb koncentrációit eredményezik (O₃ = 20,2 µg m⁻³; O_{3max} = 39,0 µg m⁻³).

Ahhoz, hogy meghatározhatjuk az egyes időjárási típusoknak a légszennyezettség koncentrációkra gyakorolt hatását, elvégeztük a légszennyező paraméterek varianciaanalízisét (ANOVA). Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza. Eszerint az NO₂/NO kivételével az összes légszennyező anyag átlagos koncentráció értékeiben szignifikáns különbség tapasztalható az egyes időjárási típusok között a 99%-os valószínűségi szinten. Mivel szignifikáns különbség mutatkozik az átlagos légszennyezettség koncentrációkban, ezért a Tukey-féle differencia tesztet alkalmaztuk azon célból, hogy megkapjuk az említett különbségek páronkénti többszörös becslését. A statisztikailag szignifikáns különbségeket az 2. táblázat tartalmazza külön-külön a 95%-os, illetve a 99%-os valószínűségi szintekre. Megállapíthatjuk, hogy a 3.-4. időjárási típusok között 5 légszennyező anyag, míg az 1.-2., 1.-5. és a 2.-3. időjárási típusok között 4 légszennyező anyag átlagos koncentrációi között mutatható ki szignifikáns különbség. A 3.-4. Cluster között tapasztalható a legnagyobb különbség, ugyanis e két cluster esetében mutatható ki a legtöbb légszennyező anyag koncentrációi között szignifikáns eltérés. Ez elsősorban azzal a ténnyel magyarázható, hogy e két típus között a legnagyobb a szélsőségek különbsége. Másrészt a 2. Cluster átmenetinek tekinthető, mivel ez mutatja a legkevesebb páronkénti szignifikáns eltérést a légszennyezettség koncentrációkban. Kivételt képez az NO₂, melynek átlagos koncentrációja a 2. Cluster 4 db páronkénti összevetését tekintve 3 esetben szignifikáns eltérést mutatott. A 2. és 5. Cluster között egyetlen légszennyező anyag koncentrációja sem mutatott szignifikáns eltérést.

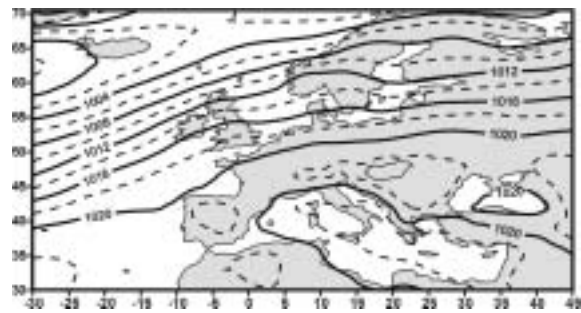
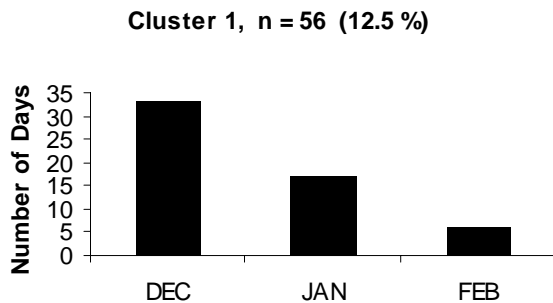
1. táblázat

	CO	NO	NO ₂	NO ₂ /NO	O ₃	O _{3max}	SO ₂	PM ₁₀
csoportok közötti átlagos négyzet	1516531,41	8183,16	2361,19	305,70	2057,77	6255,12	332,56	4971,82
csoportokon belüli átlagos négyzet	137957,12	585,10	257,83	212,15	186,97	464,40	65,23	534,98
F-arány	10,99	13,99	9,16	1,44	11,01	13,47	5,10	9,29
szignifikancia-szint, %	99	99	99	78	99	99	99	99

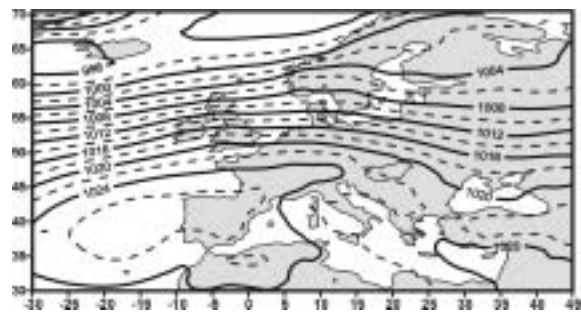
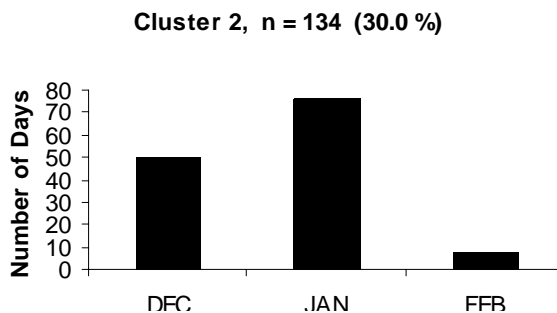
ANOVA-statisztikák a légszennyező koncentrációk időjárási típusok közötti összehasonlítására
(december, január és február)



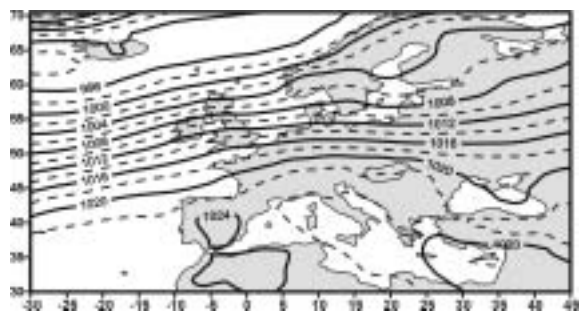
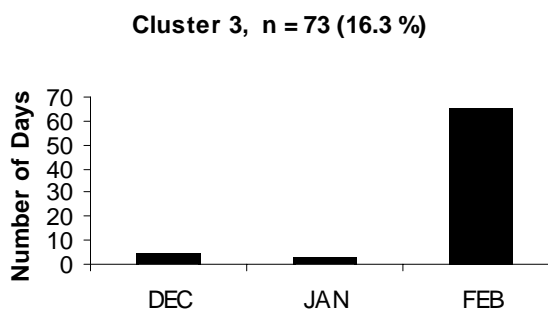
1. Cluster



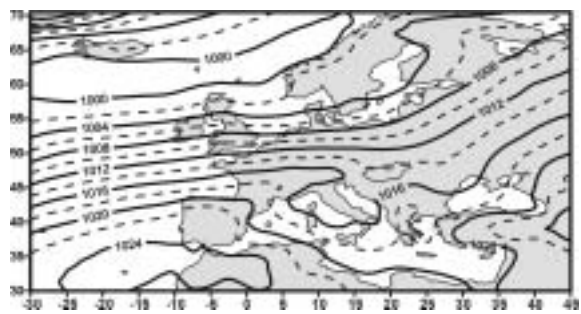
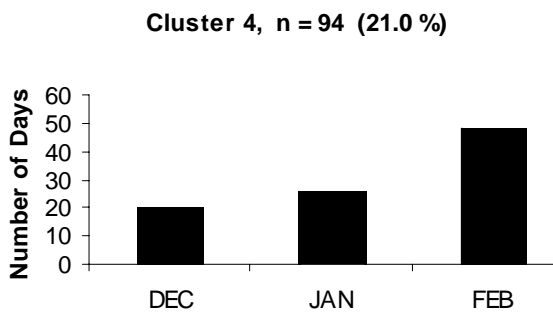
2. Cluster



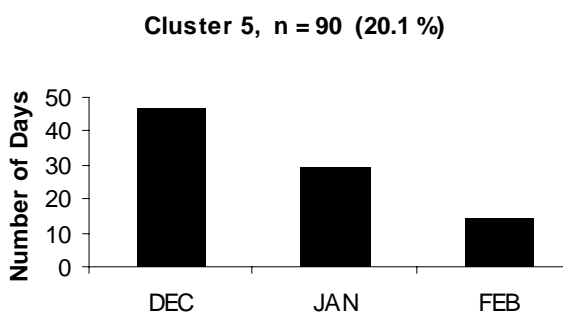
3. Cluster



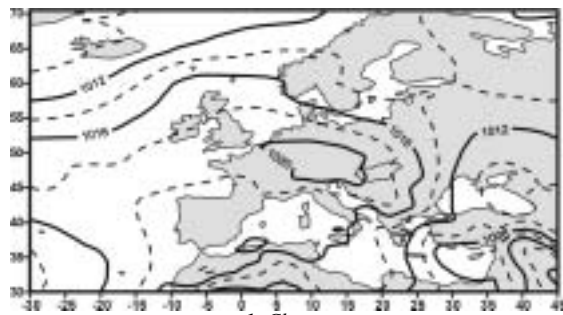
4. Cluster



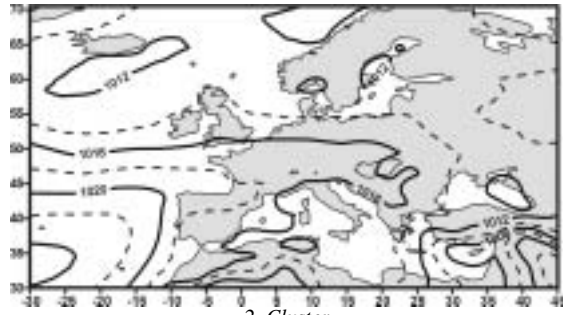
5. Cluster



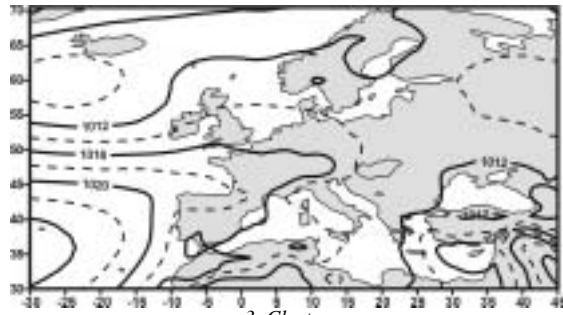
1. ábra Az egyes időjárási típusok (cluster) közepes tengerszinti légnyomási mezői, valamint a vizsgált napok számának havi változásai, Észak-atlanti – Európai térség, téli hónapok (december, január és február)



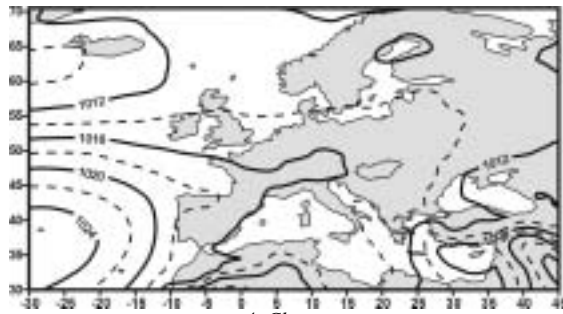
1. Cluster



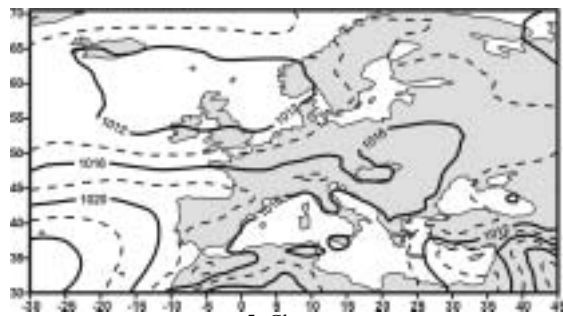
2. Cluster



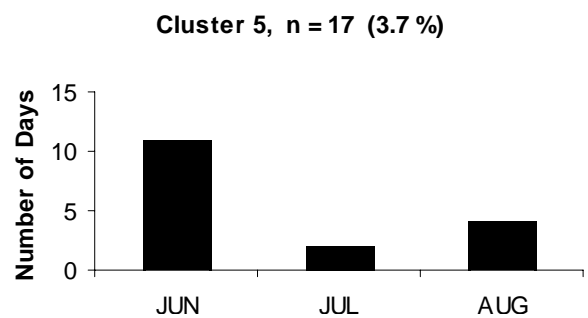
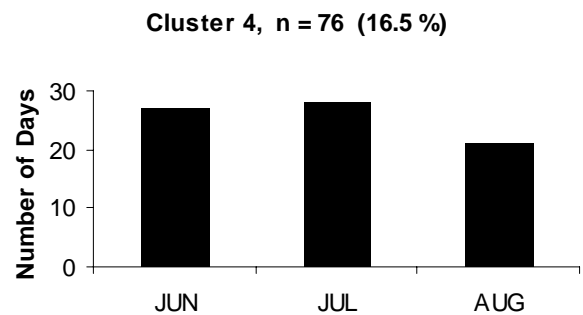
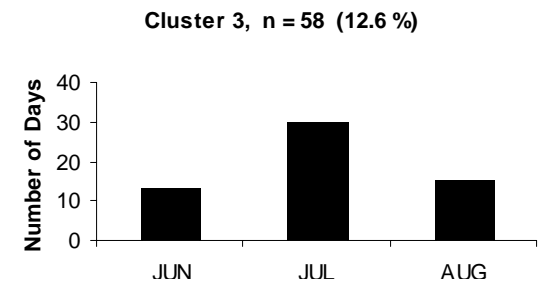
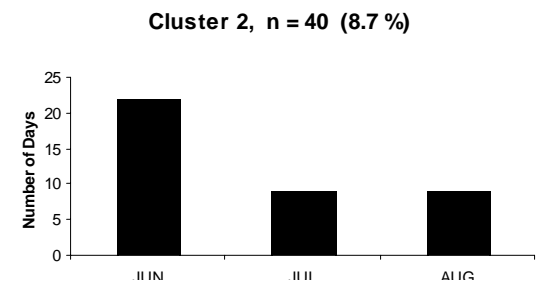
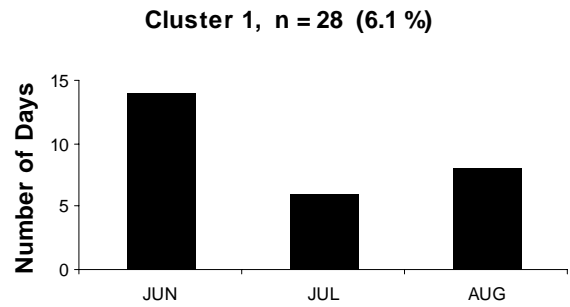
3. Cluster



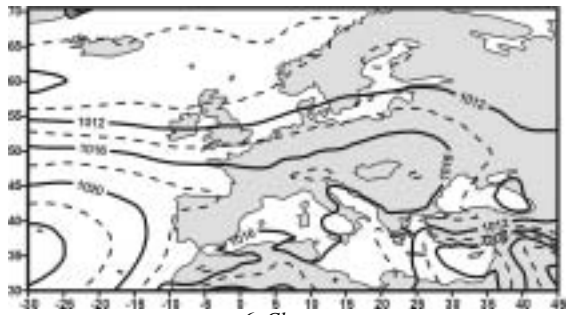
4. Cluster



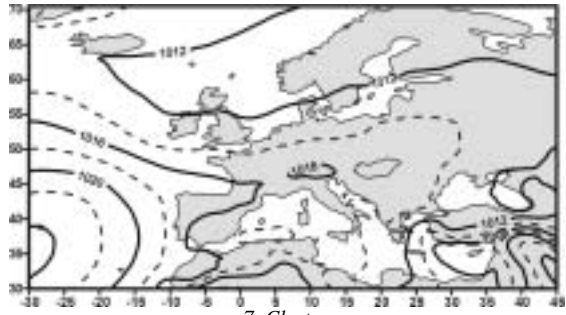
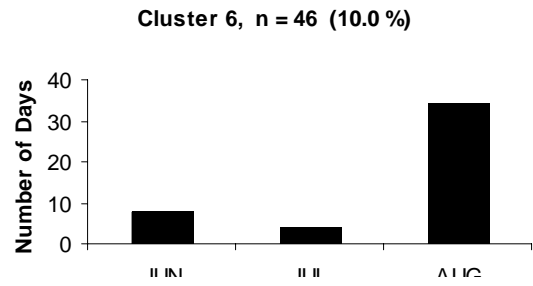
5. Cluster



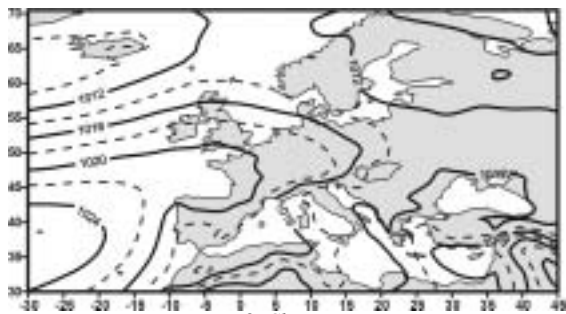
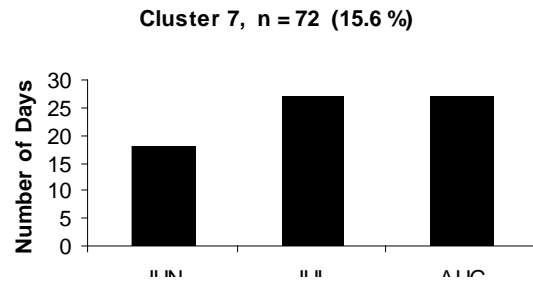
2. ábra Az egyes időjárási típusok (clusterek) közepes tengerszinti légnyomási mezői, valamint a vizsgált napok számának havi változásai, Észak-atlanti – Európai térség, nyári hónapok (június, július és augusztus)



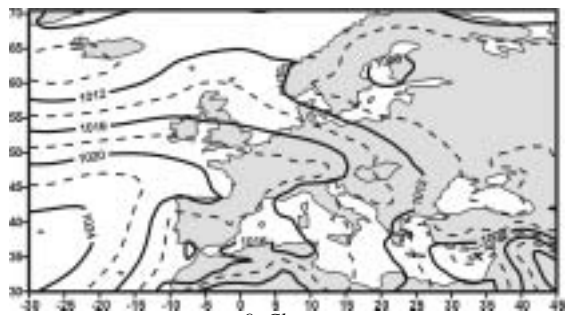
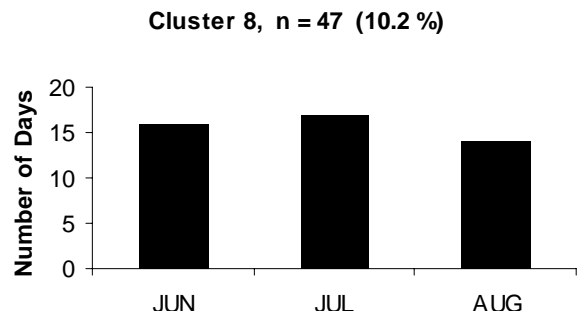
6. Cluster



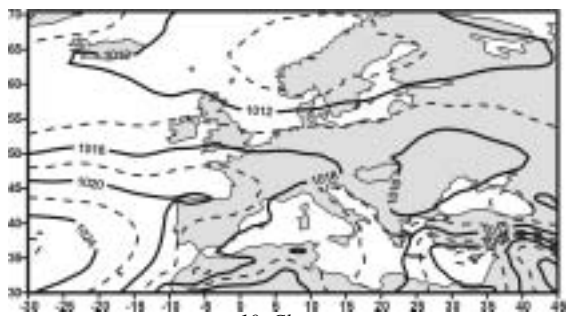
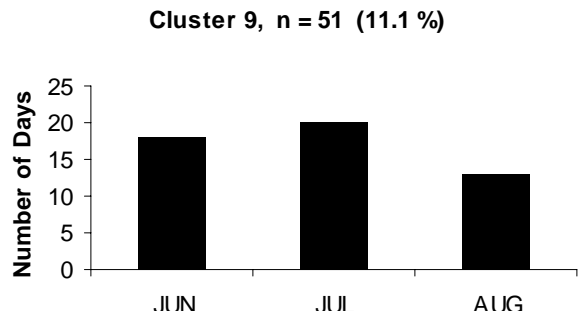
7. Cluster



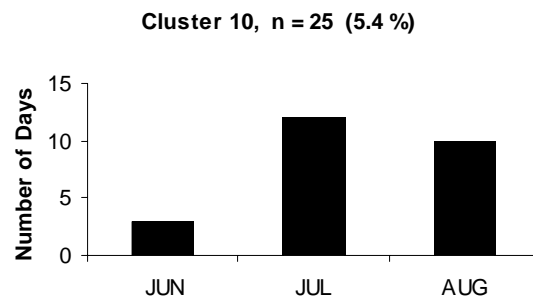
8. Cluster



9. Cluster



10. Cluster



2. ábra folytatása

2. táblázat

1				
2	NO ₂ O ₃ max SO ₂ PM ₁₀	2		
3	CO SO ₂ PM ₁₀	CO NO ₂ O ₃	3	
4	NO SO ₂	NO NO ₂ PM ₁₀	CO NO O ₃ max PM ₁₀	4
5	O ₃ max SO ₂ PM ₁₀		CO O ₃ max O ₃	NO NO ₂ PM ₁₀

Időjárási típus – légszennyezettség differencia mátrix (téli hónapok). Minden egyes mátrix cellában két időjárási típust hasonlítottunk össze.

A mátrix cellákban található légszennyező anyagok koncentrációi szignifikánsan eltérnek egymástól az adott két időjárási típus között a Tukey-féle differencia-tesztet alapján (normál karakter: az eltérés a 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns, bold karakter: az eltérés a 99%-os valószínűségi szinten szignifikáns).

5.2. Nyári hónapok

A meteorológiai paraméterek idősoraira alkalmazott faktoranalízis 4 fő faktort eredményezett, melyek a teljes variancia 84,36%-át magyarázzák.

1. Faktor, a teljes variancia 47,35%-ával ugyanazokat a paramétereket tartalmazza, mint a téli hónapokban. Ezek hőmérsékleti- (középhőmérséklet, maximum- és minimum-hőmérséklet) és légnedvesség változók (telítettségi gőznyomás, gőznyomás és harmatpont hőmérséklet). E változók faktorsúlyai mind pozitív előjelűek, csakúgy, mint télen. Ez arra utal, hogy a hőmérsékleti paraméterek magasabb (alacsonyabb) értékei a légnedvesség paraméterek magasabb (alacsonyabb) értékeivel járnak. Míg ez a faktor ugyanúgy értelmezhető, mint a téli hónapokban, a többi faktor más meteorológiai paraméterekre mutat nagy faktorsúlyt a téli hónapokéhoz képest.

2. Faktor (a teljes variancia 19,44%-a) a globális sugárzást és a potenciális párolgást tartalmazza pozitív előjellel, míg a relatív nedvességet negatív előjellel. A növekvő globális sugárzás maga után vonja a potenciális párolgás növekedését, s ezzel párhuzamosan a relatív nedvesség csökkenését.

3. Faktor (a teljes variancia 8,86%-a) csupán a légnyomást tartalmazza.

4. Faktor (a teljes variancia 8,22%-a) alig gyengébb a 3. faktornál és csak a szélsőséget tartalmazza.

A továbbiakban a clusteranalízist alkalmaztuk a négyfaktorú faktorérték idősorokra, melynek eredményeként a vizsgált napokra tíz clustert (időjárási típust) kaptunk. A kapott clusterek mindegyike az összes vizsgált nap legalább 3,7%-át tartalmazza. A nyári évszakot sokkal több (10) időjárási típus jellemzi, mint a téli hónapokat (5). Az egész nyár folyamán mindössze két fő légnyomási rendszer alakítja a Kárpát-medence időjárását: az izlandi alacsony nyomású hatásközpont Északnyugat-Európa felől, valamint az Azori-szigetek fölötti magas nyomású rendszer. Következésképpen, e két fő légnyomási rendszer közötti eltérés mind az egyes paraméterek középértékeiben, mind a térségi légnyomáseloszlásban meglehetősen csekély.

Az egyes légnyomási rendszereket, s a hozzájuk tartozó légszennyezettség koncentrációkat a következőkben elemezzük (2. ábra).

1. Cluster: Az összes vizsgált nap 6,1%-át tartalmazza. Egy Nyugat-Európa felől Skandináviát kivéve Európa belseje fölé kiterjedő magas nyomású rendszer jellemzi, mely magába foglalja a Kárpát-medencét is. Együttal Délnyugat-Ázsia felől DK-Európa fölé egy fejlett termikus alacsony légnyomású rendszer húzódik. Ebben az időjárási helyzetben a léghőmérséklet az összes clustert tekintve a legalacsonyabb. Ez azzal magyarázható, hogy ebbe a clusterbe többségében júniusi napok tartoznak. Következésképpen, az elsődleges (CO, NO, NO₂, NO₂/NO és PM₁₀, kivéve az SO₂-t), valamint a másodlagos (O₃ és O₃max) légszennyező anyagoknak ebben a clusterben a legalacsonyabbak a koncentrációi.

2. Cluster: Ez a kora nyári időjárási helyzet (az összes vizsgált nap 8,7%-ával) kevésbé jellegzetes, mivel az 1. Clusterben említett magas és alacsony nyomású rendszerek meggyengültek. Ebben a clusterben a legalacsonyabb. A légszennyező anyagok koncentrációja az SO₂ kivételével megnövekszik, míg az NO-koncentrációk a legmagasabb értékeiket veszik föl.

3. Cluster: Tipikus nyári helyzet az összes vizsgált nap 12,6%-ával. A meteorológiai elemek értékei egy tipikus nyári napot jeleznek. E típus fennállásakor a 2. Clusterrel összevetve az azori anticiklon kisé visszahúzóódik Nyugat-Európa felé, míg a Délnyugat-Ázsia fölötti termikus alacsony nyomású rendszer Délkelet-Európa fölött megerősödik. E típus esetében a CO-koncentrációk megnövekednek, míg az SO₂ koncentrációja csökken.

4. Cluster: Ez a leggyakoribb típus az összes vizsgált nap 16,5%-ával, s mindegyik nyári hónapban jellegzetes. Légnyomási rendszere nagyon hasonlít a 3. Clusteréra. Az egyetlen lényeges különbség az, hogy a 3. Clusterben Észak-Európa fölött megfigyelt kiterjedt alacsony nyomású rendszer itt hiányzik. A CO-koncentrációk csökkennek, továbbá a borultság jelentős csökkenése az O₃-koncentráció csekély emelkedését vonja maga után. (Az NO-koncentrációk gyakorlatilag nem változnak a 3. Clusterben mért értékeikhez képest.) Az a tény, hogy a borultság számottevő csökkenésével csupán alig növekszik az O₃-koncentráció, a transzport folyamatok változásával magyarázható. Nevezetesen, a felhőzet csökkenését a cirkuláció megváltozása okozhatja, amely kevesebb ózont szállít Szeged fölé, mint korábban. Másrészt az alacsonyabb ózonkoncentrációt csupán részben kompenzálják a megnövekedett globális sugárzás által felgyorsított fotokémiai folyamatok. A hosszútávú transzport is meghatározhatja a helyi ózonkoncentrációt, s ily módon a helyi sugárzási viszonyoktól függő helyi ózonképződés mértéke kicsi.

5. Cluster: Tipikus kora nyári helyzet, melyhez a legkevesebb nap tartozik – az összes vizsgált nap mindössze 3,7%-a. Az azori anticiklon erősen fejlett, Európa belseje fölé terjeszkedik, de elkerüli a Kárpát-medencét. Ezzel egyidejűleg az Észak-atlanti térség fölött elmélyül egy alacsony nyomású képződmény. Magas napi hőmérsékleti terjedelem, továbbá borús időjárás és mérsékelt szelek jellemzik. A 4. Clusterrel összevetve nincs lényeges különbség a légszennyező anyagok koncentrációiban.

6. Cluster: Tipikus késő nyári helyzet (az összes vizsgált nap 10,0%-ával). Az azori magas nyomású rendszer mélyen benyúlik Kelet-Európa fölé, s ez esetben már a Kárpát-medencét is magába foglalja. Észak-Európa fölött nincsenek időjárási frontok. Igen magas a globális sugárzás, mely maga után vonja a hőmérsékleti paraméterek magas értékeit is. Ugyanakkor a szélsőségek alacsony. Következésképpen, az elsődleges légszennyező anyagok erősen földúsulnak. Jóllehet mind a globális sugárzás, mind az NO-koncentráció (melyek ellenkező hatást fejtenek ki az O₃ és O₃max koncentrációira) magasabb értékeket vesznek föl, mint az 5. Clusterben, a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációinak csekély növekedése a globális sugárzás erősebb súlyát jelzi.

7. Cluster: Ez a második leggyakoribb típus, az összes vizsgált nap 15,6%-ával. Az azori magas nyomású rendszer erőteljesen visszahúzóódik, egészen a kontinens nyugati pereméig, s ezzel egyidejűleg egy alacsony nyomású rendszer mélyül el Észak-Európa fölött. Ez a típus a 6. Clusterhez képest egy jellegzetesebb légnyomási rendszert jelez.

3. táblázat

	CO	NO	NO ₂	NO ₂ /NO	O ₃	O _{3max}	SO ₂	PM ₁₀
csoportok közötti átlagos négyzet	332509,51	174,27	1178,53	1873,59	1465,91	4555,88	26,59	2732,5
csoportokon belüli átlagos négyzet	21776,86	37,17	125,86	942,20	253,81	694,29	11,63	134,77
F-arány	15,27	4,69	9,36	1,99	5,78	6,56	2,28	20,28
szignifikancia-szint, %	99	99	99	96	99	99	98	99

ANOVA-statisztikák a légszennyező koncentrációk időjárási típusok közötti összehasonlítására (június, július és augusztus)

Ugyanakkor gyakorlatilag sem az időjárási elemek, sem a légszennyezős koncentrációk nem változnak az előző clusterhez képest.

8. Cluster: E típus gyakorisága minden egyes nyári hónapban megegyezik, s az összes vizsgált nap 10,2%-át tartalmazza. Az azori magas nyomású centrum kiterjed Közép-Európa fölé, míg az észak-európai alacsony nyomású rendszer két részre bomlik: az izlandi és a balti depresszióra. A Kárpát-medence a balti és a délkelet-európai depresszió közelében található. Emiatt megnövekszik a borultság, ami a hőmérsékleti paraméterek csökkenésével jár, a szélsőesség pedig ebben a clusterben éri el a maximumát. Emiatt olyan alacsonyak mind az elsődleges, mind a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációi.

9. Cluster: Ez a típus az összes vizsgált nap 11,1%-át tartalmazza. Az azori magas nyomású centrum pozíciója nem változik, ugyanakkor Észak- és Kelet-Európa egy rendkívül kiterjedt és egységes alacsony nyomású rendszer hatása alatt áll. A Kárpát-medence a magas nyomású centrum peremén fekszik. Mivel az időjárási helyzet a 8. és a 9. Clusterekben rendkívül hasonló, ebből adódóan a meteorológiai paramétereik csekély eltéréseket mutatnak. Következésképpen, nincs szignifikáns eltérés a két típus légszennyező anyag koncentrációiban.

10. Cluster: Jellegzetes késő nyári időjárási típus, az összes vizsgált nap 5,4%-ával. Ebben a clusterben az azori magas nyomású centrum meggyengül. Másrészt a 9. Clusterben az Észak- és Kelet-Európa jellemző rendkívül kiterjedt és egységes alacsony nyomású képződmény itt eltűnik, s a helyén Ukrajna és Románia fölött egy magas nyomású rendszer képződik. Ugyanakkor Észak-Európa fölött egy nagy kiterjedésű alacsony nyomású képződmény fejlődik ki. A Kárpát-medence a két magas nyomású centrum között helyezkedik el, zavartalan besugárzást biztosítva, igen magas hőmérsékletekkel, s mérsékelt szelekkel. Ebben az időjárási típusban a legnagyobb mind az elsődleges (a kén-dioxid kivételével), mind a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációja.

A téli hónapokhoz hasonlóan a szennyezőanyag koncentrációk egyes időjárási típusok közötti eltéréseinek szignifikancia vizsgálatát varianciaanalízis (ANOVA) segítségével hajtottuk végre. Az eredményeket a 3. táblázat tartalmazza. A CO, NO, NO₂, O₃, O_{3max} és PM₁₀ átlagos koncentrációi szignifikáns – időjárási típusok közötti – eltéréseket mutatnak a 99%-os valószínűségi szinten, míg az SO₂ koncentrációi a 98%-os szinten, az NO₂/NO koncentráció arány pedig a 96%-os szinten. A páronkénti összehasonlításokat elvégezve (Tukey-féle differencia tesztek), a kapott statisztikailag szignifikáns eltéréseket a 4. táblázat tartalmazza a 95%-os, illetve a 99%-os valószínűségi szinten, külön-külön. Nincs két olyan időjárási típus, amelyekre mind a 8 figyelembe vett légszennyező anyag átlagos koncentrációi szignifikáns eltérést mutatnak. Az időjárási típusok közötti legnagyobb eltérés öt légszennyező anyag átlagos koncentrációiban (az 1.-10., 6.-8., 8.-10. és 9.-10. típusok között), illetve négy légszennyező anyag átlagos koncentrációiban (az 1.-6., 1.-10., 2.-10., 3.-6., 3.-10., 4.-6., 4.-

10., 6.-8., 6.-9., 8.-10. és 9.-10. típusok között) tapasztalható. Összességében a 6. és a 10. időjárási típus különbözik leginkább a többitől, hiszen a páronkénti többszörös összehasonlítások az ő esetükben mutattak ki a legtöbb légszennyező anyag átlagos koncentrációi között szignifikáns eltéréseket. Ennek az lehet az oka, hogy a két típus szélsőessége jelentős mértékben különbözik. Ugyanakkor az 5. típus átmeneti clusternek tekinthető, mivel az átlagos légszennyezős koncentrációkban ez mutatja a legkevesebb szignifikáns páronkénti eltérést.

6. ELEMZÉS

Azon célból, hogy megbecsüljük a különböző időjárási típusoknak a szegedi légszennyezős koncentrációkra gyakorolt hatását, objektív többváltozós statisztikai módszereket alkalmaztunk meteorológiai és légszennyezős adatokra. Miután objektív tengersizti légnyomású rendszereket definiáltunk az Észak-atlanti – Európai térségre, meghatároztuk a Kárpát-medence fölött uralkodó időjárási típusokat.

Bár az eljárást alkalmazták már a szakirodalomban (*Sindosi et al., 2003*); mégis ez egy új megközelítésnek számít a vizsgált térség időjárási típusainak osztályozására. Ugyanis Magyarország területére mindeztáig csupán az Észak-atlanti térség napi tengersizti légnyomású mezőinek Péczely által elkészített szubjektív osztályozási rendszere ismeretes (*Péczely, 1957; 1983*). Péczely osztályozási rendszere – csakúgy, mint az objektív kategorizálásé – a 00 UTC időpontjában mért tengersizti légnyomású mezőkön alapszik. Péczely 13 makroszinoptikus időjárási típust határozott meg a Kárpát-medence területére. Ami a téli hónapokat illeti, a Péczely makrotípusok 4 csoportja különíthető el a Kárpát-medencében: (1) déli áramlással kapcsolatos helyzetek, (2) délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon, (3) anticiklon Magyarországtól északra és (4) anticiklon a Kárpát-medence fölött. Ezek az időjárási típusok az összes vizsgált nap több mint 70%-át teszik ki a téli hónapokban. Ugyanakkor a jelen dolgozatban kimutatott öt objektív típust alapvetően zonális áramlások jellemzik (az összes vizsgált nap 87,5%-a). E típusok részletesebben a következők: anticiklon Magyarországtól délre (2. és 4. Cluster), délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon (3. Cluster), egy zonális ciklonális típus

1	CO																		
2	NO ₂	PM ₁₀																	
3	CO		2																
4	CO	PM ₁₀		3															
5	CO	PM ₁₀			4														
6	CO	O _{3max}				5													
7	NO ₂	PM ₁₀		NO ₂	SO ₂	NO ₂	O _{3max}												
8	CO							6											
9	PM ₁₀	PM ₁₀		PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀												
10	CO	NO	NO ₂	CO	NO ₂	NO ₂	NO ₂												
11	CO	NO	NO ₂	CO	CO	CO	PM ₁₀												
12	CO	NO	NO ₂	CO	CO	CO	NO _{2vsN} O												
13	CO	NO	NO ₂	CO	CO	CO	PM ₁₀												
14	CO	O _{3max}	O _{3max}	O _{3max}	O _{3max}	O _{3max}	O _{3max}												
15	NO ₂	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃

Időjárási típus – légszennyezettség differencia mátrix (nyári hónapok). További magyarázat a 2. táblázat

(5. Cluster). E típusokat kiegészíti egy anticiklon centrum típus, azaz anticiklon a Kárpát-medence fölött (1. Cluster) (az összes vizsgált nap 12,5%-a). Ami a nyári hónapokat illeti, négy Péczy-típus a legjellegzetesebb: (1) Magyarország egy kelet-európai ciklon hátoldali áramrendszerében található, (2) délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon, (3) anticiklon Magyarországtól északra és (4) anticiklon a Kárpát-medence fölött. Ezek az időjárási típusok az összes vizsgált nap több mint 60%-át teszik ki. Ugyanakkor a 10 objektív clustert alapvetően a következő csoportok határozzák meg: délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon (2., 3., 4., 5., 8., 9. Cluster), anticiklon a Kárpát-medence fölött (1. és 6. Cluster), valamint anticiklon Magyarországtól keletre (10. Cluster). Az anticiklon centrum helyzet, valamint az anticiklon peremhelyzetek nyári túlsúlya nyilvánvaló mind a Péczy-típusoknál, mind az objektív clusterek esetében.

A téli és a nyári hónapokra definiált időjárási típusokat kapcsolatba hoztuk a légszennyezőanyag koncentrációkkal. Megállapítottuk, hogy a légszennyezettség koncentrációk különböző – a térségre jellemző – légnyomási rendszerekhez köthetők. Következésképpen, az időjárás-előrejelzés ismeretében a várható légszennyező koncentrációk előre megbecsülhetők. Ez az infor-

máció hozzájárul a súlyos légszennyezettségi epizódok megelőzéséhez. Ugyanakkor hangsúlyoznunk kell, hogy a légcirkuláció nem az egyetlen tényező a légszennyezettség ellenőrzésében. A feltárt légnyomási rendszerek csupán befolyásolhatják a légszennyező anyagok koncentrációit, melyek túlnyomó többségükben antropogén eredetűek. Emiatt a légszennyezettség koncentrációk precíz előrejelzéséhez a jó időjárás-előrejelzés mellett szükség van az emberek szokásainak ismeretére is. Pl. a csúcsgforgalmi napok, a szabadságolások napjainak, vagy az ünnepnapok ismerete is kívánatos bizonyos kibocsátási korlátozások előírásakor. Végül egy másik tényező – mely szintén nem elhanyagolható – az időjárás perzisztenciája (fennmaradása). Továbbá figyelemmel kell lennünk arra, hogy olyan légnyomási rendszerek fennállása, mely tartósan kedvez a légszennyezők feldúsulásának, még rosszabb levegőminőségi feltételeket eredményezhet.

7. ÖSSZEZÉS

A dolgozat a légszennyező anyagok szegedi koncentrációit elemzi, jellegzetes tengersizintű légnyomási rendszerek fennállásakor. E légnyomási rendszerek által meghatározott jellegzetes időjárási típusokat definiáltunk mind a téli, mind a nyári hónapokra, amelyek

jelentős szerepet játszanak a szennyezőanyagoknak Szeged belvárosában történő feldúsulásában. A téli hónapokra kapott eredmények azt mutatják, hogy az elsődleges légszennyező anyagok nagyobb koncentrációban fordulnak elő, amikor mind a felhőzet, mind a szélesség csekély (1. és 4. típusok; 1. ábra). Ez az eset fordul elő, amikor egy anticiklon található a Kárpát-medence fölött (1. Cluster), továbbá amikor a Magyarországtól délre eső térség egy anticiklon hatása alatt áll, mely befolyásolja hazánk időjárását (4. Cluster). Az elsődleges légszennyezők koncentrációi akkor alacsonyak, amikor Magyarország fölött zonális áramlások uralkodnak (a szélesség ekkor a legnagyobb) (3. Cluster, átmeneti típus és 5. Cluster). A nyári hónapok légnyomási rendszere nehezebben kategorizálható, mivel ekkor a légnyomási mezők változékonysága és a gradiensek kisebbek, mint télen. Ez elsősorban az anticiklon-centrum helyzet, valamint az anticiklon peremhelyzetek túlsúlyának tulajdonítható. Az alacsony felhőzet és a rendkívül, alacsony NO-koncentrációk hatására ekkor a másodlagos légszennyezők meglehetősen fődúsulnak. Megjegyzendő, hogy nyáron az O₃-koncentrációk a télen mért értékek dupláját mutatják.

Az időjárási típusok előrejelzése lehetőséget teremt ahhoz, hogy megelőzzük a szélsőséges légszennyező koncentrációk kialakulását.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak az OMSZ Módszertani és Elemző Osztályának a vizsgált időszakra vonatkozó tengersizinti légnyomási adatok átadásáért, Haszpra Lászlónak és Horváth Lászlónak a troposzférikus ózonlebonthatással kapcsolatos értékes tanácsaiért, valamint Deák József Áronnak értékes növényökológiai tanácsaiért.

HIVATKOZÁSOK

- Ambrózy, P., Bartholy, J., Gulyás, O., 1984: A system of seasonal macrocirculation pattern for the Atlantic-European region. *Időjárás*, 88, 121-133.
- Anderberg, M.R., 1973: *Cluster Analysis for Applications*. New York: Academic Press, 353 pp.
- Bartholy, J., 1989: Determination of seasonal macrosynoptic types using cluster analysis and rotated EOF analysis. *Acta Climatologica*, Tom. 21-23, Fasc. 1-4, 23-33.
- Golder, D., 1972: Relations among stability parameters in the surface layer. *Boundary Layer Meteorology*, 3, 47-58.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 1998: *Multivariate data analysis*. New Jersey: Prentice Hall (5th ed), 730 pp.
- 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, Virginia, USA, 20-24 May 2002. *Proceedings J4.3*, J58-J59.
- Jolliffe, I.T., 1993: *Principal component analysis: A beginner's guide – II. Pitfalls, myths and extensions*. *Weather*, 48, 246-253.
- Kambezidis, H.D., Tulleken, R., Amanatidis, G.T., Paliatatos, A.G., Asimakopoulou, D.N., 1995: *Environmetrics*, 6, 349-361.

- Kambezidis, H.D., Weidauer, D., Melas, D., Ulbricht, M., 1998: *Atmospheric Environment*, 32, 2173-2182.
- Kassomenos, P., Flocas, H.A., Skouloudis, A.N., Lykoudis, S., Asimakopoulou, V., Petrakis, M. 1998: Relationship of air quality indicators and synoptic scale circulation ant 850 hPa over Athens during 1983-1995. *Environmental Technology*, 19, 13-24.
- Károssy, Cs. (1987). A Péczy-féle makroszinoptikus típusok katalógusa (1983-1987). *Légekör*, 32/3, 28-30.
- Károssy, Cs., 2004: A Péczy-féle makroszinoptikus típusok, 1988-2003. *Kézirat*
- Köppen, W., 1931: *Grundriss Der Klimakunde*. Walter De Gruyter & Co., Berlin
- Makra, L., Horváth, Sz., Sümegey, Z., 2002: An objective analysis and ranking of cities on environmental and social factors. *IGU 2002. Geographical Renaissance at the Dawn of the Millennium*. Durban, South-Africa, 2002. In: *Climates in Transition* (Nkemdirim, L.C. ed.), Minuteman Press, 161-172.
- Makra, L., Mika, J., Bartzokas, A., Bécsi, R., Borsos, E., Sümegey, Z., 2006: An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary with special interest to air pollution levels. *Meteorology and Atmospheric Physics* (in press)
- 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.
- Mohl, M., Gaskó, B., Horváth, Sz., Makra, L., Szabó, F., 2002: Szeged 2. Környezetvédelmi Programja, 2003-2007. *Kézirat*, (Polgármesteri Hivatal, H-6720 Szeged, Széchenyi tér 10.)
- Pasquill, F., 1962: *Atmospheric diffusion*. Van Nostrand, 209 pp, London
- Péczy, G., 1957: *Grosswetterlagen in Ungarn*. Kleinere Veröffentlichungen der Zentralanstalt für Meteorologie Budapest 30, 86 pp, Budapest
- Péczy, G., 1959: Budapest klégszennyezettsége különböző időjárási helyzetekben. *Időjárás*, 63, 19-27.
- Péczy, G., 1979: *Éghajlat*. Tankönyvkiadó, 336 pp, Budapest
- Péczy, G., 1983: Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa. (1881-1983). *Országos Meteorológiai Szolgálat*, 53, 116 pp, Budapest
- 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.
- Trewartha, G.T., 1943: *An Introduction to Weather and Climate*. McGraw-Hill, New York
- Turner, D.B., 1964: A Diffusion Model for an Urban Area. *Journal of Applied Meteorology*, 3, 83-91.

**Makra László, Bécsi Rita, Sümegey Zoltán,
SZTE Égh. és Tájf. Tsz.
Mika János OMSZ,
Motika Gábor ATVKTVE,
Szentpéteri Mária SZTE Tanítóképző Int.**

Helyreigazítás

A *Légekör* 2005. 3. és 4. számában megjelent „Hawaii – a mosoly országa” című cikk szerzői helyesen: Makra László, Szentpéteri Mária, Gál András, Vitányi Béla. (A szerk.)