

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
METEOROLÓGIAI TANSZÉK

**JELENTŐS CSAPADÉKHULLÁSSAL JÁRÓ
FÖLDKÖZI-TENGERI CIKLONOK KLIMATOLÓGIÁJA
BLOKKOLÓ ANTICIKLONOK
GYAKORISÁGÁNAK FÜGGVÉNYÉBEN**

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

Tóth Tamás

V. éves meteorológus

Témavezető:

Dr. Gyuró György meteorológus
Országos Meteorológiai Szolgálat

TARTALOM

1. Bevezetés	3
2. A földközi-tengeri ciklonok szerepe a Kárpát-medence időjárásában	5
2. 1. Az alpi ciklogenezis folyamata, sajátosságai	7
3. A blokkoló anticiklonok szerepe a mérsékelt szélességek cirkulációjában	14
3. 1. A blocking típusok kialakulása és a nagy csapadék bekövetkezésének feltételei szinoptikus szemmel	23
4. Az adatbázis	30
5. A 10 mm-t meghaladó csapadékmennyiség klimatológiája Magyarországon	32
6. A jelentős csapadékmennyiség előfordulásának lehetséges általános cirkulációs okai	35
7. Esettanulmány	42
8. Összefoglaló	50
9. Hivatkozások	52
Köszönetnyilvánítás	57

1. BEVEZETÉS

A Duna és a Tisza vízgyűjtőit érintő, jelentős mennyiségű csapadékhullással járó időjárási helyzetek kutatása hosszú múltra tekint vissza hazánkban. A meteorológiai feltételek vizsgálatának a Tisza esetében különös fontosságot ad az a tény, hogy az árhullámok sok esetben hirtelen alakulnak ki, így a felkészülésre és a védekezés közvetlen előkészítésére sokszor csak 1-2 napos időelőny adódik. Természetesen olyan eset is előfordulhat (elsősorban a kisebb folyók, patakok vízgyűjtőin), amikor gyakorlatilag nincs is időelőny a nagy csapadék kialakulása és a levonuló ún. torrens áradás között. Az ilyen jellegű árvizek kiváltói rendszerint mezometeorológiai jelenségek, elsősorban a hosszú ideig fennmaradó, orográfiai akadályok miatt blokkolt zivatarok.

Az első meteorológiai tanulmányok főként a nyári zivatarokat érintették (pl. Héjas, 1898; Bodolai, 1954). Később az érdeklődés az időjárási frontokhoz kapcsolódó csapadék-tevékenység felé fordult (pl. Bodolai és Bodolainé Jakus, 1964). A kutatások összegzéseként sikerült modellezni azt a feltétel-rendszert, amely mellett jelentős árhullámok alakulhatnak ki a Kárpát-medence nagy folyóin (Bodolainé Jakus, 1983; Bodolainé Jakus et al., 1984; Tünczer és Saikó, 1985). (A szakterület fejlődésének részletes áttekintését Bodolainé Jakus [1996] adja meg.)

Napjainkban a numerikus időjárás-előrejelző modellek új alapokra helyezték a mennyiségi csapadékelőrejelzés kérdését. A jelenleg használt módszertan részletes bemutatását találjuk Homokiné Ujváry és Hirsch (2002) munkájában. Az eddigi tapasztalatok viszont azt mutatják, hogy a numerikus modellek egyelőre nem tekinthetők univerzálisan bevethető fegyvernek a napi prognózis megfogalmazásakor (ld. pl. Gyuró, 2001).

Javításra két módon van lehetőség: a nagy mennyiségű csapadékot adó légköri mozgásrendszerek mezoskálájú, azaz a 10-100 kilométeres nagyságrendi tartományba eső szerkezetének vizsgálata, ill. azoknak az időjárási helyzeteknek a megadása a szinoptikus

tartományban, azaz a több ezer kilométeres horizontális kiterjedésű időjárási rendszerek között, amelyek alkalmával a jelentős mennyiségű csapadékképződés megtörténik.

Az első, azaz a mezoskálájú kutatásokkal kapcsolatos eredményeknek nagyon jó összefoglalóját adja Bodolainé Jakus és Tünczer (2003) tanulmánykötete.

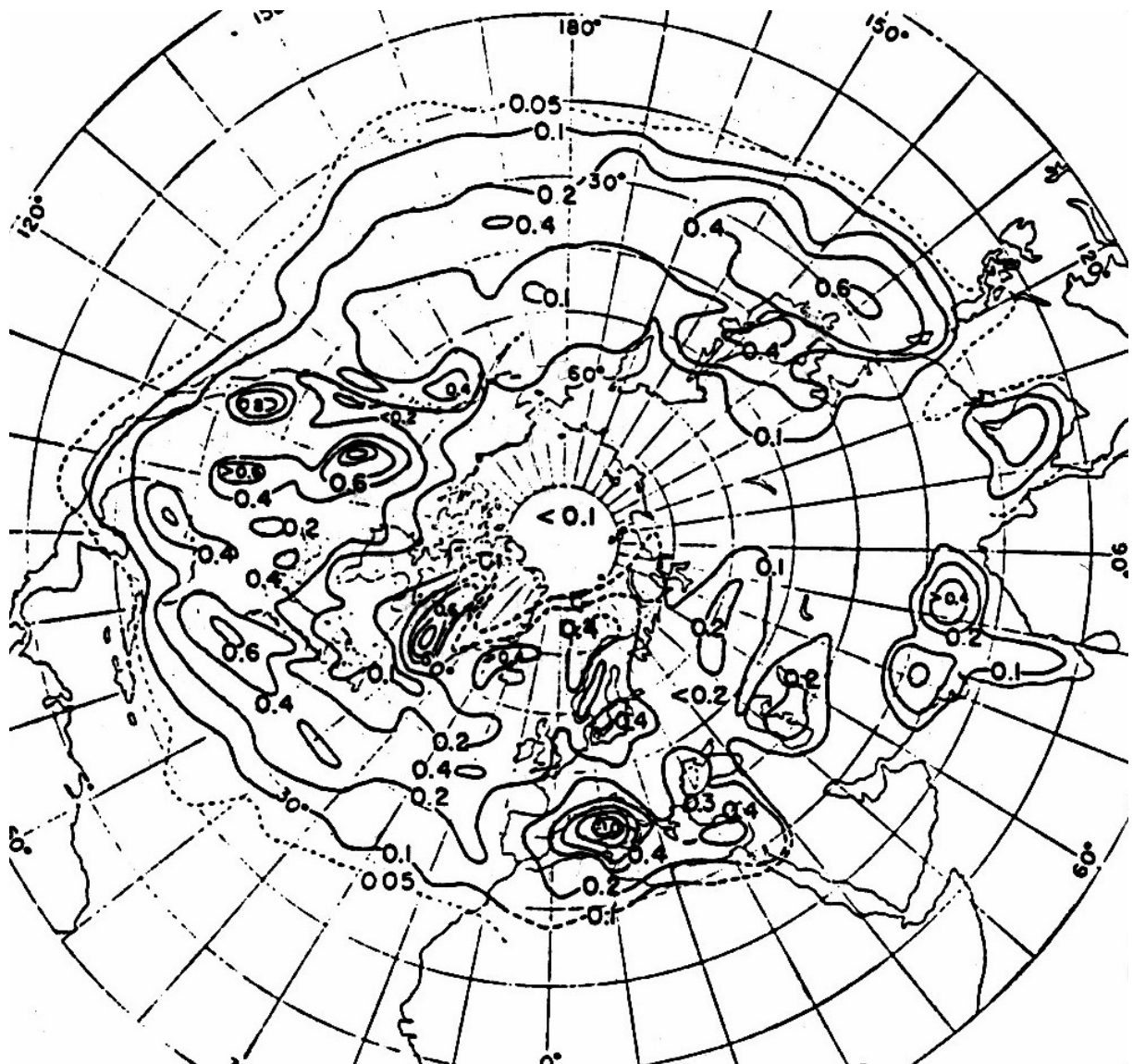
Jelen dolgozatunkban a második módszert alkalmazzuk, vagyis a közepes földrajzi szélességek cirkulációjának olyan helyzeteit vizsgáljuk, amelyekben gyakran alakul ki nagy mennyiségű csapadékhullással járó időjárási esemény. A kutatásban a légkör két különleges jelenségére, a mediterrán térségben kialakult ciklonokra, valamint a közepes földrajzi szélességek blocking eseményeire fókuszálunk. A vizsgálatot korábban már elvégeztük az 1986 és 2005 közötti 20 éves periódusra (Tóth és Gyuró, 2006). Az intervallumot most az 1976 és 2005 közötti 30 éves időszakra bővítjük, tágítjuk a vizsgálat módszertanát, és esettanulmányokon keresztül vizsgáljuk a jelentős csapadékhullással járó helyzetek, a földközi-tengeri ciklonok és a blokkoló anticiklonok közötti összefüggést.

2. A FÖLDKÖZI-TENGERI CIKLONOK SZEREPE A KÁRPÁT-MEDENCE IDŐJÁRÁSÁBAN

A Földközi-tenger térsége, különösen a Genovai-öböl körzete különleges szerepet játszik a ciklonkeletkezésben. Erre utal, hogy van Bebber (1891) már úttörő jelentőségű munkájában önálló számozást (V) adott ennek a ciklonpályának. Az ilyen jellegű ciklonok keletkezési mechanizmusa ma már meglehetősen pontosan ismert (ld. pl. Bluestein, 1992), és az is általánosan elfogadott tény, hogy a Kárpát-medence közelében elvonuló földközi-tengeri ciklonok közül az Vb pályán mozgó cirkulációs rendszerek okozzák a legtöbb szélsőséges időjárási jelenséget (ld. pl. Makainé Császár és Tóth, 1978).

Az Vb pályán mozgó földközi-tengeri ciklonok klimatológiájának vizsgálatából arra lehet következtetni, hogy a ciklonok területén megfigyelhető csapadéktevékenységben jelentős ingadozás mutatkozik. A ciklon átvonulása során a Kárpát-medence térségében lehulló csapadék mennyisége igen tág határok között változik. Dolgozatunkban annak a feltételeit vizsgáltuk, hogyan függ össze az Vb pályán mozgó földközi-tengeri ciklonok csapadéktevékenysége a légköri általános cirkuláció egy speciális jelenségével, ún. blokkoló anticiklonok jelenlétével.

A földközi-tengeri ciklonok képződése több szempontból is egyedülálló az egész világon. Elsődlegesen az egész Földre vetítve Genovai-öböl térségében történik a leggyakrabban másodlagos ciklogenezis, amiben egyaránt nagy szerepe van a Földközi-tengerből származó meleg, nedves levegőnek és az orográfának. Ezeket kimutató kutatások a múlt század 50-es éveiben számottevő sikereket hoztak, sőt Pettersen (1956) klasszikus térképén megjelenítette a ciklogenezis gyakoriságát az északi hemiszférán a téli félévre vonatkozólag, amiből egyértelműen látszik, hogy az Alpok déli része kiemelkedő fontosságú ciklonképződési terület, elsősorban a téli félévben (ld. *1. ábra*).



1. ábra

A ciklonképződés százalékos gyakorisága az északi hemiszférán a téli félévben,
 100000 km²-es területre vetítve. (forrás: Pettersen, 1956)

Pettersen térképén az is látszik, hogy az északi hemiszférán különösen óceáni területeken a ciklonképződés gyakorisága relatíve nagy, ugyanakkor a szárazföldek felett inkább izolált „szigetek” láthatók, amelyek szoros kapcsolatban vannak hegyvidéki területekkel, elsősorban azok déli, vagy keleti oldalán rajzolódnak ki. Későbbiekben más szerzők már Pettersen hemiszférikus statisztikáinak finomításával foglalkoztak (ld. pl. Klein, 1957; Whittaker és Horn, 1982), de sokkal részletesebb statisztikák csak regionális skálán

állnak rendelkezésre, pl. Radinović és Lalić (1959), majd Radinović (1965a) a mediterrán térségre. Kelet-Ázsiára és Észak-Amerikára vonatkozólag ilyen jellegű statisztikát Chung et al. (1976), Dél-Amerikára pedig Chung (1977) készítette.

Fontos megemlítenünk, hogy a földközi-tengeri ciklonok az orografikus ciklonképződés tipikus példái, így a későbbiekben többször használjuk ilyen értelmezésben ezt a kifejezést, valamint ennek szinonimáját, a lee-típusú ciklogenezist.

Továbbá, földközi-tengeri ciklonokról akkor beszélünk, ill. orografikus ciklogenezis lejátszódásáról, ha a tengerszintre vonatkoztatott szinoptikus térképeken, az izobárok klasszikus 5 hPa-onkénti behúzásánál zárt, alacsony nyomásra utaló izobárvonal megjelenik. Pettersen térképe is ezen a feltevésen alapul, továbbá azt is mutatja, hogy a legkiemelkedőbb, leginkább körülzárt, erős ciklonképződést mutató terület az északi félgömbön az Alpok déli oldala. Ahhoz, hogy megértsék ezt a különleges atmoszférikus jelenséget, a hozzá kapcsolódó orografikus hatásokkal együtt, egy nagyszabású légkörkutató programot indítottak az 1980-as évek elején, ALPEX néven. A programhoz megfigyelési, numerikus és egyéb elméleti jellegű munkák is kapcsolódtak, alapfázisa 1982-ben zajlott le. A program legfontosabb kutatási területe az alpi ciklogenezis, és a hozzá kapcsolódó folyamatok megértése lett, valamint az, hogy megfelelő analízisekhez elegendően nagy számú, a légköri állapotoknak 3-, vagy 4-dimenziós leírását lehetővé tegyék legalább meso- α skáláig. Az ALPEX kutatási program nagy előrelépést jelentett a korábbi évek tanulmányaihoz képest, pl. Speranza (1975), Tibaldi (1980), Kuettner (1982); de különösen a post-ALPEX eredményeire támaszkodva kerültek ki igazán jó, összefoglaló publikációk, ld. pl. Mesinger és Pierrehumbert (1986).

2.1 AZ ALPI CIKLOGENEZIS FOLYAMATA, SAJÁTOSSÁGAI

Évről-évre nagyszámú nyomási depresszió alakul ki az Alpok déli, délkeleti előterében, a feszín közelében, azonban ezek közül nem mindegyik a „klasszikus” lee-típusú ciklogenezisnek megfelelő kialakulási mechanizmust követ. A 13 hónapig tartó ALPEX megfigyelési időszakban Pichler és Steinacker (1987) negyven orografikus esetet számlált meg, ill. empirikus alapon feltételezték, hogy a felszíni morfológia által befolyásolt ciklogenezis zajlott le. A negyven esetből karakterisztikusan kizárták azokat, amelyek dél, délnyugat felől sodródtak a térség fölé és nem ott képződtek a helyi domborzati sajátosságok

következtében; valamint azokat is, amelyek termális nyomási depresszióként jöttek létre. A fent említett negyven esetből a szerzők szubjektív feltételezése alapján legalább 10-20 mérsékelt, vagy erős kategóriát elért mediterrán ciklonról tudunk ebből az időszakból. Az alpi lee-ciklonok mozgása meglehetősen változatos, és emellett általában igaz rájuk, hogy azok a ciklonok, amelyek lassabban mozognak, azok a legerősebbek és a legnagyobb vertikális kiterjedésűek (ld. pl. Illari et al., 1981). A növekedésük kezdeti fázisában szinte minden esetben igaznak bizonyult az az állítás, miszerint kialakuló lee-ciklonok látszólagos mozgása felszín közelében lassabb, lsd. pl. Radinović (1986). Már az ALPEX-program előtt a kutatók megfigyelték, hogy a kezdeti depressziók általában az Alpok előoldalán tűnnek fel, ritkábban a hegyvidék felett, ha egy olyan frontrendszerhez viszonyítunk, ami észak, esetleg nyugati irányból éri el az Alpok térségét. A növekedésük kezdeti fázisa általában nincs kapcsolatban masszív felhő- és csapadékrendszerekkel, ezek fokozatosan fejlődnek ki a ciklogenezis során. Buzzi és Tibaldi (1978), valamint Mesinger és Pierrehumbert (1986) feljegyzéseiből tudjuk, hogy a szenzibilis hőáram és a frontális instabilitás alig játszik szerepet a ciklonfejlődés kezdeti stádiumában; az összes tényező közül döntő szerep jut a látens hőfelszabadulásnak. További fontos jellemző a hidegfront kölcsönhatása az orográfiával. A dolgozatban eddig nem hangsúlyoztuk, de mindenképp ki kell emelnünk, hogy az alpi ciklogenezis másodlagos ciklonfejlődés, ami azt jelenti, hogy speciális feltételek kelljenek hozzá, jelen esetben egy már meglévő, a mediterrán térség felé terebélyesedő teknő az 500 hPa-os izohipsza-térképeken. (Ha ez nincs jelen, az Alpok térségében orografikus ciklonképződés nem fog lejátszódni!) A dél felé terjeszkedő, 500 hPa-on jól analizálható teknőhöz a talaj közelében egy kifejlett mérsékelt övi ciklon kapcsolódik, a hozzá tartozó frontrendszerrel. Ezt a ciklont az angol szakirodalom „parent low”-ként említi. A ciklon frontrendszere rendszerint hosszan nyúlik el a kontinens felett északkelet-délnyugati irányban, a hozzá kapcsolódó melegfronti rész szignifikánsan nem jellemző, vagy kontinens északabbi területei felett vonul az anyaciklon középpontjának közvetlen közelében. Ennek következtében az Alpok térségét vagy nem érinti, vagy ha érinti is, nem alakul ki olyan hőmérsékleti struktúra, ill. kontraszt, ami jellemző az alpi ciklogenezisre. Ennek következtében lee-típusú ciklonképződésre akkor lehet leginkább számítani, ha egy hidegfront közeledik észak, északnyugat felől az Alpok térségébe. Amint eléri a hegységet, a frontális hideg levegő feltorlódik a luv oldalon, ezáltal késleltetve a szélárnyékos részeken a hideg advekciót, ami a frontális struktúra torzulásához vezet. Ez frontogenezishez, valamint pozitív hőmérsékleti anomália kialakulásához vezet a lee

oldalán az alacsonyabb szinteken (pl. Radinović, 1965b; Buzzi és Tibaldi, 1978). Alpi ciklogenezis során a magasban mélyülő teknő szoros kapcsolatban áll a felső troposzférikus jet maximumával, ami mediterrán térség nyugati része felé irányul. A talaj közelében akkor következik be erős nyomásesés, ha a hidegfront az emelkedő jet áramlásra merőlegesen, és attól balra helyezkedik el (Danielsen, 1973; Buzzi és Tibaldi, 1978; Mattocks és Bleck, 1986). A jet az Alpok térségében hajlamos arra, hogy kettéváljon, még a felső troposzférában is, ami rendszerint annak következménye, hogy az orografikus perturbáció ráakad a alapáramlásra. A perturbáció egyben hullámképző hatású is, amelyek dél felé haladva rendszerint tovább mélyülnek (labilis orografikus hullámok, ld. pl. Tibaldi et al., 1980). Ez utóbbi két feltétel már egy meglévő szinoptikus rendszert feltételez, de szervesen csak akkor járul hozzá alpi ciklogenezishez, ha addig fennmarad, míg el nem éri az Alpok térségét (Buzzi és Tibaldi, 1978; Buzzi és Speranza, 1983). Ezenkívül, ha ebből az aspektusból vizsgáljuk a lee-ciklonokat, egy sor más jelenséget is kapcsolhatunk hozzájuk: szinoptikus skálájú hullámok feldarabolódásától a lee-hullámok kialakulásáig; valamint az örvényesség-generálódást, ami orografikus akadályok miatt alakul ki véletlenszerűen az alapáramláson. A szakirodalmi utalások a lee-típusú ciklogenezisnek két fő fázisát különítik el, amelyet elsősorban Buzzi és Tibaldi (1978) cikke nyomán tárgyalunk röviden. Az első, gyorsabb fázisban lévő folyamatok a frontális deformációval és a mezoskálájú karakterisztikák átrendeződésével állnak kapcsolatban főként az orografikus hatások következtében. A második fázisban jellemző folyamatok leginkább a baroklin instabilitás növekedésével hozhatók kapcsolatba, és ez a fázis az, ami igazán megkülönbözteti a lee-ciklonokat a sekély, és rövid életű depresszióktól. A nyomásesés eloszlása a két fázis között általában közelítőleg egyenlő Buzzi és Tibaldi (1978) tanulmánya alapján, de mivel az első fázis gyorsabban lezajlik, ezért a nyomásesés is erőteljesebb ekkor. Érdekes megemlítenünk, hogy az első fázisban tapasztalható intenzívebb nyomáscsökkenés általában meg sem közelíti azt a mértéket, amit Sanders & Gyakum (1980) „ciklonbomba”-ként emleget, tehát a viharciklonok kialakulását karakterisztikusan ki is zárhatjuk az Alpok térségében. Az alpi ciklogenezis tanulmányozása numerikus kísérletekkel az 1970-es évek eleje óta zajlik. Az első, úttörő jelentőségű munka Egger (1972) származik. Ez tette pl. lehetővé azt az eljárást, ami a baroklin módszeren alapszik, és ez alapján azonosítják be a lee-típusú ciklonokat. Az empirikus formula megadása Egger (1972) és Trevisan (1976) származik. A numerikus kísérletek más fontos eredményt is kimutattak, nevezetesen a hegyvidékek által gerjesztett háborgásokat a

geopotenciál-mezőben, valamint ezek nagyságrendjét és a ciklogenezisben betöltött szerepüket. Ezek rendszerint egy egyszerű, dipoláris struktúrát vesznek fel a geopotenciál-mezőben, ami úgy néz ki, hogy a hegyvidék északi, északkeleti oldalán a magas, míg az ellentétes oldalon alacsony nyomású centrummal (ld. pl. Tibaldi és Buzzi 1983; Tosi et al., 1983; Tibaldi és Dell’Osso, 1986). Ez az a jelenség, aminek leírása nem teljes mértékben megfigyeléseken alapszik, hanem numerikus modellkísérletek eredményei is segítettek. Összefoglalva az eddigieket, a lee-típusú ciklogenezis legfontosabb tulajdonságai, amelyek az egész világon jellemzőek és alapvető fontosságúak, az alábbiak:

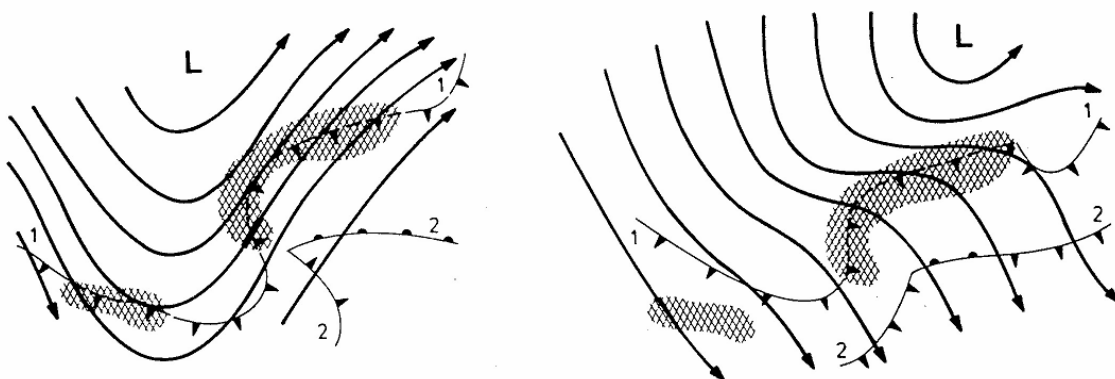
- 1., A lee-típusú ciklogenezis kapcsolatban áll egy már korábban létező szinoptikus skálájú teknővel (ún. parent low), ami az orográfiával kölcsönhatásba lép.
- 2., Lee-típusú ciklonok képződését megelőzi egy erős hőmérsékleti kontraszt, ami egy hidegfront betörésével kapcsolatos.
- 3., Az érett stádiumba lévő lee-ciklon leválik a Rossby-hullámról és orografikus hatásra alacsony-magas nyomású dipólus alakul ki, amelyekben a dipól különböző részeinek vertikális és horizontális kiterjedése ugyanakkora.

Ha az alpi ciklogenezist vizsgáljuk tovább, feltétlen meg kell említeni, hogy Pichler és Steinacker (1987) két alaptípust különböztetett meg aszerint, hogy milyen a magasabb szintek alapáramlásának iránya. Ezek szerint létezik egy délnyugati és egy északnyugati alaptípus, amelyet 2. *ábra* szemléltet.

Az első esetben az 500 hPa-os szinten jól kimutatható teknő kelet felé mozog egy nagyskálájú nyugatias áramlással. Ilyenkor egyértelmű az orografikus befolyás, a gyorsan mozgó hidegfront az Alpok miatt hullámvetésre kényszerül.

A másik esetben szintén a rendezett északnyugatias áramlási struktúrát torzítja el az Alpok, de egy teknő hátoldali áramlási viszonyai között.

Az erősebb orografikus módosítás általában a délnyugati típus esetén következik be, ha a szélkomponensek kapcsolatban állnak a baroklin hullámokkal, amelyek közel függőleges elrendeződésűek a hegyvonulat fő tengelyére nézve, ld. pl. Speranza et. al (1985).



2. ábra

*Az alpi ciklogenezis két alapvető típusa Pichler és Steinacker (1987) szerint
(A bal oldali ábrán a délnyugati, a jobb oldalin az északnyugati alaptípus látható.)*

Az északnyugati típus kialakulása rendszerint egy északias alapáramlásba ágyazódó hullámnak köszönhető a magasabb szinteken, amelyre kisebb befolyással van az orográfia, mint az előző esetben, így rendszerint nem is képződik olyan mély mediterrán ciklon.

A már fent említett két típusra együttesen jellemzően, összetett diagnosztikát alkalmazva Radinović (1986) az Alpok térségében lejátszódó ciklonképződés főbb jellemzőit az alábbi tulajdonságokkal összegezte:

- (a) A légkör legalsó rétegeiben konvergencia figyelhető meg, valamint a domináns feláramlás a fejlődési szakaszban a cikloncentrum körül.
- (b) Kezdetben a hideadvekciót alsóbb szinteken a hegyvidék akadályozza. A meleg levegő az előoldalra koncentrálódik, de a melegfront alig azonosítható. A hidegfront ezzel szemben erősödik az Alpok felett, ami nagy hőmérsékleti gradienst eredményez.
- (c) A nyomástendencia felszín közelében ellentétes az Alpok északi és déli oldalán, ami szintén az erős gradienst bizonyítja.
- (d) A teljes kinetikus energia egy fix térfogategységre vonatkoztatva emelkedik a ciklon területén, ami a levegő beáramlását biztosítja a távolabbi részekről.

(e) Az alacsonyszinti örvényesség abban a pillanatban emelkedésnek indul, amint a hideg levegő mozgása az akadály körül eltérül.

(f) Az elhajlással párhuzamosan nő a baroklinitás, negatív termális örvényesség generálódik a hegytető szintje alatt.

(g) Az örvényességi advekción a magasban kezdetben gyenge, de gyorsan emelkedik, miután a magassági teknő az alacsonyszintű ciklon fölé sodródik.

Ezek közül a (b)-t és az utolsó hármat Radinović igazolta. Lényeges továbbá, hogy nehéz elkülöníteni azokat jellemzőket, amelyek jellegzetesek az orográfiai hatásra nézve, de megfigyelésen alapulnak ld. pl. Johnson és Hill (1987). Ezt mi sem bizonyítja jobban, mint az a tény, hogy nagyon idealizált esetben is ezek a hatások nemcsak lokális skálára koncentrálódnak, hanem még a szinoptikus skálán is kimutathatók, ami a baroklin instabilitás lévén nyilvánvaló.

Az ALPEX-program kutatói azonban olyan jellemzőket is kerestek, amelyek elkülöníthetők az alpi ciklogenezist a többi típustól. Fizikai paraméterek közül a kutatók a legalkalmasabbnak az örvényességet találták, amiről számos tanulmány jelent meg: Mattocks (1982), Bleck és Mattocks (1984), Frenzen és Speth (1984, 1986), Reimer (1986), McGinley (1986), Johnson és Hill (1987), Pichler és Steinacker (1987). A tapasztalatok azt mutatták, hogy a relatív örvényesség pozitív advekcióna zajlik le egészen a 300 hPa-os szintig a fejlődő stádiumban. A konvergencia által megfigyelt örvényességi tagok eleinte a magasabb légkörben veszik fel a legmagasabb értéküket, de az alacsonyabb szinteken is egyre fontosabbá válnak a ciklonfejlődés érettebb stádiumaiban. Frenzen és Speth (1986) szerint pozitív örvényességi advekción tapasztalható a fejlődő ciklonban és emellett erőteljes konvergencia a közepes szinteken, de kutatómunkájukban nem egyértelműen különítik el az orográfikus hatásokat. Vizsgálataik szerint a relatív örvényesség képe az Alpok térségében úgy alakul, hogy a nyugati részekén pozitív; keleten, északkeleten pedig negatív.

Steinacker (1984), valamint Pichler és Steinacker (1987) az örvényesség diagnosztikát más közelítésben tárgyalták, figyelembe véve az abszolút örvényességi fejlődést izentróp felszínnek felett. Feltételezéseik szerint az abszolút örvényesség kettéválik nyírási és görbületi örvényességre, és ennek alakulását vizsgálták az Alpok térségében. Kimutatták, hogy a teljes

örvényesség emelkedik a ciklon magjában a Nyugat-Mediterráneumban (a fluxus konvergencia miatt), a nyírási örvényesség pedig kezdetben nő ebben a térségben, majd átalakul görbületi örvényességbe, ha a légréteg a ciklonáris forgású területre kerül. Ez a megoldás az erős, orográfia által keltett mezoskálájú deformációkat hangsúlyozza.

Bleck és Mettocks (1984) legfontosabb eredménye, hogy kimutatták a korrelációt a ciklogenezis és a pozitív potenciális örvényességi advekciónak között a magasabb légkörben, ami arra utal, hogy a ciklogenezist megelőzi egy dél felé tartó, nagy potenciális örvényességgel rendelkező „mag” az alacsony poláris sztratoszférából az alpi térség felé.

Az alpi ciklogenezist más aspektusból is tárgyalják a különböző szerzők, elsősorban a szubszinoptikus skálán. Ilyen pl. a frontogenezis kérdése (Buzzi et al., 1985), a sztratoszférikus ózonsökkenés (Buzzi et al., 1984; Tosi et al., 1987), a látens és a szenzibilis hőáramok (Emeis és Hantel, 1984), azonban ezeket a dolgozat keretében nem részletezzük.

3. A BLOKKOLÓ ANTICIKLONOK SZEREPE A MÉRSÉKELT SZÉLESSÉGEK CIRKULÁCIÓJÁBAN

A 30. és a 60. szélességi körök közötti területen általános esetben erőteljes nyugatias áramlások dominálnak. Az egyes földrajzi szélességeken a légkör hosszú távú termikus egyensúlyának fenntartása érdekében rendszeresen kialakulnak olyan meridionális perturbációk, amelyek lehetővé teszik a trópusokon felhalmozódott hőenergia szállítását a pólusok irányába. Ezen perturbációk következtében a nyomási képződmények egyes esetekben olyan formációkba rendeződnek, amelyek területén a magaslégköri áramlások zonális komponense szinte teljesen megszűnik, kialakítva ezzel az ún. blocking jelenséget.

A több napig, sőt hetekig egy helyen veszteglő anticiklonok első leírása és a blocking elnevezés első használata Garriott (1904) nevéhez fűződik, de ebben az irányban csak a II. világháború befejezését követően gyorsultak fel a kutatások, ld. pl. Namias (1947) és Berggren et. al. (1949). A blocking helyzet felismerésének komplex kritériumait Rex (1950) adta meg:

- a mérsékelt szélességek meghatározó nyugatias áramlási viszonyai között a sugáráramnak (magaslégköri jet stream) két ágra kell hasadnia,
- a légtömegek mozgása az egyik ág mentén észlelhető csak,
- a két eltérő ág által kifeszített területnek legalább 45 hosszúsági fokot kell felölelnie,
- a formációnak legalább 7 napon keresztül fenn kell állnia folyamatosan.

A napi időjárási analízis során ezek a kritériumok túlságosan szigorúnak bizonyultak, ezért munkánk során némileg enyhébb feltételeket alkalmaztunk.

Ismert tény, hogy blokkoló anticiklonok – a többi anticiklonhoz hasonlóan – termikusan homogén felszín fölött jönnek létre. Ilyen lehet az óceáni vízfelszín több millió négyzetkilométer kiterjedésű hasábjá, vagy egy kontinentális tábla. Az eurázsiai térség

alkalmasnak tűnik ugyan a feltételek kielégítésére, a tapasztalatok viszont azt mutatják, hogy a teljes táblát sosem uralja anticiklon, legfeljebb annak egy részterületét. Ilyen szokott lenni a Fenno-skandináv térség és a Kelet-európai-síkság (Makainé Császár és Tóth, 1978). Ezeknek a területeknek a méretét ismerve a hosszúsági fokokban mért kritérium erősen túlzónak tűnik, ezért vizsgálataink során a 30 hosszúsági fok fölötti feltételt alkalmaztuk. Mint látni fogjuk a későbbiekben a blocking tipizálás során, hogy az anticiklonáris esetek mellett ciklonáris esetben is definiálható blocking, így ezekre az esetekre hosszúsági kritériumot nem is alkalmaztuk tudván, hogy a mérsékelt övi ciklonok karakterisztikus mérete rendszerint kisebb az anticiklonokénál.

Mivel a blokkoló anticiklon élettartamára vonatkozó 7 napos feltétel is csak igen kevés esetben teljesül, ezért minden 5 nap fölötti élettartamú jelenséget bevontunk vizsgálatainkba.

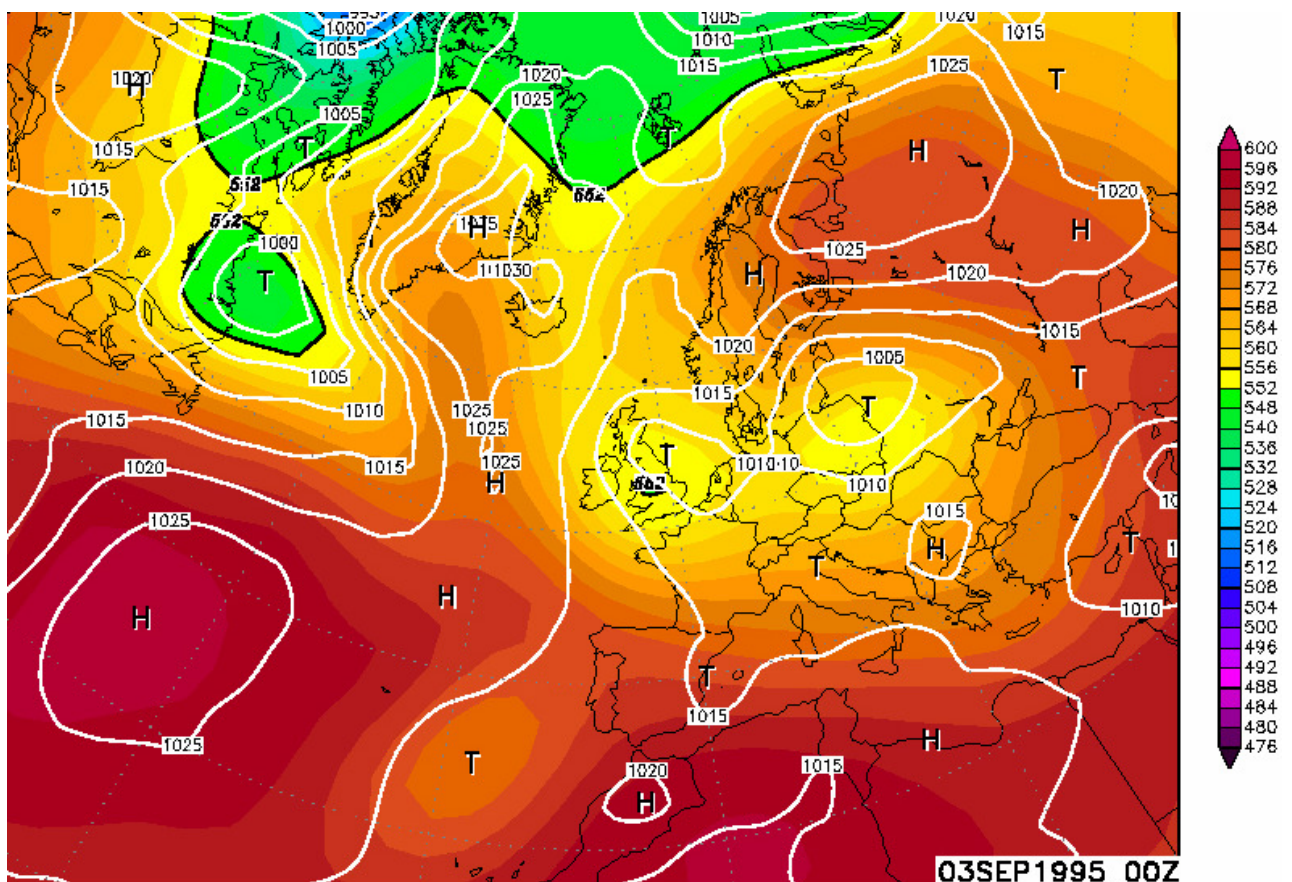
Blokkoló anticiklonok területén a meteorológiai paraméterek nagyfokú homogenitása, csekély időbeli változékonysága jellemző napokon, esetleg heteken keresztül. Ezek árvizek és aszályok, az átlagosnál tartósabban alacsonyabb vagy magasabb átlaghőmérsékletek és más időjárási szélsőségek kialakításához vezetnek. Ezért is fontos, hogy időben felismerjük a blocking képződményeket, lehetőleg még a kezdeti fázisukban, és lehetőségeink szerint jelezzük előre várható helyüket és fennmaradási idejüket.

A blocking események leginkább a magaslévköri térképekről, analízisekről és előrejelzési mezőkről ismerhetők fel. A blokkoló anticiklonok nyugati oldalán rendszeresen megváltozik a ciklonok pályája, gyakori a ciklonok megrekedése bőséges csapadékhullás kíséretében.

Több szerző is elvégezte a blokkoló anticiklonok tipizálását (Wiedemann et al., 2002; Pelly and Hoskins, 2003). Munkánk során az alábbi típusrendszert használtuk:

1. *ómega-helyzet*. Ez a görög Ω betűhöz hasonlítható formáció a magassági térképeken. Ilyen esetekben az anticiklon belsejében száraz, derült idő a jellemző, gyenge légmozgásokkal, hosszú ideig való fennállás esetén komoly szárazsággal. Ugyanakkor a képződmény délkeleti, de különösen délnyugati peremén elterülő nyomási teknőkhöz kapcsolódó ciklonális hatásoknak köszönhetően felhős és meglehetősen csapadékos idő társul. Az ómega-helyzet előrejelezhetősége könnyebb, mivel több napra előre meglehetősen nagy pontossággal ki lehet jelölni a csapadékos és a száraz területek konkrét helyét.

2. *Rex-típusú blocking*. Ez egy „fél 8-asra”, vagy egy fordított „S”-re hasonlító formáció. Ilyen esetben felépül egy magasnyomású gerinc, közvetlen szomszédságában pedig egy alacsonynyomású teknő. Fontos kitétel, hogy a gerinc a pólus felől terüljön el a nyomási teknőhöz viszonyítva (ld. pl. 3. ábra). Az ábrán jól látszik, hogy Oroszország európai területei fölé és Skandinávia északi területei fölé magassági anticiklon nyúlt be, ugyanakkor Közép-Európa északi részei fölé mind a talajon, mind a magasabb rétegekben ciklonális hatások alakították az időjárást.



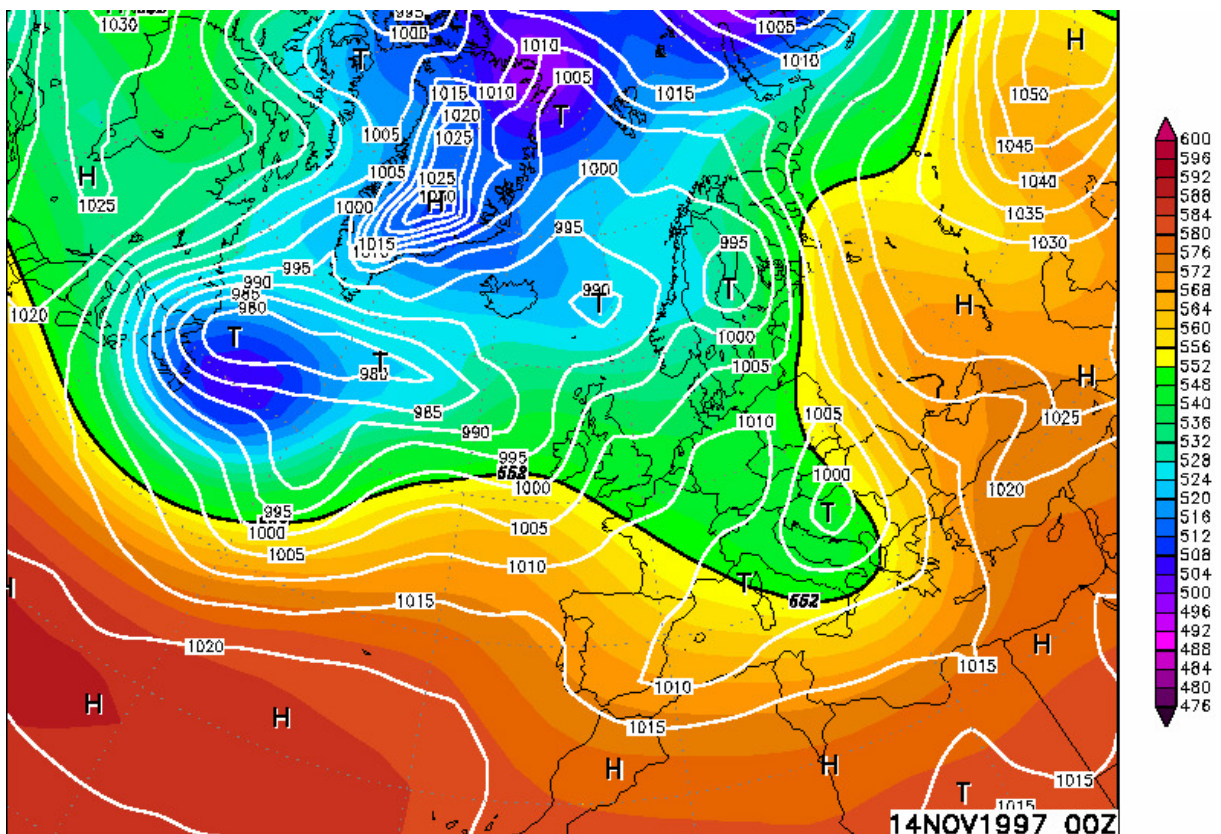
3. ábra:

Rex-típusú blocking

(Az 500 hPa-os főizobárszint geopotenciál-értékeit a színes területek, a tengerszintre átszámított légnyomás izobárait folytonos fehér vonalak jelzik.)

(Forrás: www.wetterzentrale.com)

3. „Tűzgyűrű”, avagy leszakadó anticiklon. Alacsonyabb földrajzi szélességeken a szubtrópusi magasnyomású zónák kitágulásával és esetleges összekapcsolódásával alakulnak ki. Napokig változatlan helyzetű formációt alkotnak. Leginkább akkor figyelhető meg, ha a magasabb szélességeken a sugáráram (magaslégköri jet stream) gyenge. Nevét onnan kapta, hogy a képződmény peremén kialakuló orrszerű képződmények meglehetősen gyengék, és ebben a helyi hatások alakítják az időjárást a nyári évszakban. A délutáni órákban erőteljes konvektív mozgások hatására véletlenszerűen helyi zivatarok pattannak ki, amelyek a magas nyomású centrumot szinte gyűrűszerűen körülölelik.



4. ábra:

Kettéhasadó áramlási mező (4. típusú blocking)

(Az 500 hPa-os főizobárszint geopotenciál-értékeit a színes területek, a tengerszintre átszámított légnyomás izobárjait folytonos fehér vonalak jelzik.)

(Forrás: www.wetterzentrale.com)

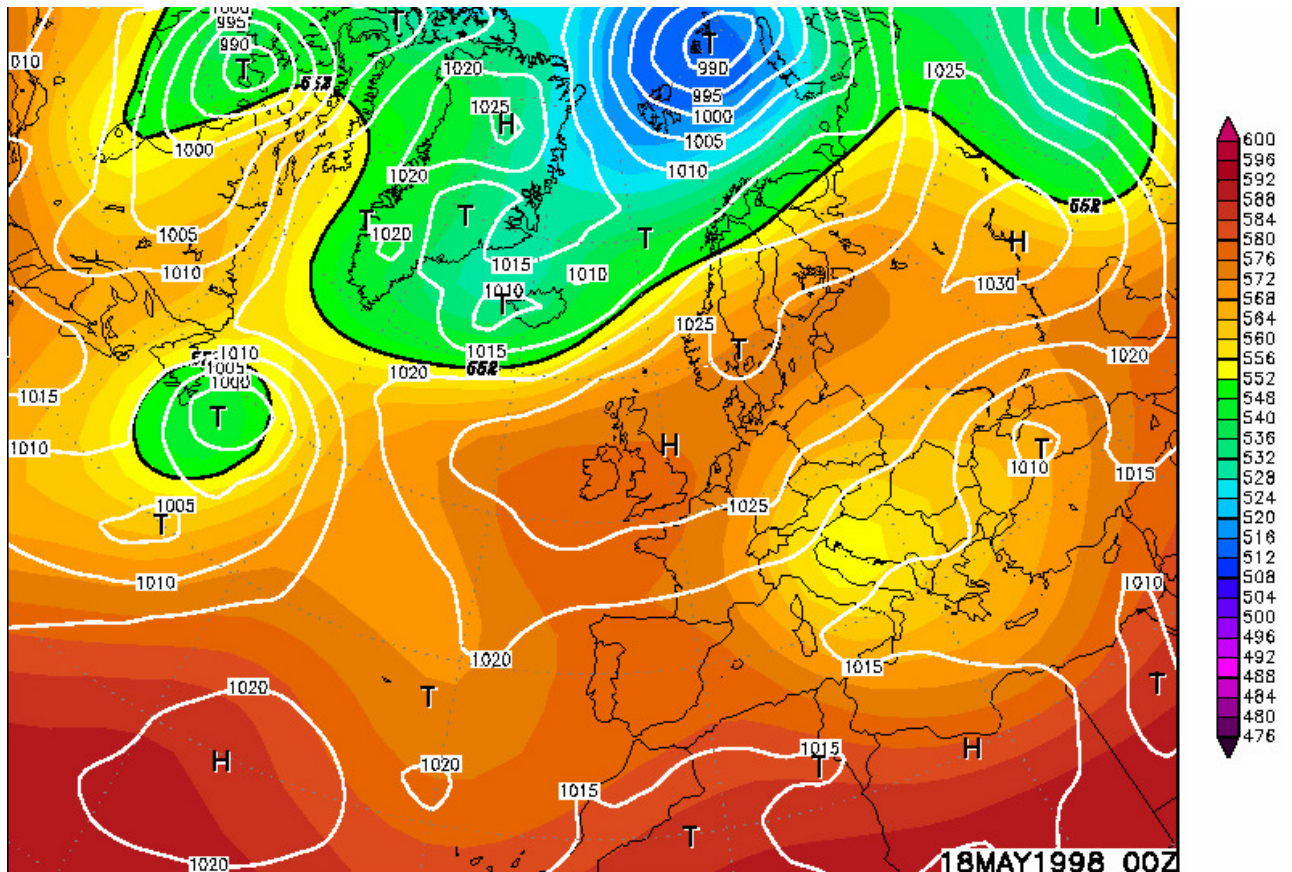
4. *Kettéhasadó áramlási mező.* Akkor alakul ki, ha a jet stream jól elkülöníthető két szakaszra hasad szét. E két szakasz között a magaslégköri áramlás iránya közel 180° -ban eltérő, ami azt eredményezi, hogy a nyugati ágon a szinoptikus képződmények viszonylag gyorsan mozognak, azonban a nyugat-keleti mozgási komponens a két szakasz által határolt alacsonynyomású részben szinte teljesen eltűnik, így a ciklonok a két ág közé szorulnak. Ilyenkor a hullám teknő részében a kialakult nyomási formációk közelítőleg észak-déli irányú mozgást végeznek, olykor viszonylag szűk, olykor pedig akár egész kontinensnyi területen (ld. pl. 4. *ábra*). Tipizálás során vigyázni kell, mert sokszor összetéveszthető az ómega-típussal.

A 4. *ábrán* kettéhasadó áramlási mezőt látunk az 500 hPa-os főizobárszint geopotenciál-értékei alapján. Észak-, Északnyugat-Európa időjárását az 500 hPa-on leszakadó teknő alakította, ami elérve a Genovai-öböl térségét, ún. lee-típusú ciklont generált.

5. *Leszakadó alacsonynyomású rendszer.* Általában olyankor alakul ki, ha a magasabb szintek áramlása a pólusok irányába eltérül, és a megszokottól eltérően nem öleli körül a már meglévő alacsony nyomású területet. Ilyenkor az 500 hPa-os szinten lokálisan egy olyan teknő jelenik meg, amelynek a peremén mindenütt magasabb, azaz anticiklonra jellemző geopotenciálú terület található (ld. pl. 5. *ábra*). Kialakulásukhoz nyáron gyakorta rövid idő alatt nagy mennyiségű csapadék társul, hiszen a magasban leszakadó teknő hidegadvekciónal jár, ami a légkör labilizálódását eredményezi.

A 5. *ábra* leszakadó alacsonynyomású rendszert mutat. A térképen kísérteties hasonlóságot lehet felfedezni egy ómega-helyzettel, azonban az ómega-formáció délnyugati lábánál nem fejlődött ki zárt izohipszájú magassági ciklon, így az önálló besorolást kapott.

A különböző blocking formációk kialakulása általában jól nyomon követhető, különösen manapság az egyre fejlettebb mérési technikáknak, valamint a mérőhálózat sűrűség-növekedésének köszönhetően. A kialakulás kezdeti fázisához a troposzféra magasabb rétegeiben labilis hullámok jelenlétére van szükség, amit az áramlási mező határoz meg. Az áramlási mező alakulását döntően kétféle fizikai paraméter, a potenciál és hőmérséklet, illetve ezek térbeli folytonossága miatt az állapothatározó-mezejük adja meg. A hullámmegoldás részletes felírása nélkül a tapasztalatok azt mutatják, hogy labilis hullám a magasabb légkörben akkor alakul ki, ha a hőmérsékleti hullám a potenciálhullámhoz



5. ábra:

Leszakadó alacsonynyomású rendszer (5. típusú blocking)

(Az 500 hPa-os főizobárszint geopotenciál-értékeit a színes területek, a tengerszintre átszámított légnyomás izobárjait folytonos fehér vonalak jelzik.)

(Forrás: www.wetterzentrale.com)

viszonyítva negyed fázissal elmarad (Kurz, 1986). Ebben az esetben hideg levegő advektálódik a potenciálhullám teknőjében, ugyanakkor a gerincben melegadvекció zajlik. A fáziseltolódásból az is következik, hogy a teknők és a gerincek tengelye a magassággal hátrafelé dől. A labilis potenciálhullám amplitúdója gyorsan növekszik, ugyanakkor hullámhossza általában csökken. Ha a hidegadvекció a potenciálhullám teknőjében kellően erős, akkor az amplitúdó növekedésével és hullámhossz csökkenésével párhuzamosan a hideg teknő leszakadhat, kialakítva ezzel az ún. cut off magassági ciklonokat. A magassági ciklonok kialakulása talajciklontól függetlenül is kialakulhat, sőt általában meg is előzi, azaz ilyen

esetben a ciklon felülről épül ki, és a magassági örvényességi mező generálja az alsóbb rétegek ciklonáris mozgásait. Ezeknek a leszakadási ciklonoknak általában hosszabb az élettartamuk, és az örvénylés miatt általában lassabban is vándorolnak, így képesek blokkolni a mérsékelt övezet zonális áramlásait, ezzel kialakítva az 5. típusú blockingot.

A magassági ciklonok mellett a melegadvekcio területén a potenciálhullám gerincében magassági anticiklonok kialakulása is megfigyelhető. A magassági ciklonok és anticiklonok elhelyezkedése, ill. stacioner, vagy lassú mozgású változatai alakítják ki a komplex blocking jelenségekört, és ennek különböző megjelenési formáit. Ha a potenciálhullám csak részlegesen vagy egyáltalán nem szakad le, és nem alakul ki zárt, ciklonális mozgás (azaz a hideg levegő advekciojának útja nem szakad meg a magasabb szélességek irányából) a felső troposzférában, akkor is kialakulhat blocking.

Ha a potenciálhullám teknőjében a hőmérsékleti hullám északnyugat-délkelet irányú tengelyt vesz fel, és úgy nyomul előre, emellett a hullámhossz csökkenésével a magassági anticiklon szintén északnyugat felé terebélyesedik, akkor a magassági térképeken lassan kialakul egy „S” alakú formáció, ami azonosítható a 2. típusú blockinggal. Ennek a blockingnak a teljesen kifejlett változata akkor következik be, ha mind a magassági ciklon, mind az anticiklon elszakad eredeti helyétől, és együttes jelenlétük akár 25-30 szélességi fok kiterjedésben is blokkolhatja a mérsékelt övezet zonális áramlását. Ennek a típusnak leépülési fázisára jellemző, hogy a leszakadó magas- és alacsonynyomású rendszerek a környezetükben ismételten csatlakoznak a zonális áramlási mezőben kialakuló újabb hullámkezdeményhez, amelyeknek már van számottevő nyugat-keleti irányú mozgási komponensük. Gyakran előfordul az is, amikor ez az ún. Rex-típusú blocking feldarabolódásával más típusú blocking alakul ki. Rex-típusú blocking természetesen akkor is kialakulhat, ha a hőmérsékleti hullám északkelet-délnyugat irányú tengelyt vesz fel, azonban ebben az esetben „fordított S” alakú geopotenciál-képződmény jön létre, ha a formációban az áramlás irányát is figyelembe vesszük.

Ha a potenciálhullám gerincének két oldalán egyidejűleg egy északnyugat-délkelet, ill. egy északkelet-délnyugat tengelyű hőmérsékleti hullám is kialakul magassági térképeken, amelyek belsejében a kialakuló örvényesség miatt legalább rövid időre zárt izohipsza is megfigyelhető, mindemellett a gerinc tengelye közelítőleg észak-déli irányú marad, akkor beszélhetünk az 1. típusú blocking kialakulásáról. Ez az Ω -ra hasonlító formáció általában akkor alakul ki, ha a gerinc két oldalán kialakuló teknők kellően délre hatoltak, egészen az

ómega talpáig, ami általában azt is jelenti, hogy bennük zárt izohipsza is ki tudott alakulni a hullámhossz csökkenésével. A látványos Ω -formációk általában nem sokáig maradnak fenn, hanem más típusú blockingba alakulnak át.

Előfordulhat olyan eset is, amikor a felső troposzférikus labilis hullámok kialakulnak, de az amplitúdó növekedésével a hullámhosszuk nem csökken le, ezáltal nem is szakadnak le a keletkezési helyüktől. Ilyen helyzetekben is kialakulhat blocking, amelyek általában a magaslégköri hosszúhullámok blockingját jelentik. Ezek rendszerint nagyon lassan mozognak, és hullámhosszuk 50-120 fok között változik. E hosszúhullámok irányítják a nagytérségű időjárási folyamatokat, és ezek határozzák meg zömmel a fentebb említett, általában magaslégköri rövid hullámhosszak esetén kialakuló blocking szituációkat. A 4. típusú blockingok kialakulásának egy része (különösen a téli időszakban) az ilyen légköri hosszúhullámokhoz kapcsolható. De olyan is előfordulhat, amikor egy kialakult hosszúhullámú Rossby-hullámon kialakul egy rövidhullámú perturbáció, ami szintén blokkolódhat.

A légköri hosszúhullámok blockingját jelenti a 3. típusú, általunk kevésbé vizsgált Tűzgyűrű. Télen rendszerint több cellából álló magas nyomású zónát képeznek az északi hemiszféra 30. szélességi foka körül. Nyáron főként óceánok felett találhatóak (ld. pl. azori anticiklon), mivel a térítők körül a szárazföldek felett a felhevült felszín miatt hőség okozta alacsonynyomású területek keletkeznek.

Főleg télen, homogén szárazföldi felszínek felett kialakuló talajközeli anticiklonok a légkör egyik legállandóbb, legtöbbet kutatott nyomási képződményei. Állandóságukból következően ezek szintén blocking formációk, ám termikus okokból alakulnak ki, és a légkör alsó 2-3 km-es rétegében mutathatók ki. Ezért a blocking tipizálás során külön típusba nem is sorolták őket, hiszen a felsorolt típusok az 500 hPa-os analízisek alapján készültek, ám ezek a termikus anticiklonok az esetek döntő többségében nem mutathatók ki ilyen magasságban. Annak ellenére, hogy a troposzféra teljes vertikumát nem ölelik fel, mégis képesek blokkolni a zonális áramlásokat, különösen az alsóbb szinteken.

Homogén óceáni felszínek felett is kialakulnak blokkoló anticiklonok. Ezek szintén intenzív kutatások tárgyát képezik manapság. Az északi félgömbön a két óceáni medence homogén vízfelszínei felett kialakuló blocking eseményeit már a múlt század 50-es éveitől kutatják, ugyanakkor a kelet-európai, nyugat-ázsiai térség, mint potenciális blocking régiót csak 1983-ban Dole és Gordon azonosította. A szerzőpáros ráadásul azt is kimutatta, hogy az

óceáni medencék blocking formációi és a szárazföldi térségben kialakult típusok a hideg évszakban erősebbek, mint máskor. A szárazföldek hiánya ellenére a déli félgömb óceáni területein is kialakulnak blocking képződmények, ám lényegesen ritkábban. A klimatológiai statisztikák kevésbé részletesek, mivel a déli félgömbön sokkal kevesebb megfigyelés, mérés áll rendelkezésre.

Az északi félgömb blocking eseményeinek kutatásával sokan foglalkoztak. A múlt század közepétől számos tanulmány jelent meg a külföldi irodalmakban. Namias 1947-ben egy szokatlan tél kapcsán említette először a blocking jelenséget, mivel azt vette észre, hogy a szinoptikus mozgásrendszerek a pólusok felé térülnek el, miközben az alacsonyabb szélességeken a magasnyomású képződmények inkább nyugatias mozgást végeznek. Rex által 1950-ben kidolgozott komplex kritériumrendszer megalkotása után sokáig a blocking kutatások a jet áramlás blockingjára fókuszáltak. White és Clarke (1975) átlagos havi adatokat, míg Charney et al. (1981) már napi adatokat felhasználva átlagos magas nyomású anomáliákra alapozva vizsgálta a blockingot. Klimatológiai szempontból értékes kutatások az 1980-as évektől folynak, mert addigra gyűlt össze olyan adatbázis, amivel erre alkalmas vizsgálatokat lehet végezni. Blocking helyzetek klimatológiájának vizsgálatakor az összes tanulmány a szubjektív térképanalízisekből indult ki, amelyekből objektív küszöbértékeket és kritériumokat definiáltak.

Lejenas és Okland (1983) meghatározott egy ún. „zonal index” nevű kritériumot, ami adott hosszúsági körön, de két különböző szélességen (az északi hemiszférán: 40° és 60°) az 500 hPa-os főizobár geopotenciális magassága.

Blocking események intenzitás-vizsgálatának másik kritériuma a „blocking intensity” (BI) kritérium, amit az alábbi összefüggéssel definiáltak:

$$BI = 100 \left(\frac{MZ}{RC} - 1 \right), \quad (1)$$

ahol

MZ az 500 hPa-os nyomási szint maximális magassága egy gerinc belsejében,

RC adott szélesség mentén a maximális 500 hPa-os magasság és a gerinc környezetében lévő két teknőben mért minimális 500 hPa-os magasság számtani közepe, azaz

$$RC = \frac{1}{2} \left(\frac{Z_{up} + MZ}{2} + \frac{Z_{down} + MZ}{2} \right), \quad (2)$$

ahol

Z_{up} a gerinc keleti oldalán lévő teknő legalacsonyabb geopotenciálja az 500 hPa-on,

Z_{down} a gerinc nyugati oldalán lévő teknő legalacsonyabb geopotenciálja az 500 hPa-on.

Ha az északi hemiszférán $BI < 2,0$, akkor gyenge; ha $2,0 \leq BI < 3,6$, akkor mérsékelt; ha $BI \geq 3,6$, akkor erős blocking tevékenységről beszélhetünk. Ez a számszerűsítés leginkább a légköri hosszúhullámok következtében kialakuló blokkoló anticiklonok esetén alkalmazható. Mivel a téli félévben a rétegvastagság nagyon jó közelítéssel arányos a réteg átlaghőmérsékletével, és télen nemcsak alsó légköri tartományokban, hanem a magasabb szinteken is nagyobbak a hőmérséklet-különbségek, ennek következtében pedig a geopotenciál-mező is nagyobb magasságkülönbségeket mutat, azaz a légkör is hajlamosabb blockingra.

A korábban már idézett irodalmi forrásokból is látszik, hogy a blockingra vonatkozó szakirodalom elsősorban a hosszúhullámú blokkoló anticiklonokra vonatkozik. Mivel az atmoszféránkban ciklonokon és anticiklonokon kívül más nyomási képződmény nem definiálható, ezért a blokkoló anticiklonokhoz ciklontevékenységnek is társulnia kell. A szakirodalmi forrásokkal ellentétben a mi vizsgálataink nem erre irányulnak, azonban itt ki kell hangsúlyozni, hogy főképp olyan blocking jelenségekkel foglalkozunk, amelyek elsősorban a rövidhullámú skálán értelmezhetőek, méretük általában nem nagyobb, mint 2000-3000 km, sőt időnként alig haladja meg az 1000 km-t.

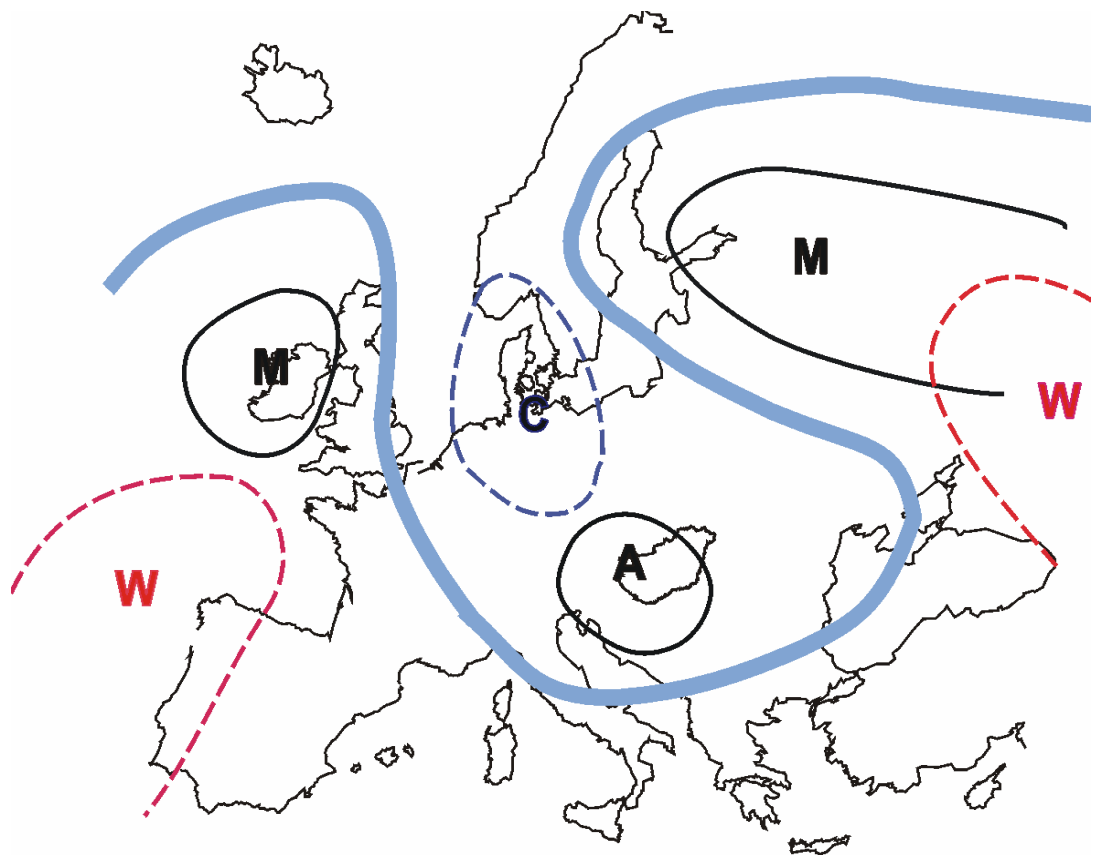
3.1 A BLOCKING TÍPUSOK KIALAKULÁSA ÉS A NAGY CSAPADÉK BEKÖVETKEZÉSÉNEK FELTÉTELEI SZINOPTIKUS SZEMMEL

A Bevezetésben már említettük, hogy a numerikus időjárás-előrejelző modellek mennyiségi csapadék előrejelzése már 4-5 nap után meglehetősen nagy bizonytalansággal terhelt, mind a térbeli, mind az időbeli eloszlást tekintve. Elég, ha csak egy adott modell ensemble-tagjait vizsgáljuk, és máris szembetűnő a különböző clusterok között tapasztalható

eltérés, ami az összes időjárási elem közül a csapadékra a legnagyobb. Ezért most a jelen leírás során olyan módszertant alkalmazunk, amivel a Kárpát-medence térségében középtávon adott időjárási helyzetben javítható a mennyiségi csapadék-előrejelzés. A módszer lényege, hogy a csapadék helyett más paramétert tekintünk (jelen esetben: az előrejelzett geopotenciálmezőt), amelyben az idő előrehaladtával kisebb bizonytalanság mutatkozik, mint csapadék esetében. E dolgozat keretei között csak a blocking szituációkra fókuszálva, megadva azokat a tipikus geopotenciálmezőket (sematikus ábrákon), amikor nagy csapadék alakulhatott ki országunkban.

Módszertanunkban a már bemutatott blocking tipizálás szerinti sorrendben haladva a legjellemzőbb esetekből kiindulva a különböző nyomási formációk tipikus elhelyezkedését szeretnénk bemutatni, amikor Magyarországon kialakulhatott nagy csapadékot adó helyzet. A módszertan segítségével minden típus esetén sajnos nem lehet megfelelő következtetéseket levonni, de mint látni fogjuk, az ómega-helyzetre és Rex-típus tekintetében meglehetősen jól alkalmazható, mert ezek térbeli elhelyezkedése, struktúrája nem mutat lényeges változást a különböző időjárási helyzetekben. Ugyanakkor a leszakadó alacsonynyomású rendszerek és a kettéhasadó áramlási mezők között nem találni olyan hasonlóságot két ilyen jellegű esemény bekövetkezésekor, mint az előbbieket esetében. Minden megjelenésükkor más és más struktúra jellemzi őket, mind a hullám elhelyezkedését, mind pedig a kiterjedését illetően.

Ómega-helyzetben akkor alakulhat ki nagy csapadék a Kárpát-medencében, ha a formáció délnyugati, vagy délkeleti talpánál, az alacsonynyomású képződmény közelében helyezkedik el hazánk. Ebből következően azt is kijelenthetjük, hogy az említett ciklontól északkeletre, vagy északnyugatra viszonylag stabil anticiklonnak kell elterülnie. A kevesebb felszíni zavaró hatás miatt klasszikus formájú képződmények leginkább akkor fedezhetők fel a magassági térképeken, ha az ómega délkeleti talpa az Adriai-térség, ill. a Kárpát-medence felett látható. Ilyenkor általában a tőlünk nyugatra elhelyezkedő gerinc középvonala az Atlanti-óceán felett, a nyugati hosszúság 10. foka közelében található, talaj közelében kialakuló anticiklon középpontja pedig a Brit-szigetek nyugati részén helyezkedik el. Az anticiklon stabilitását fokozza az a tény, ha minél északabbra terjeszkedik, esetenként akár Izlandtól északabbi területekre is felnyújtózhat. Ilyenkor az ómega délnyugati talpa általában az Atlanti-óceán középső medencéjében, elnyúltabb esetben annak keleti részén helyezkedik el. A délkeleti szektorban mediterrán ciklon hatására alakul ki jelentős mennyiségű csapadék, általában a Kárpát-medence a ciklon meleg szektorában található.



6. ábra

A nagy csapadékot adó, kétféle ómega-típus szemléltetése egy sematikus ábrán. A megvastagított világoskék vonal az 500 hPa-os potenciálhullámot, a szaggatott vonalak a hőmérsékleti hullámot, a folytonos fekete vonalak a talajközeli nyomásképződmények tipikus helyét jelölik.

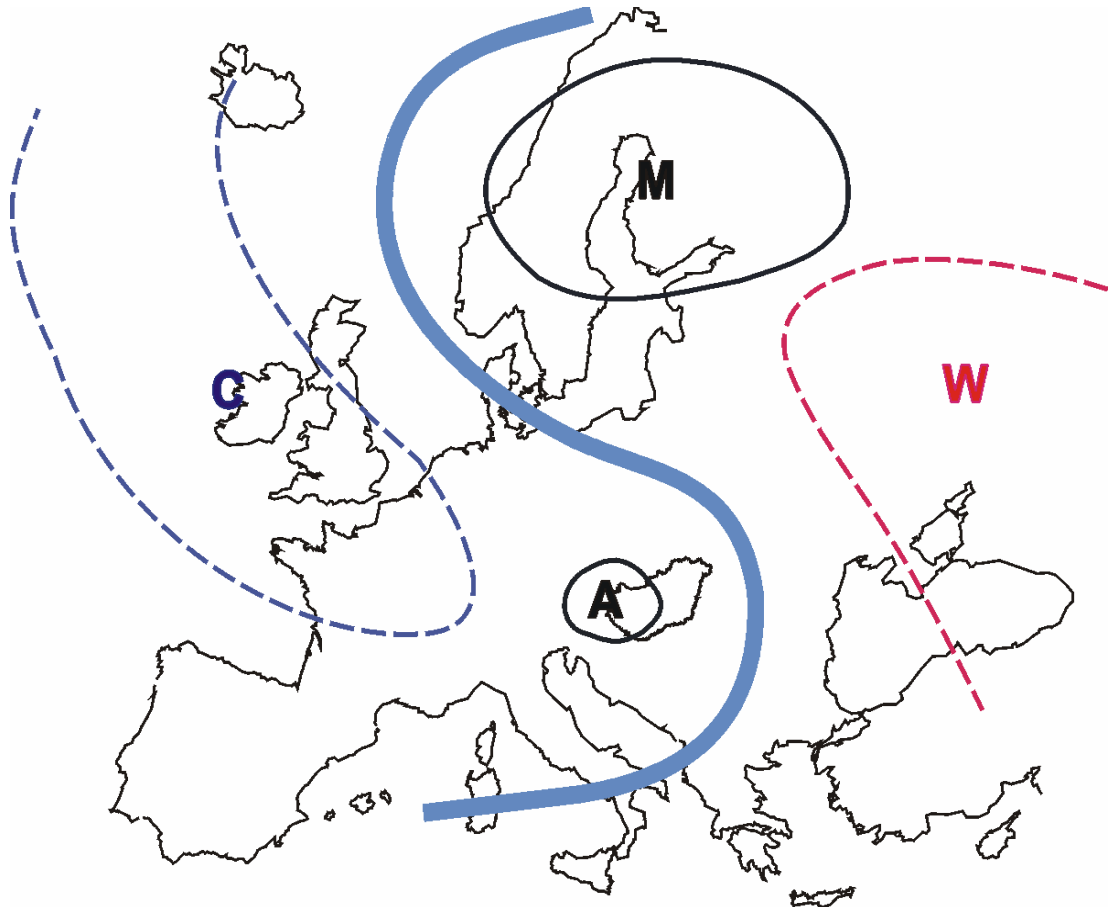
A másik esetben, amikor tőlünk északkeletre kerül el az anticiklon, az már kevésbé egyértelmű. Ennek oka, hogy a felszíni viszonyok már dominánsabb hatást gyakorolnak a nyomási képződményekre, elég ha csak a téli félév termikus kelet-európai anticiklonjaira gondolunk. Ha az ómega-formáció délnyugati végén található a Kárpátok térsége, akkor az anticiklon leginkább messze Északkelet-Európában, ill. Nyugat-Ázsiában helyezkedik el, és zónális kiterjedése általában nagyobb, mint a nyugati társainak, akár Szibéria középső részéig is elnyúlhat a 60. szélességi fok körül, 1040-1050 hPa-os maggal. Ennek keleti végén a lenyúló teknőben a szárazföldi viszonyok között kisebb méretű a ciklogenezis, mint az

európai részekén. Klasszikus Ω forma is alig fedezhető fel, általában torzult formában mutatkozik.

Összefoglalva ezt a két esetet azt mondhatjuk, hogy a Kárpát-medence térségében nagy csapadék akkor valószínűsíthető ómega-helyzetben, ha vagy a Brit-szigetek térségében, vagy Északkelet-Európában található markáns anticiklonális mező, aminek peremén az 500 hPa-os izohipsza mezőben jól analizálható teknő nyúlik le Közép-Európa fölé, déli peremén pedig mediterrán ciklon alakul ki. Leggyakrabban novemberben fordul elő.

Az összes blocking típus közül az egyik legkönnyebben felismerhető a Rex-típusú. Ennek oka, hogy az izohipszák speciális, S vagy fordított S alakot vesznek fel, annak függvényében, hogy a kontinens belseje fölé északnyugat, vagy északkelet felől nyúlik be egy teknő. Gyakoribb eset az északnyugati, de ha északkelet felől terjeszkedik Közép-Európa irányába a magaslégköri teknő, általában sokkal jobban kirajzolódik az S-formáció. Ilyen esetben az 500 hPa-os mezőben a két nyomási képződmény egymásba csavarodása idézi elő a blokkolást, ennek következtében a talaj közelében a szinoptikus képződmények jól meghatározott struktúrát vesznek fel. Északabbra mindig anticiklonális struktúra (ami főként szubtrópusi eredetű, pl. az azori térségből terjeszkedik északra), míg a délebbi területeken ciklonális mező a jellemző. Az esetek döntő többségében a ciklonális szektorban jól kifejezett mediterrán ciklon képződik, ami ha Magyarország fölé helyeződik, akkor kiadós csapadékot ad. A ciklontól északra, ugyanabban az időben a Skandináv-félsziget felett stabil anticiklon alakul ki, ami különösen a téli félévben akár 1040 hPa feletti középponti nyomással rendelkezik. Ez az anticiklon döntően a 60. szélességi kör körül terül el, de akár a 80. fok fölé is felnyúlhat a Jeges-tenger irányába. A magassági anticiklon középvonala délnyugat-északkelet irányú, ha az azori térség felől nyúlik be, ill. délkelet-északnyugati középvonalú, ha a Kaszpi-tenger irányából terjeszkedik ki. Legstabilabb eset akkor fordul elő, ha mind az 500 hPa-os főizobárszinten, mind a talaj közelében az anticiklon középvonala közelítőleg nyugat-keleti irányú, ami még azt a feltételezést magával vonja, hogy ez az anticiklon leszakadhat, és sajátos fejlődési utat jár be, míg végül disszipálódik.

A fenti két típus közös jellemzője, hogy a nagy csapadék kialakításában fontos szerep jut a tőlünk északra elterülő anticiklonoknak. Három fő elhelyezkedési területük a Brit-szigetek nyugati térsége, Skandinávia középső területei, valamint a Kelet-európai-síkság északkeleti része.

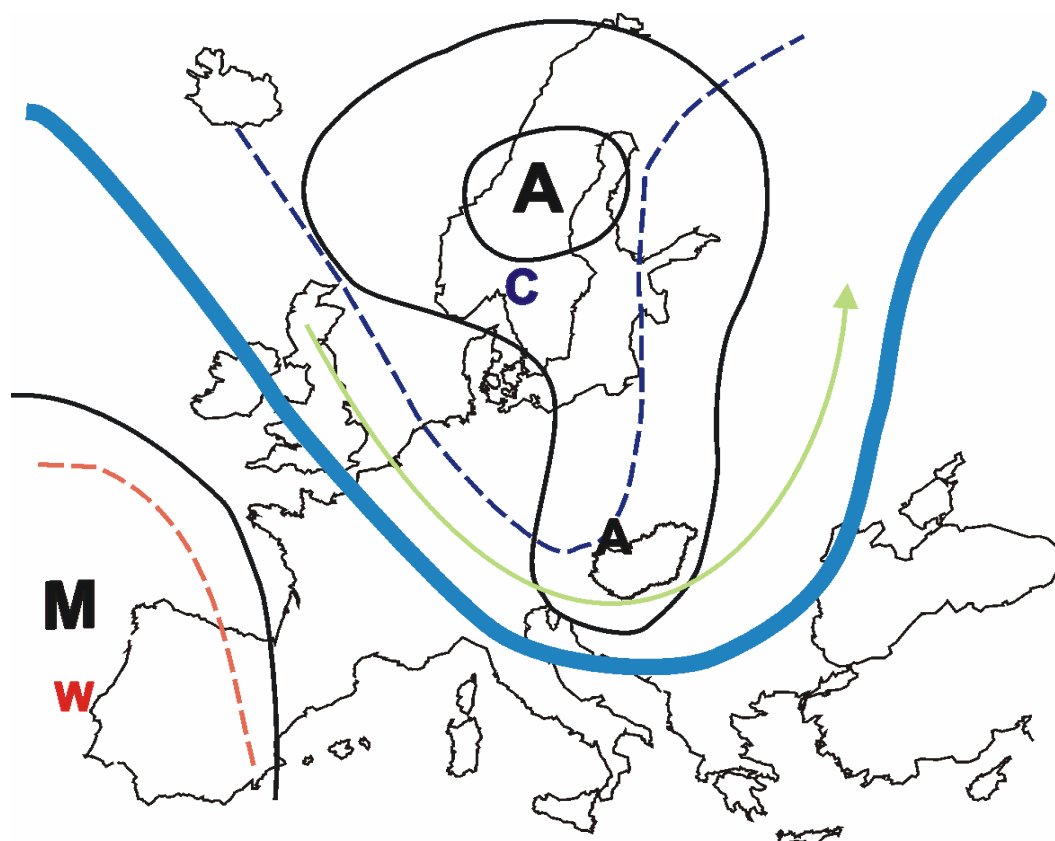


7. ábra

A Kárpát-medencében nagy csapadékokat okozó Rex-típusú blocking szemléltetése egy sematikus ábrán. A megvastagított világoskék vonal az 500 hPa-os potenciálhullámot, a szaggatott vonalak a hőmérsékleti hullámokat, a folytonos fekete vonalak a talajközeli nyomásképződmények tipikus helyét jelölik.

A leggyakoribb típus, ami nálunk nagy csapadékokat vált ki, a kettéhasadó áramlási mező. Ilyenkor a magasabb légköri rétegekben a Rossby-hullám gyorsan kimélyül Közép-Európa irányába, majd mozgása lelassul, és az alacsonynyomású szinoptikus rendszerek az Alpok térségében ragadnak, vagy az északnyugati áramlások következtében egy már meglévő anyaciklon peremén alpi ciklogenezis zajlik le, ami Magyarország irányába mozdul el az Vb ciklonpályán. A téli félévben a hullámok átmérője lényegesen nagyobb, akár 20-30 hosszúsági fokot is meghaladhatja. Ilyenkor szinte teljes Észak-Európát ciklonális mező jellemzi, melyeknek középponti nyomása néha 980 hPa alá esik, az 500 hPa geopotenciálja

pedig akár 5000 gpm alá csökken. Magyarország térségét a fokozatosan délebbre húzódó teknő frontrendszeri érik el, nagyobb csapadékot leginkább egy kialakuló peremciklon vált ki. Nyáron ezek a hullámok lényegesen kisebb kiterjedésűek, és ha el is érik a Kárpát-medencét, akkor gyenge hidegfronttal és a magassági hidegadvekciónhoz kapcsolható labilitást okoznak, hevesebb záporokkal, zivatarokkal.



8. ábra

Főként a téli félévre jellemzően a Kárpát-medencében nagy csapadékot okozó kettéhasadó áramlási mező szemléltetése egy sematikus ábrán. A megvastagított világoskék vonal az 500 hPa-os potenciálhullámot, a szaggatott vonalak a hőmérsékleti hullámokat, a folytonos fekete vonalak a talajközeli nyomásképződményeket, a zöld nyíl a jet stream tipikus helyét jelölik.

Szintén a nyári félévre jellemzők a leszakadó alacsonynyomású rendszerek. Mivel nyáron kevésbé intenzívek a szinoptikus skálájú folyamatok, ezért több esetben, európai méretű térképeken a hagyományos 5 hPa-os izobárvonal alkalmazásával ki sem mutathatók a talajtérképeken ezek a rendszerek, csak a magasabb szinteken. Egy-egy ilyen rendszerrel néhány fokos hidegadvekción indul meg a magasban, ami erőteljesen labilizáló hatású, így ha a légkörben elegendő nedvesség van, kifejezetten fejlett konvektív rendszerek (VMKR, MKR) is kialakulhatnak, jelentős csapadékhullás kíséretében. Ezek általában véletlenszerűen fűződnek le egy-egy nagyobb skálájú hullámról, kiterjedésük általában 1000 km alatt marad. Ha a Földközi-tenger medencéjének meleg tengervize fölé eljut, és az Alpok lee oldalán gyenge ciklogenezis is lezajlik, kivételesen sok csapadékot eredményezhet pusztán a kialakuló erőteljes konvektív folyamatoknak köszönhetően, mint ahogy arra jó példa 2005. augusztusa Magyarországon.

4. AZ ADATBÁZIS

Munkánk során az elmúlt harminc év (1976-2005) nagy csapadékot adó helyzeteit vizsgáltuk meg a blocking képződmények és a földközi-tengeri ciklonok függvényében. Részletes statisztikát készítettünk ezek gyakoriságáról, éves változékonyságukról (ötéves periódusokra bontva), esettanulmányokon keresztül szinoptikusi leírást adtunk néhány példán keresztül.

Az elemzéshez kiindulási adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatbázisából kaptunk. Havi bontásban vizsgáltuk meg az egyes napok csapadék összesítéseit és kiválogattuk belőle a nagy csapadékot adó helyzeteket. Nagy csapadékú helyzet definíciónk szerint az, amikor a magyarországi csapadékmérő állomások legalább $\frac{3}{4}$ részén egymást követő 2 nap alatt átlagban eléri, vagy meghaladja a 10 mm-t a lehullott csapadék mennyisége. A vizsgálataink során azért dolgoztunk a kétnapos időlépcsővel, mert gyakorta előfordult olyan helyzet, amikor egy csapadékrendszer 24 órán túl is a Kárpát-medence fölött tartózkodott. Ráadásul a hagyományos módon mért napi csapadékösszegek a reggel 7 órától a másnap reggel 7 óráig tartó időszakra vonatkoznak, így a napos bontást alkalmazva sok olyan helyzet kiesett volna látókörünkől, amikor a csapadéktevékenység tovább tart a hagyományos napi csapadék észlelési idejénél, ugyanakkor mégis jelentős mennyiség hullott az országra.

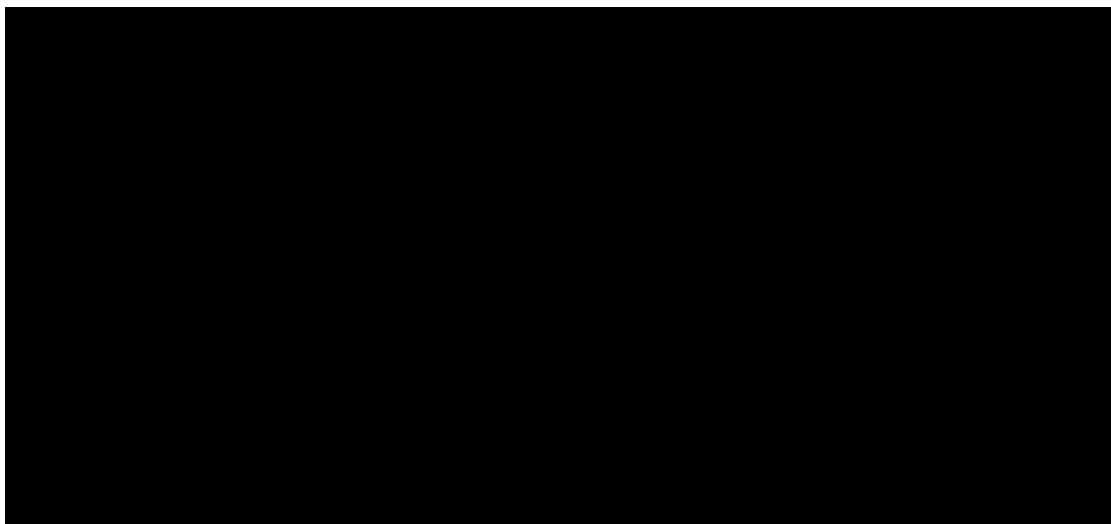
Ezen időjárási események dátumait összegyűjtöttük, és egyesével megvizsgáltuk, hogy mi lehetett a nagy csapadék kiváltó oka. Feltételezéseink szerint a legtöbb eset olyan helyzetben fordul elő, amikor a Földközi-, vagy az Adriai-tenger térségében ciklogenezis zajlik le, és ezek a ciklonok mozgásuk során a Kárpát-medencére is hatással vannak. A nagy csapadék kialakulásának valószínűségét növeli az a tény, ha ezek az alacsonynyomású rendszerek blocking eseménnyel társulnak. A mediterrán ciklonok beazonosításához az OMSZ által kiadott „Időjárási napijelentés” c. kiadványt használtuk fel. Mivel a közepes földrajzi szélességek ciklonjainak átlagos élettartama 6 nap, ezért feltételeztük, hogy az

egymást követő napok 00 UTC-s európai szinoptikus helyzetét ábrázoló térképeken a két időpont között nem keletkezhetett és disszipálódhatott egy ciklon sem, így a beazonosításukhoz elegendő 24 óránként vizsgálni a szinoptikus térképeket, a közbeeső időpontok térképei nem szolgáltatnak új információt.

A blocking események tipizálásához az Amerikai Egyesült Államok Országos Környezettudományi Előrejelző Központja (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) és az Országos Légkörtudományi Kutatóközpont (National Center for Atmospheric Research, NCAR) által készített, és a számítógépes világhálón hozzáférhető magaslégköri térképeit használtuk a 850 és az 500 hPa-os főizobárszintekre vonatkozólag. A térképeket a mezők újbóli korrekciójával, reanalízisével tesszük közzé, ami az eredeti mérési adatok simítását, szűrését jelenti az NCEP numerikus modellje segítségével.

5. A 10 MM-T MEGHALADÓ CSAPADÉKMENNYISÉG KLIMATOLÓGIÁJA MAGYARORSZÁGON

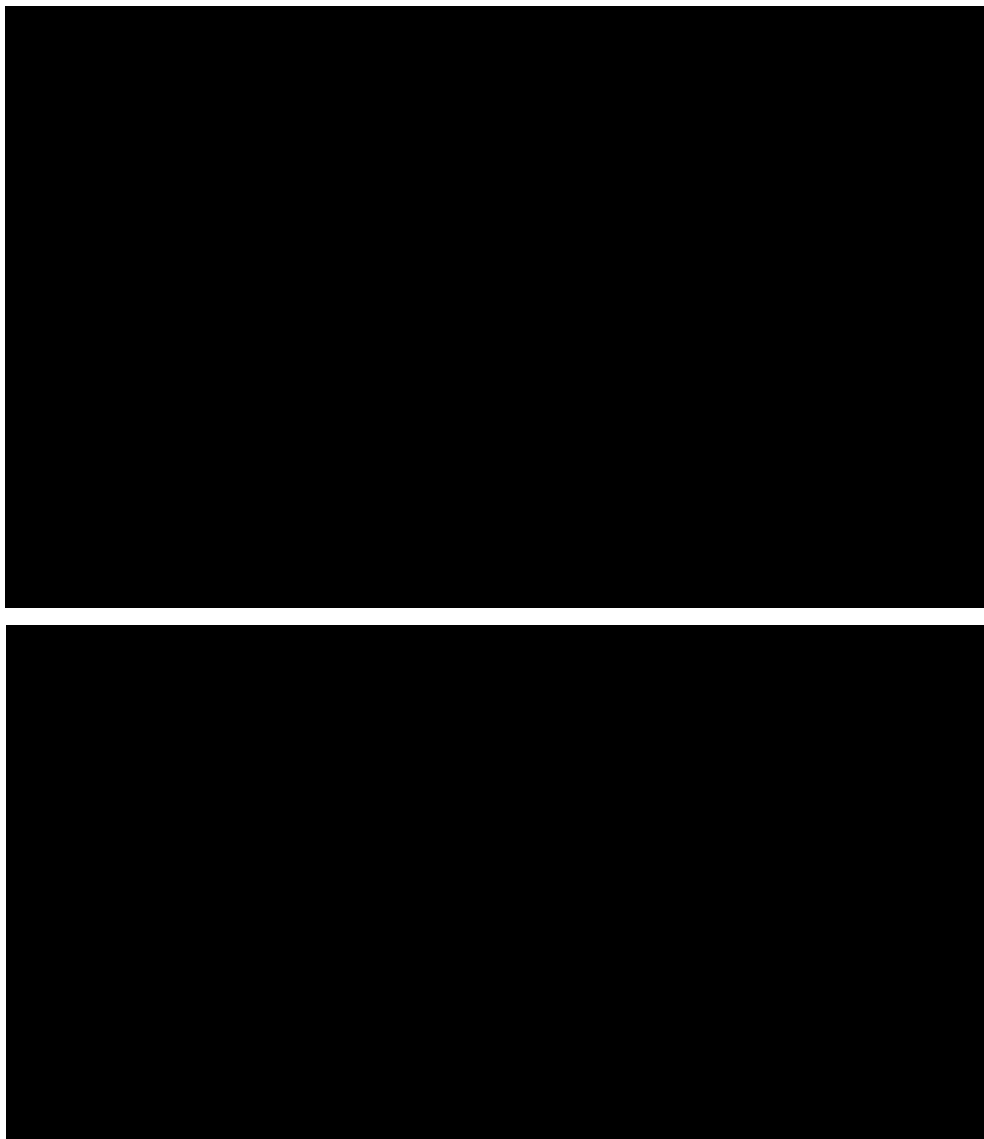
A nagy csapadékot adó helyzetek vizsgálatánál kezdő lépésként az éves csapadékösszegeket vizsgáltuk meg. Az 1961-90-es bázisidőszak, vagyis az ún. harmadik éghajlati normaidőszak csapadékatlaga az OMSZ adatai szerint 612 mm. Az általunk vizsgált időszak első öt évében az éves csapadékösszegek tekintetében a bázisidőszakhoz képest teljesen átlagos csapadékot eredményezett, sőt az egyes évek szórása csekélynek mondható az éghajlati normához képest. Ezzel ellentétben az 1980-as években szárazodás figyelhető meg, két-három átlagos csapadékú év mellett a többi lényegesen szárazabbnak adódott, mint az átlag. A csapadékmennyiség éves mélypontja az 1986-90-es időszakra esett, ekkor mintegy 60



9. ábra

*Az országos éves csapadékösszeg 1976-tól napjainkig
(A narancssárga vízszintes vonalak az ötéves átlagot mutatják.)*

mm-rel kevesebb csapadék hullott le, mint a harmincéves átlag. Ha figyelembe vesszük azt is, hogy ezek az évek beletartoznak a harmadik éghajlati normaidőszakba, akkor könnyen belátható, hogy az 1960-as évekhez képest mintegy 15-20 %-kal kevesebb csapadékot jegyeztek fel országszerte.



10. ábra

*A nagy csapadékot adó helyzetek (fent) és az extrém csapadékot adó helyzetek (lent) számának alakulása 1976-2005 között
(A piros és narancssárga vízszintes vonalak az ötéves átlagokat jelölik.)*

Az 1990-es évek újra nedvesebbé váltak, különösen annak második fele, amikor újra átlag feletti országos csapadékot regisztráltak, sőt egy-egy évben (pl. 1999-ben) az évszázad egyik legnedvesebb évét rögzítette a hazai meteorológiai szolgálat. Az 1990-es évektől kezdve a nedvesedés mellett megfigyelhető az egyes évek közötti szórás megnövekedése, amit jól tükröz az is, hogy a XX. század vége a rendkívüli szárazságot hozó 2000-es évvel búcsúzott. 2001-2005 között átlagos csapadékú éveket regisztráltak, de az egyes évek közötti szórás kiemelkedően nagy a 2002-ben és 2003-ban mért meglehetősen kevés csapadék miatt.

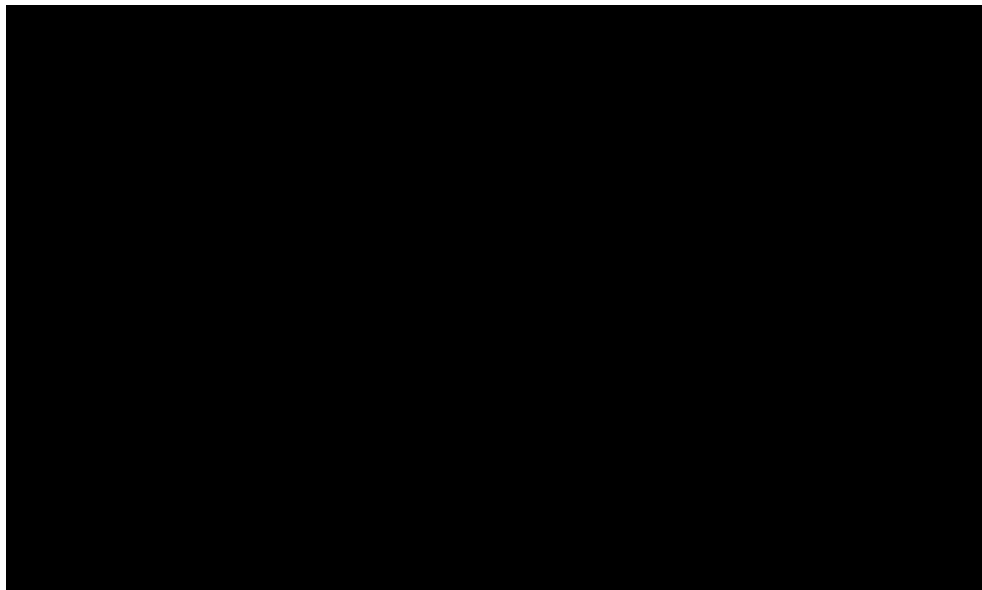
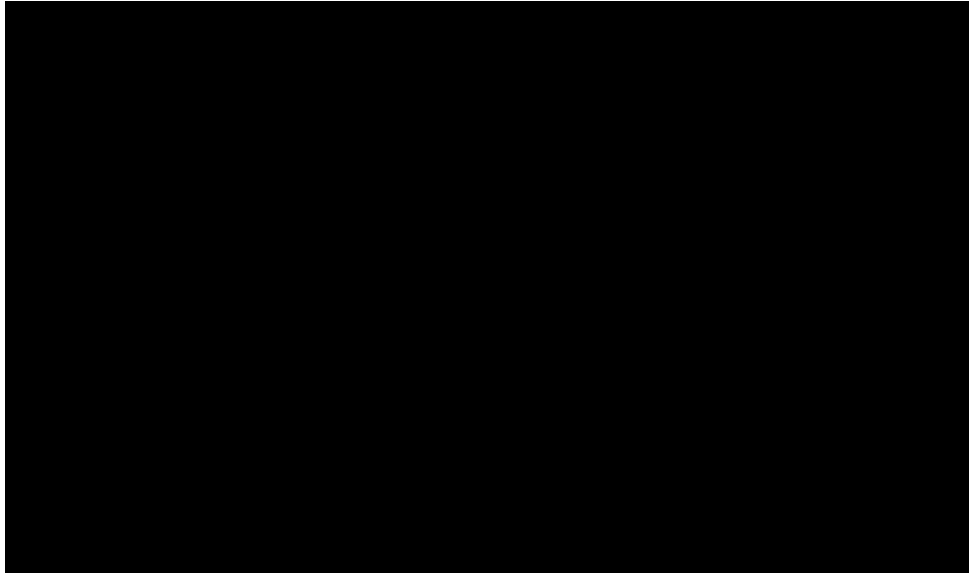
Azt várnánk, hogy az éves csapadékok és egy adott évben feljegyzett nagy csapadékot adó helyzetek száma jól korrelál. Vizsgálataink szerint ez teljesül is, amit jól mutat a *10. ábra*. Azonban ha kiválogatjuk azon eseteket, amikor 20 mm feletti országos átlagcsapadékot regisztráltak a mérőállomások (továbbiakban: extrém csapadékú helyzetek), akkor eltérő képet kapunk. A *9. és 10. ábrán* szembevetendő az, hogy míg a maximumok az 1990-es évek második pentádjában jelentkeztek, addig az extrém csapadékú helyzetek számában 2001-2005 közötti időszakban mutatkoznak a legnagyobb értékek. Messzemenő következtetéseket ebből nem vonhatunk le, mivel kis számokról van szó, és egyes évek kiugrása nagyon elviszi az ötéves átlagot egy adott irányba, mint ahogy az történt ebben az esetben is. 2005-ben az extrém csapadékú helyzetek esetszámát tekintve olyan kiugrás volt tapasztalható, amihez hasonló nem is látható az adatsorunkban. Mindenesetre az mégis szembevetendő, hogy míg 1976-80 közötti átlagos csapadékú periódust vizsgáljuk, valamint a közelítőleg átlagot kiadó szélsőségesebb 2001-2005 közötti időszakot, akkor 2005-ös évet nem tekintve is legalább évente 4,5 extrém csapadékú eset fordult elő, szemben a korábbi hárommal.

6. A JELENTŐS CSAPADÉKMENNYISÉG ELŐFORDULÁSÁNAK LEHETSÉGES ÁLTALÁNOS CIRKULÁCIÓS OKAI

Vizsgáljuk meg a nagy csapadékot adó helyzeteket és azok kiváltó okait! Feltételezéseink szerint az Vb pályán mozgó mediterrán ciklonok nagy nedvességtartalommal érkeznek a Kárpát-medence fölé, így sokszor adottak a feltételek a nagy csapadék kialakulásához. Ha megnézzük az egyes években a mediterrán ciklonokhoz kapcsolható nagy csapadékot adó helyzeteket, akkor kimutatásaink szerint 60%-nál alacsonyabb érték nem is fordult elő a harminc év során. Ugyanakkor több ízben az is megfigyelhető, hogy adott évben a nagy csapadékú időjárási helyzetek teljes egészében mediterrán ciklontevékenységgel is kapcsolhatók. Évente a definícióinkban alkalmazott csapadékkritériumnak átlagosan 14 eset felelt meg, amelyek közül közel 13 kapcsolható volt mediterrán ciklontevékenységgel. Ha az abszolút számokat tekintjük, akkor az éves csapadék menetéhez teljesen hasonlóan a mélypontot az 1980-as években tapasztalhatjuk, míg a maximumot a XX. század utolsó öt évében (ld. 11. és 12. ábra).

Blocking eseményhez ritkábban kapcsolható nagy mennyiségű csapadék megjelenése, mint a mediterrán ciklonhoz, de számuk még így is jelentősnek mondható, hiszen éves átlagban 10 esetben előfordult. Azonban itt sietve meg kell jegyeznünk, hogy mivel a blocking komplex jelenségkör a földi atmoszférában, így nemcsak nedvesebb periódusok kialakításában van szerepe a mérsékelt övezetben, hanem a szárazságok, és a hosszantartó aszályok előidézőjeként is ismerhetjük. Vizsgálataink során a blocking előfordulásának azon eseteit tekintettük, amikor az alacsonynyomású légköri képződmények a Kárpát-medence térségében rekedtek meg. Adataink azt bizonyítják, hogy a 80-as évek szárazabb időszakában markánsabban kevesebb blocking esemény mellett alakult ki nagy csapadék, mint mediterrán ciklonok mellett, ráadásul az ötéves átlagok tekintetében a maximum helyben eltolódás figyelhető meg a 2000 utáni időszakra (ld. 11. és 12. ábra).

Ha a fent említett két jelenség egyidejű felbukkanását vizsgáljuk meg a nagy csapadékot adó helyzetek függvényében, akkor szembeötlő a hasonlóság a 12. ábrán, ami arra utal, hogy leginkább a blocking események száma határozza meg az egyidejű fellépést.



11. ábra

A mediterrán ciklonok (fent) és a blocking (lent) előfordulásának évenkénti száma a nagy csapadékot adó helyzetek idején

(A vízszintes narancssárga vonalak az ötéves átlagokat jelölik.)



12. ábra

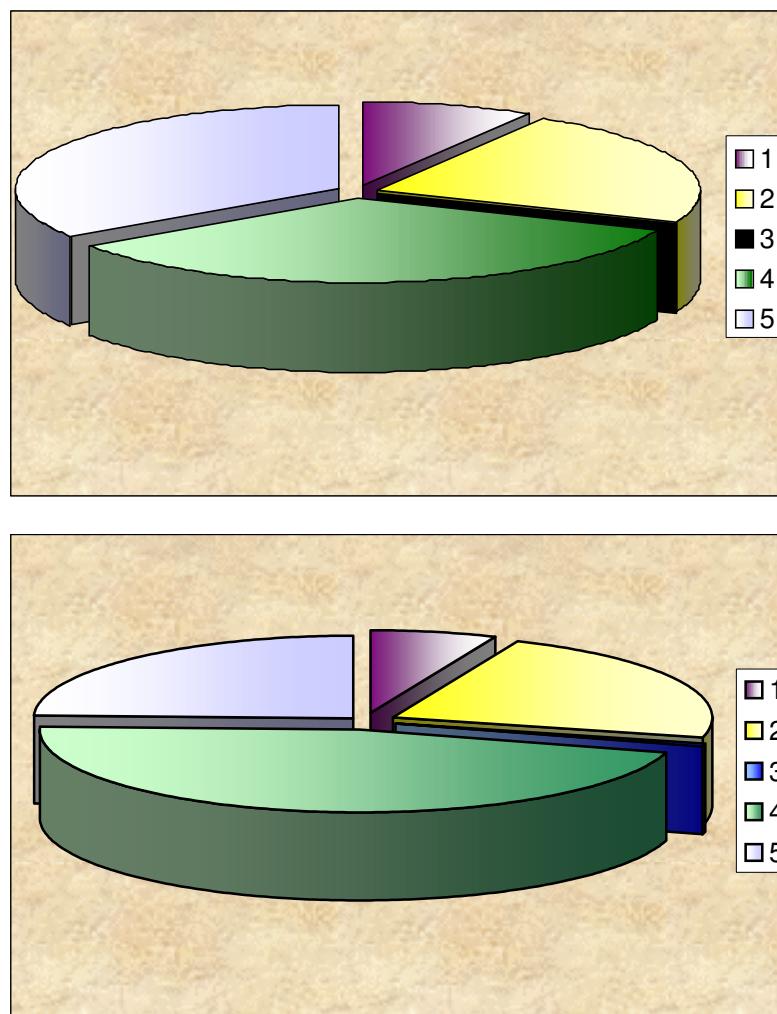
A mediterrán ciklonok és a blocking együttes előfordulásának évenkénti száma a nagy csapadékot adó helyzetek idején

(A vízszintes narancssárga vonalak az ötéves átlagokat jelölik)

A 3. pontban említett blocking tipizálást elvégeztük minden blocking eseménnyel kapcsolatos nagy csapadékot adó helyzetre is. Kiderült, hogy a 10 mm-t meghaladó csapadékot elsősorban a Rex-típusú (2.), a kettéhasadó áramlási mező (4.) és a leszakadó alacsonynyomású rendszer (5.) esetekben várhatunk, de elvétve előfordult ómega-típusnál (1.) is. „Tűzgyűrű” (3.) esetén annyira minimális számban fordult elő ilyen nagy csapadék, hogy teljes mértékben elhanyagolhatjuk. Az adatsorban fellelhető két eset is a déli blokkoló anticiklon peremén kialakult hevesebb zivataroknak tulajdonítható. Legnagyobb arányban a 4. típusú blocking jelenlétekor alakult ki nagy csapadék Magyarországon, az összes eset csaknem felét ez tette ki, míg az 5. típusú is közel a negyedét (ld. 13. ábra). Ha az extrém csapadékú helyzeteket vizsgáljuk, akkor némileg változnak az arányok, ugyanis a leszakadó alacsonynyomású rendszerek lényegesen nagyobb százalékban okozták ezeket az eseményeket a kettéhasadó áramlási mezők rovására. A kettő együttes részaránya így is közelítőleg 70%. Továbbá csekély növekedés megfigyelhető a Rex-típus és az ómega-helyzet

esetében is, amiből arra lehet következtetni (ismerve a szinoptikus feltételeket), hogy az extrém csapadékok döntően mediterrán ciklonok átvonulásához kapcsolhatók hazánkban.

A harmincéves statisztikából a legutóbbi 20 évet részletesebben is megvizsgáltuk. Két tízéves periódusra bontottuk fel az adatsorunkat, és hasonlítottuk össze részletesebben a fent már említett szempontok szerint. De miért is vizsgáltuk éppen ezt a két dekádot? Ennek elsődleges oka az, hogy a csapadékellátottság tekintetében mintegy 10%-os különbség tapasztalható 1986-95 és 1996-2005 között.



13. ábra

Az egyes blocking típusok részaránya a nagy csapadékot adó helyzetekben (lent), valamint az extrém csapadékot adó helyzetekben (fent).

I. táblázat

Az éves csapadékmennyiség, a nagy csapadékkal járó esetek, földközi-tengeri ciklonok és blocking események előfordulásának száma, továbbá ciklon és blocking együttes előfordulásának száma 1986 és 1995 között

Év	Éves csapadék- összeg (mm)	Nagy csapa- dékkal járó esetek (db)	Földközi- tengeri ciklonok (db)	Blocking előfordulása (db)	A kettő együtt (db)
1986	492	10	6	6	4
1987	645	17	14	10	9
1988	558	12	12	5	5
1989	566	14	11	7	6
1990	503	12	9	5	4
1991	626	16	15	11	11
1992	487	14	12	9	8
1993	537	13	11	7	6
1994	539	10	9	5	4
1995	692	18	16	12	11
Átlag	564,5	13,6	11,5	7,7	6,8

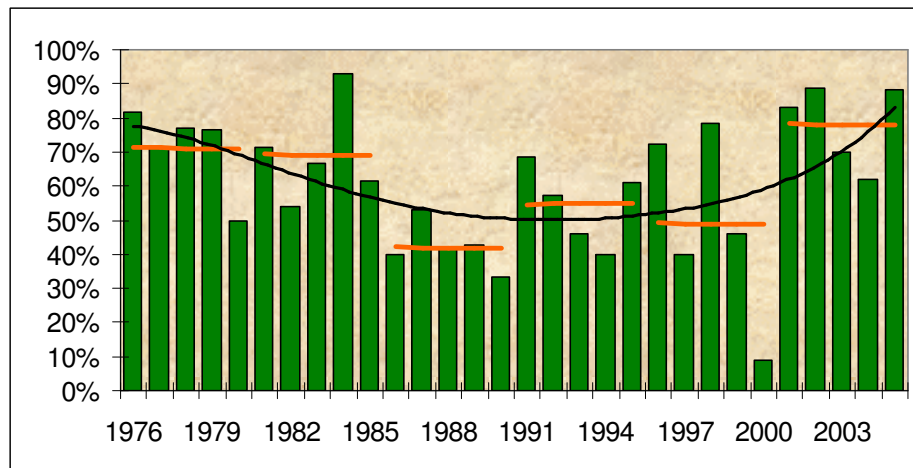
Hogyan mutatkozott meg ez a különbség a nagy csapadékot adó helyzetek kiváltó okaiban? A 10 %-os csapadéknövekmény a nagy csapadékot adó helyzetek számában mintegy 18 %-os emelkedést eredményezett: az első dekádban éves átlagban közel 14 jelentős csapadékhullással járó esetet lehetett megfigyelni éves átlagban, míg a rákövetkező periódusban már 16 fölötti esetszámot regisztráltunk. Ennél még határozottabb emelkedés mutatható ki a mediterrán ciklontevékenység, a blocking, és a kettő együttes előfordulásának esetén. A jelentős csapadékhullással járó földközi-tengeri ciklonok száma közel 25 %-kal, míg a blocking eseményekhez köthető, valamint a két jelenségkör együttes előfordulásával járó komoly csapadékhullások száma több, mint 50%-kal emelkedett (ld. I. és II. táblázat)!

II. táblázat

Az éves csapadékmennyiség, a nagy csapadékkal járó esetek, földközi-tengeri ciklonok és blocking események előfordulásának száma, továbbá ciklon és blocking együttes előfordulásának száma 1996 és 2005 között

Év	Éves csapadék- összeg (mm)	Nagy csapa- dékkal járó esetek (db)	Földközi- tengeri ciklonok (db)	Blocking előfordulása (db)	A kettő együtt (db)
1996	670	18	17	14	13
1997	519	10	10	4	4
1998	731	23	22	19	18
1999	809	24	16	17	11
2000	433	11	9	3	1
2001	609	18	16	16	15
2002	564	9	9	8	8
2003	467	10	10	7	7
2004	687	21	18	14	13
2005	746	17	16	16	15
Átlag	623,5	16,1	14,3	11,8	10,5
<i>Változás (%)</i>	<i>+10,45</i>	<i>+18,38</i>	<i>+24,35</i>	<i>+53,25</i>	<i>+54,41</i>

Ha statisztikánkat újra a teljes időszakra vonatkoztatjuk, további érdekességekre is következtethetünk. Ha együttes részarányát vizsgáljuk a földközi-tengeri ciklonok és a blocking okozta nagy csapadékos helyzeteknek, akkor érdekes a hasonlóság az éves csapadékmennyiségek menetével. A nedvesebb pentádokban a nagy csapadékos helyzeteket nagyobb részarányban adják a mediterrán ciklonok és blocking okozta együttes csapadékhullások. Ennek részben ellentmond a XX. század utolsó pentádja, amikor a vártnál kevesebb együttes esetszám fordult elő. Mindenesetre a harmadik éghajlati normaidőszakban



14. ábra

A mediterrán ciklonok és a blocking együttes előfordulásának évenkénti részaránya a nagy csapadékot adó helyzetekből. A narancssárga vízszintes vonalak az ötéves átlagokat, a sötétbarna vonal a polinomiális trendfüggvényt jelöli

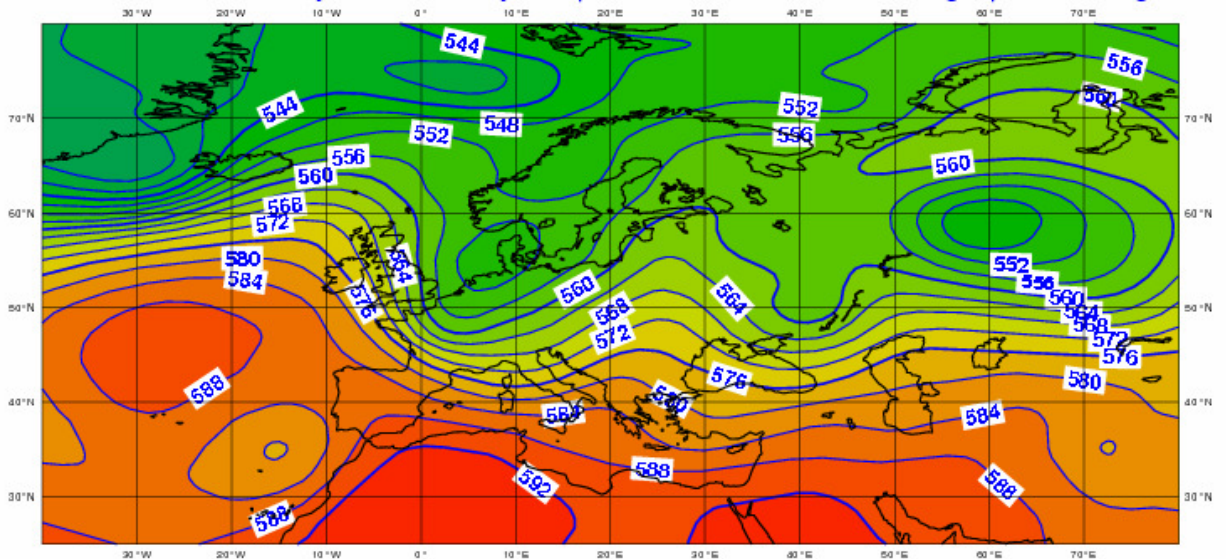
regisztrált átlagos országos csapadékösszeghez legközelebb álló ötéves időszakban (1976-80, és 2001-05) alakult legmagasabban az együttes részarány, ami a 14. ábrán jól látható a polinomiális trendfüggvényből.

7. ESETTANULMÁNY

2001 szeptembere Magyarország számára érdekes időjárást hozott. Egész hónap folyamán ciklonok és a hozzájuk kapcsolódó időjárási frontok vonultak át a térségen. Összesen 4 különálló nagy csapadékot adó időjárási helyzetet tudunk megkülönböztetni, amikor a csapadékmérő állomások legalább $\frac{3}{4}$ részén 10 mm-t meghaladó csapadékátlag hullott. Az egész hónapra vonatkozó részletes szinoptikusi leírást ennek a munkának a keretében nem tudunk közölni, csak a hónap elején kialakult első két ilyen időjárási helyzet részletesebb jellemzésére vállalkozunk 2001. szeptember 4 és 10. között.

Már 2001. szeptember 4-én jól megfigyelhető volt az 500 hPa-os szinten egy fokozatosan dél felé húzódó, mélyülő teknő, amelynek a középvonala az Oslo-Párizs tengelyen húzódott. A teknő előoldalán még minden szinten döntően meleg levegő érkezett Közép-Európa keleti területei fölé. Ugyanakkor a teknő hátoldalán erős északias áramlás alakult ki az Atlanti-óceán felett elterült gerinc és a teknő éles választóvonalán kialakult sűrű izohipszák következtében (ld. 15. és 16. ábra). Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a teknőben a nedvességi mező minden szinten a teknő előoldalán, annak is főként a déli, és a középső, ill. északkeleti melegszeaktorában húzódott.

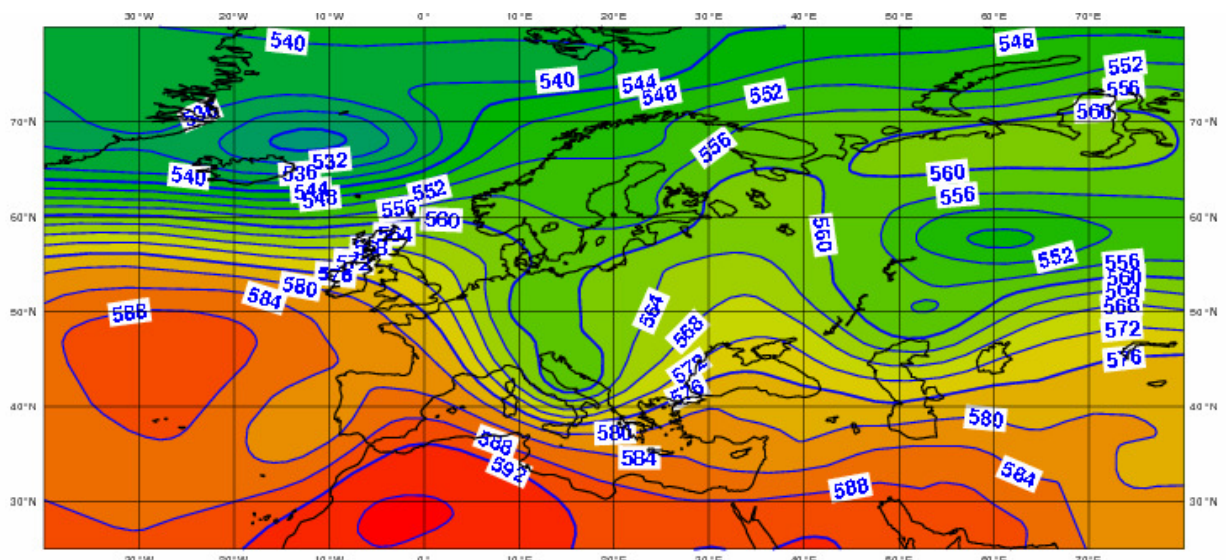
A talajtérképek analízise alapján azt lehet mondani, hogy egy fiatal ciklon kialakulása köthető ehhez a mélyülő teknőhöz, aminek középpontja a Skandináv-félsziget déli része volt. A ciklonhoz kapcsolódó hosszan elnyúló hidegfront már ekkor a Pireneusok vonulatáig ért. Ez a frontálzóna csak nagyon lassan haladt tovább kelet felé, ugyanis az Alpok felett a fronton hullám képződött. Ez a frontális hullám egyenesen generálta a Genovai- öböl térségében a születő mediterrán ciklont. A ciklogenezis folyamatához hozzájárult a különböző szinteken fellépő egyre élesedő hőmérsékleti kontraszt, az 500 hPa-on lokális hideg nyelv alakult ki az Alpok nyugati lejtőin zárt, -22 fokos izotermával. A ciklogenezis folyamatát segítette a teknőn már meglévő nedvességi mező, amihez adalékként az alsóbb szinteken hozzájárult



15. ábra

Az 500 hPa-os mező szerkezete 2001. szeptember 4-én 12 UTC-kor

(Forrás: ECMWF ERA40-adatbázis, megjelenítés: MetView)



16. ábra

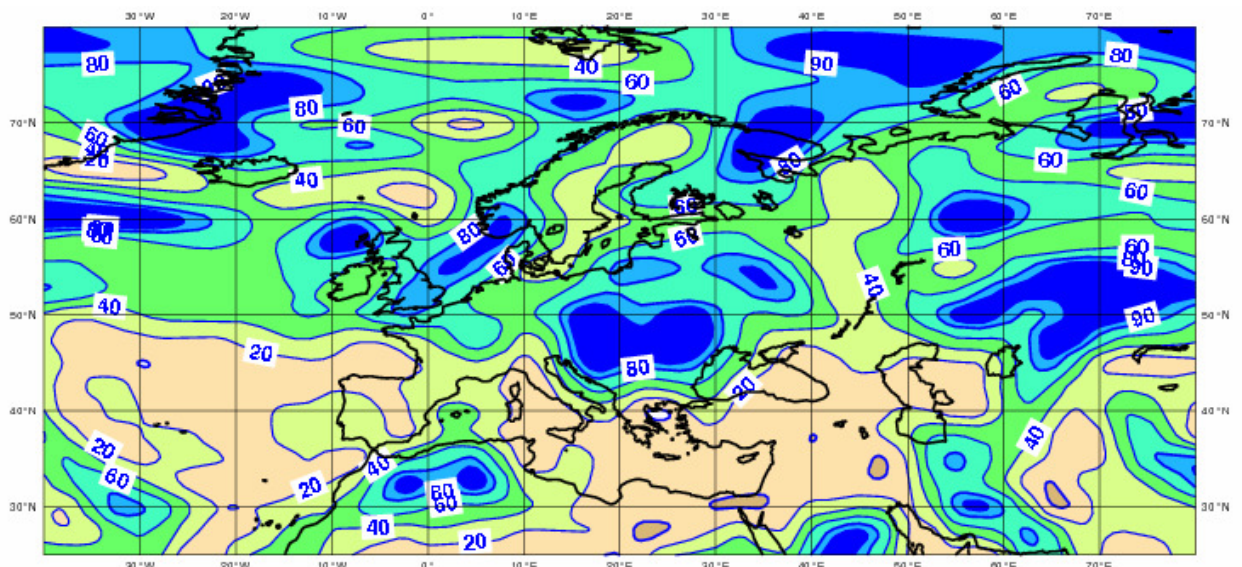
Az 500 hPa-os mező szerkezete 2001. szeptember 5-én 12 UTC-kor

(Forrás: ECMWF ERA40-adatbázis, megjelenítés: MetView)

a Földközi-tenger felől érkező meleg, páradús légtömeg. A hullámzó frontrendszer előtt, a teknő déli, délkeleti előoldalán összpontosuló nedvesség már 4-én délután elérte Magyarországot térségét, és a nyugati határon néhol már 20 mm-t meghaladó csapadékösszeg hullott le 5-én reggelig.

A kialakult hullámzó frontrendszer és a frontális hullámon képződött mediterrán ciklon melegfrontja 5-én délutántól döntően meghatározta Magyarország időjárását. Elsősorban az ország déli, délnyugati területein rendkívül nagy mennyiségű, néhol (főként a Mecsekben) 100 mm-t meghaladó napi csapadékot eredményezett. Ennek oka, hogy a légkör teljes vertikumát a továbbra is nedves levegő töltötte ki, ráadásul a Földközi-tenger térségéből folytatódott a meleg, nedves levegő transzportja. Emellett a teknő hátoldalán a hidegadvékción tovább zajlott, ami a Kárpát-medence nyugati részén megnövelte a hőmérsékleti kontrasztot, amelynek együttes következménye a további ciklogenezis.

A Kárpát-medence teljes területét igen nedves levegő töltötte ki (ld. 17. ábra), még a magasabb légköri rétegekben is, ami a nagy csapadékot valószínűsíti.



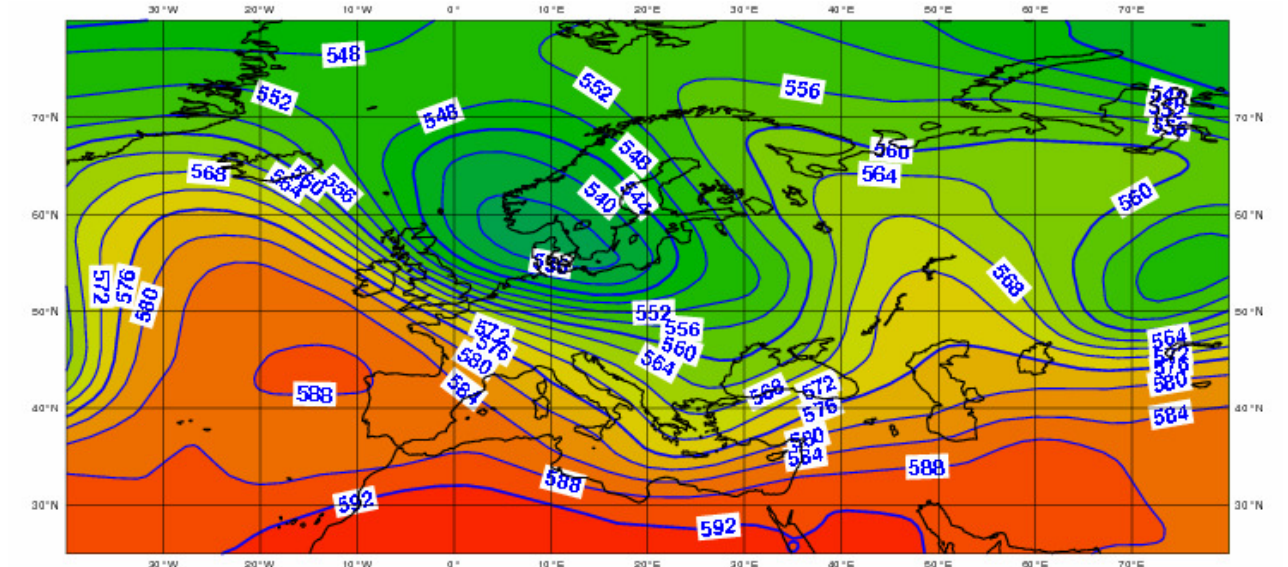
17. ábra

A kifejlett mediterrán ciklon nedvességi mezeje 2001. szeptember 6-án az 500 hPa-os szinten.

(Forrás: ECMWF ERA40-adatbázis, megjelenítés: MetView)

6-án éjjelre a teknő középvonala elérte az Oslo-Budapest-Skopje vonalat, aminek mentén a talaj közelében egy hullámzó frontrendszer húzódott. A frontrendszer déli peremén, a Kárpát-medence keleti része feletti középponttal helyezkedett el egy mediterrán ciklon. A nedvességi mező a mediterrán ciklon északkeletre helyeződése ellenére még 7-én napközben is benyúlt az ország keleti részei fölé.

Átmeneti szünet után, a leszakadó teknő tengelyének keletebbre tolódásával, ennek 8-ától teknő tengelyének dőlésével párhuzamosan annak kiszélesedése és dél felé terjeszkedése figyelhető meg az 500 hPa-on (18. ábra).

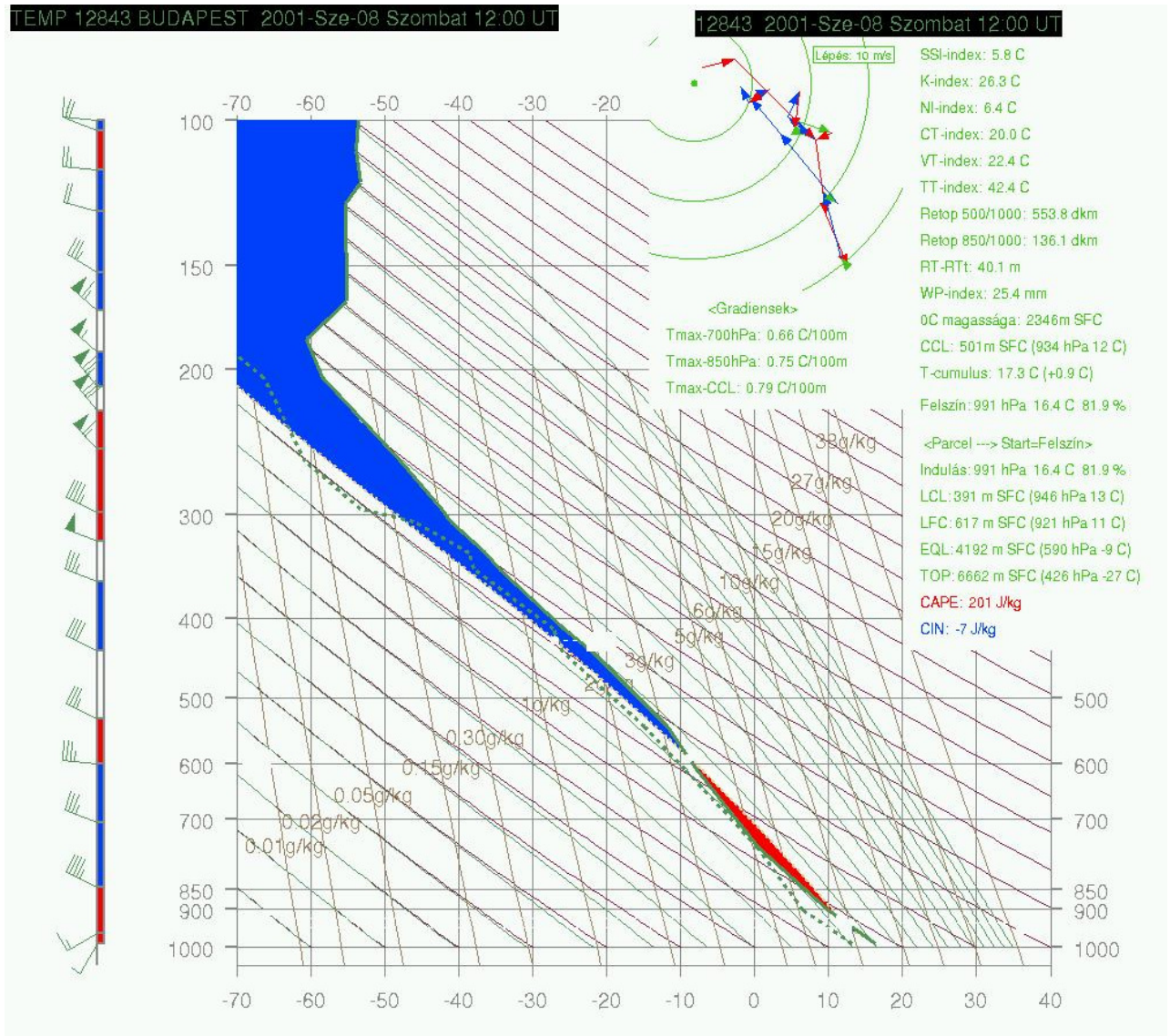


18. ábra

Az 500 hPa-os mező szerkezete 2001. szeptember 8-án 12 UTC-kor
(Forrás: ECMWF ERA40-adatbázis, megjelenítés: MetView)

8-án 12 UTC-re még a kiszélesedő teknő középpontja távol esik hazánktól, mégis a budapesti rádiószondás felszállás alapján jól látható, hogy a troposféra szinte teljes vertikumát meglehetősen nedves levegő töltötte ki (19. ábra).

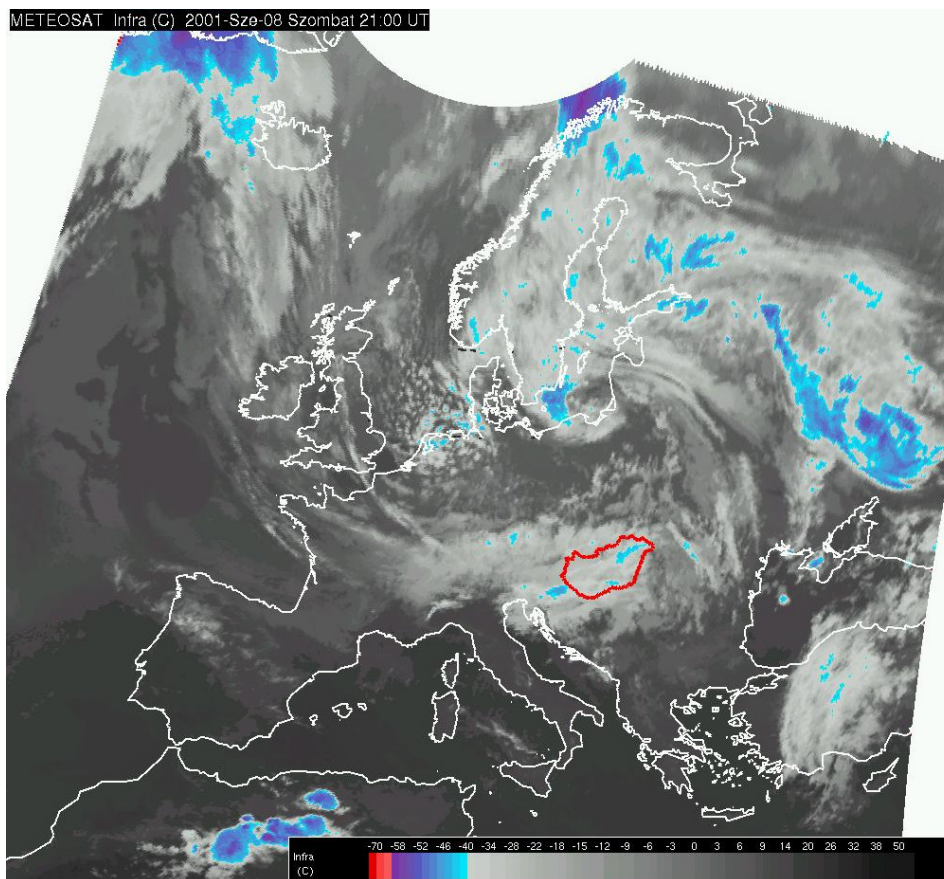
A teknő további déli és nyugati terebélyesedésével párhuzamosan a nedvességi mező szerkezete tipikus képet mutatott: a nagyobb nedvesség a teknő déli oldalán a legerősebb jet áramlási zónájában (Kárpát-medence térségében) ill. annak előoldalán (Kelet-Európa,



19. ábra

A függőleges légállapot analízise emagramon az OMSZ Budapest/Pestszentlőrinci rádiószondás mérései szerint 2001. szeptember 8-án 12 UTC-kor

Skandinávia déli része) összpontosult, ugyanakkor a hátoldalán csak a posztfrentális konvektivitás nyomai (Németország északi területei) láthatóak. Mindez jól szemügyre vehető a Meteosat infra műholdképén 2001. szeptember 8-án 21 UTC-kor (20. ábra).

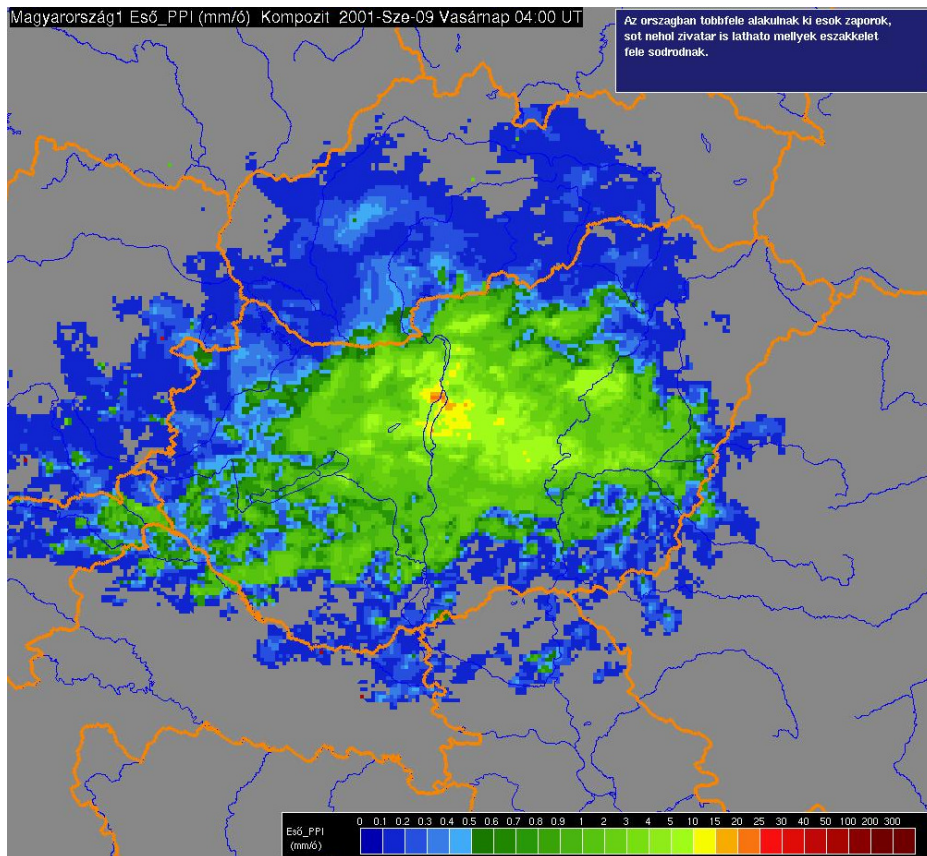


20. ábra

METEOSAT infravörös műholdkép 2001. szeptember 8-án 21:00 UTC-kor

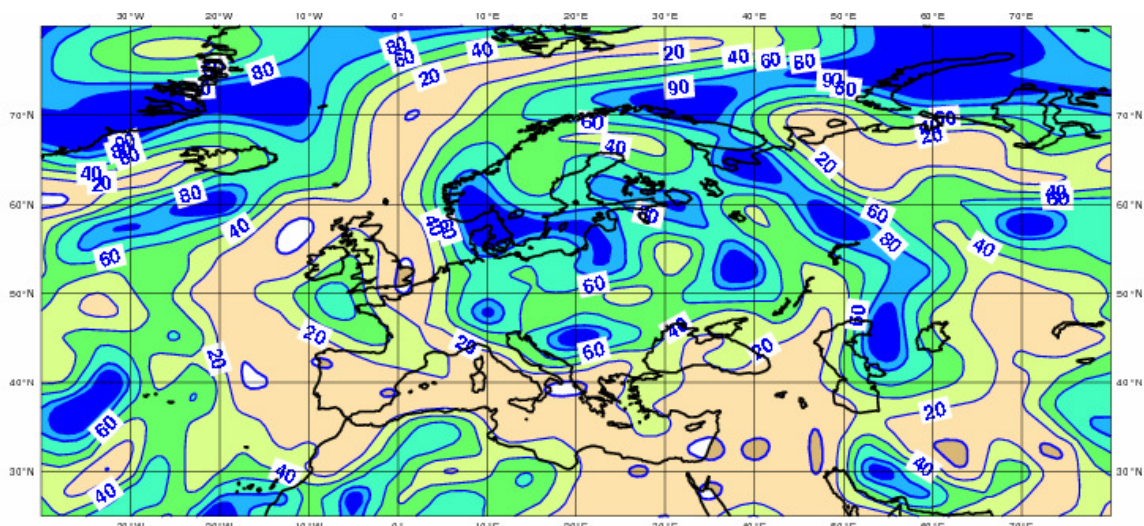
A nedvességi mező és a csapadék súlypontja 9-én éjjelre helyeződött Magyarország fölé. Eleinte a melegszeletorra jellemző konvektív csapadéktevékenység (heves záporok, zivatarok) fordultak elő főként az ország középső részei felett, majd egyre inkább egy elsőfajú hidegfrontra emlékeztető nagytérségű, de intenzív csapadékhullás váltotta fel a závorszerű csapadékot, néhány beágyazott záporral, zivatarral. Ezt az elrendeződést mutatja a 2001. szeptember 9-én hajnal 04 UTC-kor készült kompozit magyarországi radarfelvétel (21. ábra).

A teknő még 10-én és 11-én is Közép-Európa felett húzódott, de a délre való kiterébélyesedésének következtében a Kárpát-medence átkerült a teknő hideg oldalára, aminek következtében a nedvességi mező is elhagyta a Kárpát-medence területét (22. ábra).



21. ábra

Az OMSZ kompozit radarképe 2001. szeptember 9-én 4:00 UTC-kor



22. ábra

Az 500 hPa-os nedvességi mező szerkezete 2001. szeptember 10-én 12 UTC-kor
(Forrás: ECMWF ERA40-adatbázis, megjelenítés: MetView)

A ciklonális hatások ugyan az 500 hPa-os blokkolódott teknő miatt nem értek véget a Kárpát-medencében, de a későbbi időszakokban, néhány napig már nem alakult ki országos, nagy mennyiséget okozó csapadék, csak lokálisan fordult elő 20 mm-t meghaladó napi csapadékösszeg a hevesebb zivatarok környezetében.

Szeptember közepén, az előzőekhez hasonló módon, az Északi-tenger irányából ismételt magassági ciklon fűződött le az Alpok térségének irányába, ami az Alpokon hullámot vetve újra nagy mennyiségű csapadékkal öntözte a Kárpát-medencét.

8. ÖSSZEFOGLALÓ

Az elmúlt években több alkalommal is előfordult, hogy a Kárpát-medence egyes részeire rövid idő alatt nagy mennyiségű csapadék zúdult le. Különösen 2005 nyara bővelkedett ilyen időjárási helyzetekben, és az esetek döntő többségében földközi-tengeri eredetű ciklon okozta a kiemelkedő csapadékmennyiséget. A mediterrán ciklonok kialakulásához különösen kedvező feltételeket teremt, ha az északi légpályákon érkező hideg levegő keveredik a Földközi-tenger felett kialakuló meleg, nedves légtömeggel. Elsősorban nyáron, a potenciálisan kihullható vízmennyiség ilyen ciklon esetén a 30 mm-t is meghaladhatja, ami Magyarországot elérve bőséges csapadékot eredményez. A hazánkon átvonuló mediterrán ciklonok száma évről-évre nagy változékonyságot mutat: szárazabb években alig néhány ilyen esetet regisztrálunk, míg a nedvesebb időszakokban a számuk akár a húszat is felülmúlhatja.

Kutatásaink során azt is vizsgáltuk, hogy a magyarországi jelentős csapadékhullások milyen mértékben kapcsolhatók össze a közepes szélességek blocking eseményeivel. Kiderült, hogy szoros a korreláció a két paraméter között, blocking szituációk is meghatározóak nagy csapadék kiváltó okai között. A csapadékhányos években blockinghoz kapcsolható nagy csapadéku helyzetek részaránya jelentősen visszaesett, az átlagos 60-70%-hoz képest a legszárazabb évben (2000-ben) alig 30%-os volt ez a ráta.

Azonban nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a blocking komplex jelenségkör. Ez azt jelenti, hogy ha adott földrajzi térségben lelassul az alapáramlás nyugati komponense, akkor nemcsak a ciklonok kelet felé történő elmozdulása szűnhet meg, hanem az anticiklonok is blokkolódnak, ami az időjárási jelenségek tartós, egyirányú folyamataihoz vezetnek. Mi sem példázza ezt jobban, mint a 2000-ben történt európai események: a kontinens nyugati felén kora ősszel a kiadós csapadéknak köszönhetően árvizek alakultak ki, míg Magyarországon és Kelet-Európában folytatódott a már több hónapja tartó, átlagosnál melegebb, aszályos időjárás (ld. Gyuró, 2001).

A blocking szinoptikus-klimatológiai vizsgálata mellett a dolgozat megszületésének az is célja volt, hogy a bővítsük a magyar nyelven fellelhető ismeretanyagot, ugyanis eddig erről csak meglehetősen szűkszavú leírásokat közöltek, mélyreható tanulmányt legjobb tudomásunk szerint még nem fogalmazott meg senki. Emellett mindenképp meg kell említenünk, hogy a bőséges külföldi szakirodalom a blocking jelenségekört szinte kizárólag a blokkoló anticiklonok perspektívájából tárgyalja részletesen, holott ha a mérsékelt övezetben kialakul egy ilyen jelenség, akkor az a ciklonok pályájára is komoly hatással van. Nem is beszélve arról, hogy az általánosan elfogadott blocking tipizálás már ciklonáris esetet is megkülönböztet (ld. pl. a 3. fejezetben a leszakadó alacsonynyomású rendszer).

Jelen dolgozatban a blocking jelenségekört elsősorban a magyarországi ciklontevékenységgel kapcsoltuk össze, főként azokkal, amelyek a mediterrán térségből származnak. Megvizsgáltuk, milyen tipikus makroszinoptikus viszonyok között alakul ki blocking, valamint azt is, hogy mely esetekben fordul elő jellemzően mediterrán ciklon. Ebben nagy segítségünkre volt, hogy elkészítettük az elmúlt harminc év (1976-2005) nagy csapadékot adó helyzeteinek részletes statisztikáját. Minden egyes esetben megnéztük, hogy átvonult-e Magyarország felett olyan ciklon, aminek képződése az Alpok orográfikus hatásai következtében alakult ki a mediterrán térségben, valamint azt is, hogy a ciklon mozgását akadályozta-e légköri blocking. Összegezve eddigi vizsgálatainkat azt mondhatjuk, hogy Magyarországon a nagy csapadékot adó helyzetek döntő többségét mediterrán ciklonokhoz kapcsolható csapadéktevékenység okozza. A nagy csapadék kialakulásának valószínűségét növeli az a tény, ha blocking is kialakul felettünk, amelyek a ciklonáris hatásokat „tartósítják” térségünkben. A részletesebb vizsgálatokból az is kiderül, hogy az utóbbi időkben a légkör hajlamosabb blocking jelenség kialakulására, ráadásul a közelmúltban bekövetkezett, rövid időszak alatt lehullott nagy mennyiségű csapadékot eredményező időszakok részarányában jelentősen megnőtt a mediterrán ciklonok és a blocking szerepe, és ezáltal a kettő együttes részaránya is.

9. HIVATKOZÁSOK

- Berggren, R., B. Bolin and C. G. Rossby, 1949: Aerological study of zonal motion, it's perturbations and break-down. *Tellus* 1 (2), 14-37 old.
- Bluestein, H. B., 1992: *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Volume I. Principles of Kinematic and Dynamics.* Oxford University Press, New York, 431 old.
- Bodolai I., 1954: A konvektív zivatarok aerológiai-szinoptikai feltételeiről. Az OMI Kisebb Kiadványai No. 27., Országos Meteorológiai Intézet, Budapest, 80 old.
- Bodolai I. és Bodolainé Jakus E., 1964: A frontális csapadék mennyiségének szinoptikus feltételei. Az OMI Kisebb Kiadványai No. 34., Országos Meteorológiai Intézet, Budapest, 60 old.
- Bodolainé Jakus E., 1983: Árhullámok szinoptikai feltételei a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén. Az OMSZ Hivatalos Kiadványai LVI. kötet. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 126 old.
- Bodolainé Jakus E., 1996: Magyar szinoptikus meteorológiai kutatások 1955-1995. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 217 old.
- Bodolainé Jakus E., Bonta I., Nagy K. és Németh P., 1984: A hidrológiai egyenleg becslése rövid távra a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén. Az OMSZ Kisebb Kiadványai 56. szám. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 74 old.
- Bodolainé Jakus E. és Tänczer T., 2003: Mezőléptékű konvektív komplexumok, a hirtelen árhullámok kiváltói. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 214 old.
- Buzzi, A., 1986: Review of the weather phenomena observed during the ALPEX Special Observing Period. *Sci.Conf. on the Results of the Alpine Experiment, Venice, 1985.* WMO, Geneva, 15- 27. old.
- Bleck, R., Mattocks, 1984: A preliminary analysis of the role of potencial vorticity in Alpine lee cyclogenesis. *Beitr. Phys. Atmos.*, 57, 357-368. old.

- Buzzi, A., and S. Tibaldi, 1978: Cyclogenesis in the lee of the Alps: A case study. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 104, 271-287. old.
- Buzzi, A. and A. Speranza, 1986: A theory of deep cyclogenesis in the lee of the Alps. Part II: Effects of finite topographic slope and height. *J. Atmos. Sci.*, 43, 2826-2837. old.
- Charney, J. G., J. Shukla and K. C. Mo, 1981: Comparison of a barotropic blocking theory with observation. *Journal of the Atmospheric Sciences* 38, 762-779 old.
- Chung, Y. S., 1977: On the orographic influence and lee cyclogenesis in the Andes, the Rockies, and the East Asian mountains. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.*, A26, 1-12. old.
- Chung, Y. S., K. D. Hage, E. R. Reinelt, 1976: On lee cyclogenesis and air flow in the Canadian Rocky mountains and East Asian mountains. *Mon. Wea. Rev.* 104, 879-891. old.
- Danielsen E. F., 1973: Cyclogenesis in the Gulf of Genoa. *Mesoscale Meteorological Phenomena*. CNR-UNESCO, Venice, 189- 192. old.
- Dole, R. M. and N. D. Gordon, 1983: Persistent anomalies of the extra-tropical Northern Hemisphere wintertime circulation. Geographical distribution and regional persistence characteristics. *Monthly Weather Review* 111, 1567-1586 old.
- Egger, J., 1972: Numerical experiments on cyclogenesis in the Gulf of Genoa. *Beitr. Phys. Atmos.*, 45, 320-346. old.
- Emeis, S. and M. Hantel, 1984: ALPEX diagnostics: Subsynoptic heat fluxes. *Beitr. Phys. Atmos.*, 57, 495-511. old.
- Frenzen, G. and P. Speth, 1984: ALPEX diagnostics: Kinetic energy and vorticity budgets for a case of lee cyclogenesis. *Beitr. Phys. Atmos.*, 57, 512-526. old.
- Frenzen, G. and P. Speth, 1986: Comparative study of several cases of Alpine lee cyclogenesis: Kinetic energy and vorticity. *Beitr. Phys. Atmos.*, 59, 216-230. old.
- Garriott, E. B., 1904: Long-range forecasts. *US Weather Bureau Bulletin No. 35*, 142 old.
- Gyuró Gy., 2001: A numerikus prognosztika története szinoptikus szemmel, In: *Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 16.*, ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest, 55-68. old.
- Héjas E., 1898: Zivatarok Magyarországon az 1871-től 1895-ig terjedő megfigyelések alapján. *Magyar Természettudományi Társulat*, Budapest, 38 old.
- Homokiné Ujváry K. és Hirsch T., 2002: A csapadék-előrejelzés módszertana. In: *A meteorológiai előrejelzések és alkalmazásaik. A 28. Meteorológiai Tudományos*

- Napok előadásai, Szerkesztette: Mika J., Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 93-100. old.
- Illari L., P. Malguzzi and A. Speranza, 1981: On the breakdown of the Westerlies. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 17, 27-49. old.
- Johnson, D. R., and D. K. Hill, 1987: Quasi-Lagrangian diagnostics of a Mediterranean cyclone: Isentropic results. *Meteor. Atmos. Phys.*, 36, 118-140. old.
- Klein, W. H., 1957: Principal tracks and mean frequencies of cyclones and anticyclones in the Northern Hemisphere: Res. Pap. No. 40., U.S. Weather Bureau. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 60 pp.
- Kuettner, J., 1982: ALPEX experiment design. GARP-ALPEX No. 1, WMO, Geneva, 99 pp.
- Kurz, M., 1986: Szinoptikus meteorológia (Magyar Meteorológiai Szolgálat továbbképző anyaga)
- Lejenas, H. and H. Okland, 1983: Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from long time series of observational data. *Tellus* 35A, 350-362 old.
- Makainé Császár M. és Tóth P., 1978: Szinoptikus meteorológia I. Tankönyvkiadó, Budapest, 320 old.
- Mattocks, C., 1982: A precursory case study of lee cyclogenesis. ALPEX Preliminary Scientific Results. GARP-ALPEX No. 7., WMO, Geneva, 62- 76. old.
- Mattocks, C., and R. Bleck, 1986: Jet streak dynamics and geostrophic adjustment processes during the initial stages of lee cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 2033-2056. old.
- McGinley J. A., 1986: A variational objective analysis scheme for analysis of the ALPEX data set. *Sci. Conf. on the Results of the Alpine Experiment*, Venice, 1985. WMO, Geneva, 59-72. old.
- Mesinger, F., R. T. Pierrehumbert, 1986: Alpine lee cyclogenesis: Numerical simulation and theory. *Sci. Conf. on the Results of the Alpine Experiment*, Venice, 1985. WMO, Geneva 141-164. old.
- Namias, J., 1947: Characteristics of the general circulation over the Northern Hemisphere during the abnormal winter 1946-47. *Monthly Weather Review* 75, 145-152 old.
- Pelly, J. L. and B. J. Hoskins, 2003: A new perspective on blocking. *Tellus*, 743-755. old.
- Pichler, H., and R. Steinacker, 1987: On the synoptics and dynamics of orographically induced cyclones in the Mediterranean. *Meteor. Atmos. Phys.*, 36, 108-117. old.
- Pettersen, S., 1956: *Weather Analysis and Forecasting*, 2nd ed., Vol. I. McGraw-Hill, 428 pp.

- Radinović, D., 1965a: Cyclonic activity in Yugoslavia and surroundings area. Arch. Meteor. Geophys. Bioklim., A14, 391-408. old.
- Radinović, D., 1965b: On the forecasting of cyclogenesis in the west Mediterranean and other areas bounded by mountain range by baroclinic model. Arch. Meteor. Geophys. Bioklim., A14, 279-299 old.
- Radinović, D., 1986: On the development of orographic cyclones. Quart. J. Roy. Met. Soc., 112, 927-951. old.
- Radinović, D., and D. Lalić 1959: Cyclonic activity in the western Mediterranean. Fed. Hydromet. Institute, Belgrade. Memoirs No. 7, 57 pp.
- Reimer, E., 1986: Analysis of ALPEX data. ECMWF Workshop: High Resolution Analysis. ECMWF, June 1985, 155- 181. old.
- Rex, D. F., 1950: Blocking action in the middle troposphere and its effect on regional climate II: The climatology of blocking action. Tellus No. 3, 275-301 old.
- Sanders, F. and J. R. Gyakum, 1980: Synoptic-dynamic climatology of the „bomb.” Mon. Wea. Rev., 108, 1589-1606. old.
- Speranza, A., 1975: The formation of baric depressions near the Alps. Annali di Geofis., 28, 177-217. old.
- Speranza, A., A. Buzzi, A. Trevisan and P. Malguzzi, 1985: A theory of deep cyclogenesis in the lee of the Alps. Part I: Modification and baroclinic instability by localised topography. J. Atmos. Sci., 42, 1521-1535. old.
- Steinacker, R., 1984: The isentropic vorticity and flow over and around the Alps. Rivista Meteor. Aeron., 44, 79-84. old.
- Tánczer T. és Saikó J., 1985: A csapadék valószínűségének és mennyiségének becslése műholdképek alapján. Az OMSZ Kisebbségi Kiadványai 58. szám. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 42 old.
- Tibaldi, S., 1980: Cyclogenesis in the lee of orography and its numerical modeling with special reference to the Alps. Orographic effects in planetary flows. GARP Pub. Ser. No. 23, R. Hide and P. W. White, Eds. WMO, Geneva, 207-232. old.
- Tibaldi A., A. Buzzi, 1983: Effects of orography on Mediterranean lee cyclogenesis and its relationship to European blocking. Tellus, 35A, 269-286. old.

- Tibaldi A., A. Buzzi, A. Speranza, 1990: Orographic cycloogenesis. Extratropical cyclones – The Erik Palmén Memorial Volume (szerk: C. Newton, E. O. Holopainen) Am. Met. Soc., Boston, 107-127. old.
- Tibaldi A., A. Buzzi, and P. Malguzzi, 1980: Orographically induced cyclogenesis: Analysis of numerical experiments. Mon. Wea. Rev., 108, 1302-1314. old.
- Tibaldi A. and L. Dell’Osso, 1986: Representation of pressure drag effects in numerical modeling of Alpine cyclogenesis. Sci. Conf. on the Result of the Alpine Experiment, Venice, 1985. WMO, Geneva, 207-214. old.
- Tosi, E., M. Fantini and A. Trevisan, 1983: Numerical experiments on orographic cyclogenesis: Relationship between the development of the lee cyclone and the basic flow characteristics. Mon. Wea. Rev., 111, 799-814. old.
- Tóth T. és Gyuró Gy., 2006: Jelentős csapadékhullással járó földközi-tengeri ciklonok klimatológiája blokkoló anticiklonok gyakoriságának függvényében. III. Magyar Földrajzi Konferencia. Absztrakt kötet (Szerk.: Kertész Á., Dövényi Z. és Kocsis K.). MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 2006, 228. old.
- Trevisan, A., 1976: Numerical experiments on the influence of orography on cyclone formation with an isentropic primitive equation model. J. Atmos. Sci., 45, 3880-3888. old.
- Van Bebber, W. J., 1891: Die Zugstraßen der barometrischen Minima nach Bahnenkarten der Deutschen Seewarte für den Zeitraum von 1875-1890. Meteorologische Zeitschrift 8, 361-366 old.
- Whittaker, L. M., and L. H. Horn, 1982: Atlas of Northern Hemisphere extratropical cyclone activity, 1958-1977. University of Wisconsin Press, Madison, 40 pp.
- White, W. B and N. E. Clarke, 1975: On the development of blocking ridge activity over the central North Pacific. Journal of the Atmospheric Sciences 32, 489-502 old.
- Wiedemann, J. M., A. R. Lupo, I. I. Mokhov and E. A. Tikhonova, 2002: The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block intensity as a diagnostics. Tellus, 3459-3473. old.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Először is szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, dr. Gyuró Györgynek a dolgozat elkészítésében nyújtott szakmai tanácsaiért, a kitartó munkájáért és a szerkesztésben nyújtott segítségéért. Ezenkívül köszönettel tartozom Hirsch Tamásnak és Kolláth Kornélnak, akik a dolgozatban bemutatott illusztrációk szerkesztésében nyújtottak nagy segítséget. Továbbá köszönetemet fejezem ki dr. Kalmár Györgynének, aki a diplomamunkám klimatológia részében szolgált hasznos tanácsokkal. A CorelDraw programmal szerkesztett ábráimhoz fontos segítséget nyújtott Homokiné Ujváry Katalin, Borbély Ferenc és Reisz András, amiért szintén köszönettel tartozom. Öcsémnek, Tóth Péternek is szeretném megköszönni a munkáját, aki az egyes számítógépes finomítások kivitelezésében nyújtott fontos segítséget. Végül, de nem utolsósorban hálás köszönettel tartozom Novák Erikának, aki a dolgozatban fellelhető nyelvhelyességi hibákat javította ki.