

TÉLI NAGY CSAPADÉKOS HELYZETEK

Babolcsai György, Hirsch Tamás

Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, Kitaibel Pál u.1., 1024

e-mail: babolcsai.gy@met.hu, hirsch.t@met.hu

1. BEVEZETÉS

A csapadék a meteorológiai elemek közül az egyik legfontosabb, több más paramétert is jelentősen befolyásolni képes időjárási elem. Tapasztalatok szerint időben és térben rendkívül nagy változékonysággal bír. Ennek mértéke tisztán konvektív csapadék (helyi záporok, zivatarok) esetén a legnagyobb, amikor is gyakran előfordul, hogy azokat a területeket, ahol egyáltalán nem vagy csak jelentéktelen csapadék hullik, csupán pár száz méteres távolság választja el azon területektől, ahol felhőszakadást regisztrálnak.

Az említett változékonyság - bár általában sokkal kisebb mértékben - nagyskálájú (ciklonokhoz illetve ezek frontjaihoz kötődő) csapadék esetén is megfigyelhető. Ez egyrészt azt vonja maga után, hogy a jelenlegi közvetlen mérőhálózat (Magyarországon maximum 500-600 csapadékmérő állomás) nagysága nem teszi lehetővé, hogy minden esetben átfogó, pontos képet kaphassunk a lehullott csapadék térbeli eloszlásáról. A közvetett, radaros mérések – bár a közvetlen mérésektől jóval nagyobb térbeli felbontásúak – sem oldják meg az említett problémát, mivel nem a lehullott csapadékot, hanem a légkörben található csapadék elemeket érzékelik, amelyeknek csak egy része éri el a későbbiekben, és nem feltétlenül a radarmérés által jelzett helyen a felszínt. Ugyancsak csökkenti a radaros mérések pontosságát azok időbeli felbontása (~15 perc), amely különösen a kis időskálájú, rendkívül gyorsan kifejlődő konvektív folyamatok vizsgálatánál okoz gondot. Ezek alapján nyilvánvaló, hogy ha csapadékot szeretnénk prognosztizálni, akkor egy olyan mennyiség előrejelzése a feladat, melynek még a múltbeli értékeit sem ismerhetjük kellő pontossággal. Ez természetesen minden más meteorológiai elemnél is így van, a csapadék esetén azonban – a rendkívül nagy térbeli változékonysága miatt – érdemes ezt kihangsúlyoznunk.

A numerikus modellek az utóbbi években tapasztalható igen nagymértékű fejlődésük ellenére sem képesek az összes, a légkörben lejátszódó folyamat leírására. A numerikus előrejelzések verifikációja által alátámasztott, általánosan elfogadott tapasztalat, hogy míg a modell által közvetlenül leírt, magasabb szintekre vonatkozó paraméterek (pl. szél,

hőmérséklet, nyomásszintek magassága) előrejelzése a legmegbízhatóbb, és ezek esetén mutatható ki a legnagyobb fejlődés az elmúlt évtizedekben, addig a felszínközeli rétegekre vonatkozó, illetve a parametrizált meteorológiai elemek beválása sokkal csekélyebb. Mindezekből következik, hogy a numerikus időjárás előrejelző modellek csapadék előrejelzései nagyon óvatosan kezelendők. A tényleges csapadék előrejelzések készítésénél még számos más mező együttes figyelembe vétele szükséges, amelyek alapján – kellő tapasztalat függvényében – korrigálható a modell által közvetlenül prognosztizált csapadék. Ennek során nagy figyelmet kell szentelni az adott térség szinoptikus-klimatológiai sajátosságainak is. A Kárpát-medence esetén – amely szinte minden oldalról hegyekkel van körülvéve – az említett területi karakterisztikák sokszor még inkább hangsúlyossá válnak. Jelentős szinoptikai tapasztalat megszerzésével – mintegy a korábbi hibáiból tanulva – az előrejelző is szert tehet ilyen irányú ismeretekre, ezek azonban *szubjektívnak* tekinthetők. Mindenképp szükség van olyan részletes, feltáró kutatások révén megalapozott *objektív* eredményekre is, amelyek nagymértékben megnövelhetik a csapadék előrejelzések beválását és automatizálásra is lehetőséget teremthetnek. A vizsgálati módszerek egy csoportját jelenti a múltban előfordult esetek minél sokoldalúbb feldolgozása.

Munkánk során ezt a célt tartottuk szem előtt. Természetesen egy igen részletes vizsgálat a csapadékot meghatározó folyamatoknak csak egy részére terjedhet ki. Elsőként a Magyarországon, a téli időszakban (november, december, január, február és március) előfordult nagy csapadékos helyzetek vizsgálatát mutatjuk be. A esetek definiálásával biztosítottuk, hogy csak a legjelentősebb, valószínűsíthetően határozott, szinoptikus skálájú időjárási rendszerekhez kötődően kialakult csapadékos helyzeteket tanulmányozzuk. Nyilvánvalóan a csupán jelentéktelen csapadékot eredményező szitálós, ónos szitálós, hószállingózásos szituációk vizsgálata is fontos, eltérő jellegük miatt azonban ezek külön kezelendők.

A nagy csapadékos helyzeteken belül, a budapesti nagy havazásokat részletesebben is tanulmányoztuk. Mivel vizsgálataink ebben az esetben csak egyetlen állomásra (Pestszentlőrinc) terjedtek ki, a magyarországi vizsgálatokhoz képest több mint kétszer olyan hosszú időszakra végezhattünk igen speciális elemzéseket. Számos eredményt mutatunk be Budapest hóviszonyaival illetve a budapesti havazások szinoptikus-klimatológiájával kapcsolatban.

2. TÉLI MAGYARORSZÁGI NAGY CSAPADÉKOS HELYZETEK

2.1. Irodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben általános áttekintést nyújtunk a téli nagy csapadékos helyzetekkel kapcsolatos legfontosabb nemzetközi és hazai vizsgálatokról, ezek eredményeiről, illetve arról, hogy saját kutatásaink hogyan kapcsolódnak ezekhez.

Téli nagy csapadékos helyzetekkel kapcsolatban már több esettanulmány is született. *Horváth* (1986) az 1985. november 18-21. között kialakult nagy havazás okait vizsgálta, és rámutatott arra, hogy a Földközi-tenger térségében tartósan fennmaradó hidegcsepp milyen jelentős mértékben befolyásolhatja Európa egy részének, többek között Magyarországnak az időjárását, akár a planetáris skálájú folyamatok ellen dolgozva is.

Ausztriában 1986. január 31. és február 10. között két olyan helyzet is előfordult, melyek során helyenként rendkívüli mennyiségű hó hullott (*Mohn és Sobitschka*, 1988). A szerzők megállapították, hogy mindkét eset egy igen lassan vonuló, a magasabb szinteken is kiépülő ciklon peremén történt. A két nagy csapadékot okozó mediterrán ciklon azonban eltérő módon jött létre. Az első az Atlanti-óceán fölött keletkezett, majd az Ibériai-félszigeten keresztül helyeződött át a Földközi-tenger térségébe. A második viszont úgy jött létre, hogy egy, a Kelet-európai síkság felett található hideg légcsepp a Földközi-tenger nyugati medencéjébe helyeződött át, és a mediterrán térségben erős ciklonaktivitást váltott ki.

Bálut és társai (1994) az 1993. novemberében Románia területén előfordult öt hóvihart vizsgálták. Egész novembert a hónap elején kiépült igen erős kelet-európai anticiklon jellemezte, mely egy északkelet-délnyugati tengelyű hidat képezve összekapcsolódott az azori anticiklonnal. Ennek déli peremén időről-időre mediterrán ciklonok alakultak ki, melyek keleti irányban mozogtak, és Románia dél-délkeleti területeit is érintették, helyenként 50-70 cm-es hótakarót eredményezve. A szerzők megállapították, hogy a nagy mennyiségű csapadék létrejöttében mind az öt esetben szerepet játszott a Kárpátok hatására kialakuló orografikus okklúzió is.

Az előzőektől eltérő, azaz nem havazásos, de szintén a téli időszakban előfordult nagy csapadékos helyzetet dolgozott fel diplomamunkájában *Zsótér* (1997). Az 1995. decemberének utolsó napjaiban a Kőrösökön kialakult árvíz meteorológiai feltételeit vizsgálta, mely egyike volt az évszázad legnagyobb árvizeinek ebben a térségben. Arra a következtetésre jutott, hogy ennek kialakulásában sem a hóolvadás, sem pedig a megelőző időszak időjárása nem játszott fontos szerepet. Lényegében a december 23-27. közötti enyhe, csapadékos időszak volt az, mely létrehozta a rendkívüli

árvizet. Ebben az időszakban a Kőrösök vízgyűjtőjéhez tartozó Bihar-hegység nyugati oldalán 200 mm-t meghaladó csapadék hullott. A szerző megvizsgálta a nagy csapadék kialakulásában jelentős szerepet játszó paramétereket, és az ún. „összefoglaló térkép technikát” is alkalmazta (*Maddox, 1979, Bonta, 1991*), melynek segítségével megfelelően indokolni tudta az árhullám kialakulásának okait.

Hirsch és társai (2003) a 2003. októberi, rendkívül korai, az ország északnyugati részén helyenként 10-20 cm-es vastagságot is meghaladó hótakaró kialakulásának okait vizsgálták. Október 20-tól a Kárpát-medencén keresztül igen erős, délnyugat-északkelet irányú átviteli sáv jött létre, amely mentén egymást követték az északkelet felé áthelyeződő, térségünkben is jelentős csapadékot adó mediterrán ciklonok. Az átviteli sávtól északra található anticiklon peremén egyre hidegebb levegő áramlott dél felé. A havazást közvetlenül a Brit-szigetek felett található, délnyugatra áthelyeződő, közben fokozatosan mélyülő ciklon okozta, mely Észak-Olaszországot elérve kelet felé, a Balkán-félsziget felett vonult tovább. A szerzők részletesen bemutatták, hogy a csapadék halmazállapotának területi eloszlásában jelentős szerepe volt a Kárpát-medencébe északnyugat és északkelet felől egyidejűleg beáramló hideg levegőnek, amit a numerikus modellek rövidtávon igen jól jeleztek előre.

Az esettanulmányok hasznos információkkal gyarapíthatják a téli nagy csapadékos helyzetekkel kapcsolatos ismereteinket. Igazán jelentősnek azonban azok a vizsgálatok tekinthetők, melyek egy hosszabb időszak folyamán előfordult, jelentős számú esetet dolgoznak fel, és ezekből vonnak le következtetéseket. A következőkben néhány ilyen jellegű kutatást mutatunk be. Már az esetek kiválasztása is gyakran igen jelentős eltérést mutat az egyes vizsgálatokban. Előfordul, hogy csupán egy adott állomáson, adott számú állomáson illetve meghatározott nagyságú területen, 12 óra, 24 óra alatt vagy időkorlátozás nélkül lehulló jelentős mennyiségű (5, 10, 20 mm csapadékot vagy 5, 10, 20 cm-es friss havat elérő illetve meghaladó) eseteket vonnak be a vizsgálódások körébe.

Az Amerikai Egyesült Államokban már évtizedekkel ezelőtt részletes kutatások folytak a témában. *Goree és Younkin* (1966, *Younkin, 1968*) a 12 óra alatt 10 cm-t elérő, 6°-os földrajzi szélességű területet érintő eseteket tanulmányozott az USA-ban. Az 500 hPa-os nyomási szint cirkulációs viszonyaira, az 500/1000 hPa-os relatív topográfia mezőre és elsősorban az abszolút örvényesség maximumának helyzetére, értékére koncentrálva három típust különítettek el. Ezek alapján próbálták meg a legerősebb havazás területének behatárolására az operatív előrejelzésben hasznosítható következtetéseket levonni.

McNulty (1991) 12 óra alatt 5 cm-t elérő havazásokat tanulmányozott az USA-ban a Nagy-Tavak környékén és öt nagy havazásos szinoptikus helyzetet különböztetett meg: fiatal ciklon, okkludálódott ciklon (legveszélyesebb típus), hidegfront mögötti teknő, melegadvekcíós típus és „fordított teknő” helyzet. A szerző szerint a nagy havazások legtöbbször ott alakulnak ki, ahol a talaj és az 500 hPa-os nyomási szint között az átlagos

relatív nedvesség eléri a 70 százalékot, és a 850 hPa-os illetve az 500 hPa-os jet metszi egymást.

Mote és társai (1997) az Amerikai Egyesült Államok délkeleti részén kialakuló erős hóviharak szinoptikus skálájú sajátosságait ismertetik. 1960 és 1993 között azt a 18 időjárási rendszert vizsgálták, melyek 446 állomás közül legalább 50-en 12 óra alatt 10 cm-t elérő friss havat okozott. A kutatásban számos meteorológiai paraméterre összefoglaló térképeket alkalmaztak, az időbeli lefolyás menetére újszerű eljárást alkottak. A nagy havazást okozó ciklonok (melyek trajektóriája egyébként igen különböző volt) sajátosságainak taglalása után általános következtetésként megállapították, hogy a hóviharakat a Mexikói-öböl biztosította páradús levegő mellett leginkább a melegadvekción, a magas szintű jet, a diabatikus folyamatok és a ciklogenetikus emelés vezérli.

Európában is folytak kutatások a területen, leginkább Ausztriában. Most ezekből idézünk fel néhányat, illetve egyéb európai vizsgálatokat is bemutatunk. *Schalko* (1949) kutatásai szerint Ausztriában az Alpok északi lejtőin erős és nedvességgel teli északnyugati áramlás esetén az orográfia okozza a nagy havazásos eseményeket. Az Alpok déli része a genovai ciklonok melegszekektorában kaphat bőséges havat, akárcsak Kelet-Ausztria. Bár ritkán, de erős keleti hidegbetörés is okozhat Ausztria-szerte hóviharakat.

Lauscher (1985) Bécsre vonatkozóan megállapította, hogy az évi csapadékösszegeből legtöbbet hó formájában az Észak-Olaszország, illetve az Adriai-tenger felett örvénylő és az Vb pályán (*van Bebbber*, 1891) vonuló mediterrán ciklonok adják. Tiszta hócsapadék még viszonylag gyakran előfordul közép-európai ciklon és északnyugati áramlásos helyzetekben is. Egy másik munkájában azt vizsgálta, hogy milyen időjárási helyzetekben alakul ki Bécsben korán hótakaró (*Lauscher*, 1981). Megállapította, hogy legkorábban október vége és november eleje között fordul elő hótakaró, amit csaknem kizárólag egy Ausztriától délre elhelyezkedő, lassan mozgó mediterrán ciklon okoz. A korai hótakaró kialakulásához egy középpontjával Európa észak-északkeleti részén elhelyezkedő anticiklon is szükséges, mely a talaj közelében hidegadvekción okoz. A magasabb rétegekben azonban melegadvekción tapasztalható a mediterrán térségből.

Mohnl (1989) egy részletes környezeti kutatás keretében tanulmányozta Bécs hóklímáját. 14 bécsi és Bécs környéki állomás naponkénti adatsorát dolgozta fel az 1951/52-es és az 1980/81-es közötti 30 téli időszakra. Többek között vizsgálta a napi hóvastagság gyarapodás átlagát, maximumát és bizonyos határértékek visszatérési idejét a tengerszint feletti magasság függvényében.

Spreitzhofer (1999) a nagy havazások tér-, idő-, és intenzitásbeli karakterisztikáit kutatta az 1970/71-es téltől az 1988/89-es télig bezáróan az Osztrák Hidrológiai Szolgálat 81 állomásának napi hóadatait felhasználva. A szerző azokat az eseteket vizsgálta részletesen, amikor legalább három 1500 méter alatti állomáson a napi növekedés elérte a 20 cm-t. A négy égtáj szerint osztotta fel Ausztriát és ily módon vizsgálta a

nagy havazásos esetek sajátosságait. Meghatározta minden eset térbeli kiterjedését, annak excentricitását, a két érintett legtávolabbi állomás távolságát. Azt találta, hogy az esetek több mint felén az érintett terület nyugat-keleti irányú tengelye legalább háromszor olyan hosszú, mint az észak-déli, s a meridionális kiterjedés mindössze az esetek 6 százalékában volt nagyobb, mint a zonális. Mindezt az Alpok orográfiájával magyarázta. A szerző továbbá időbeli karakterisztikákat és az átlagos és a maximális friss hó gyakoriság eloszlását is elemezte. Egy másik cikkében (*Spreitzhofer*, 1999a) az ausztriai erős hóviharak szinoptikai osztályozását végezte el az 1986 és 1991 között megfigyelt 16 eset alapján, műholdképeket és az ECMWF modell eredményeit is felhasználva. Hat típust különített el: „erősen szeles helyzet”, nagyméretű ciklon a Földközi-tenger nyugati medencéjében, jet konfluencia, északkeleti hidegbetörés, nagy kiterjedésű észak-európai ciklon és hosszan elnyúló, észak-déli tengelyű hidegfront.

30 éves időszakot dolgoztak fel spanyol kutatók, akik a Pireneusok délkeleti részén kialakuló havazásokat vizsgálták egy 1702 m-es tengerszint feletti magasságban található meteorológiai obszervatórium adatai alapján (*Franch és Sellés*, 1994). Vizsgálataik szerint teknőhelyzetben, keleti áramlásos időjárási szituációban és ciklon centrum esetén fordul elő a legtöbb csapadékos nap. Az utóbbi két időjárási helyzetben 90 – 95 %-ban hó hullik a téli időszak folyamán és ezek okozzák a legnagyobb napi órereteg gyarapodást, mely egyes esetekben akár a 60 cm-t is elérheti. A fennállásukkor jellemző kelet-délkeleti áramlás közel merőleges a Pireneusok délkeleti részének hegyvonulataira, ezért az orografikus emelés jelentős szerepet játszik a nagy mennyiségű csapadék kialakulásában. A szerzők kimutatták azt is, hogy az északnyugati áramlású helyzeteknek, melyek a Nyugat-Pireneusok területén a legnagyobb mennyiségű havazást okozzák, a Pireneusok délkeleti részén ebből a szempontból elhanyagolható a szerepük.

Gray és Male (1981) a Brit-szigetek nagy havazásainak intenzitását a csapadék kialakulásában legfontosabb tényező, a levegő feláramlását okozó különböző hatások függvényében vizsgálták. Azt találták, hogy ciklonális helyzetben a horizontális konvergencia átlagosan 2,5 cm havat eredményez óránként. A havazás általában 6-12 óráig tart. Konvektív instabilitás megléte rövid ideig tartó, kis területre korlátozódó mintegy 4 cm/órás intenzitást is produkálhat. A frontális emelés hidegfrontnál rövid, de heves havazást, melegfrontnál – a frontzóna nagyobb kiterjedése, nedvességtartalma és lassabb mozgása nyomán – hosszabb ideig tartó, mérsékeltebb erősségű havazást okoz.

Wild és társai (1996) a Brit-szigetek térségében 1880 és 1989 között kialakult hóviharakat (az Angol Meteorológiai Szolgálat 1991-es definíciója szerint „blizzard”-okat, azaz közepes vagy erős havazásokat, melyek legalább 30 csomós széllel párosulnak, mely hordja a havat, s a látástávolságot 200 méter alá csökkenti) vizsgálták. 83 eset 212 napját dolgozták fel. Vizsgálataik megerősítették a frontaktivitás lényegi szerepét a hóviharak, nagy havazások kialakulásában: melegfront felelt az esetek 49

százalékaért, okklúziós front 25 százalékáért, hidegfront 18 százalékáért. Nem fronttevékenységhez csupán 8 százalék volt köthető. A ciklon trajektóriákat a hóvihár Brit-szigetekbeli kitörését megelőző és követő öt-öt napon vizsgálva eredet és vonulás szerint nagyfokú változékonyságot találtak. Leírták továbbá, hogy a leghóviharosabb évtized az 1960-1969-ig tartó volt, és hogy a hónapok közül a januárra esett a legtöbb előfordulás. Esettanulmányaikban részletesen bemutatják a legpusztítóbb hóviharak károkozásait.

Magyarországi, speciálisan a téli nagy csapadékos helyzetekkel kapcsolatos szinoptikus-klimatológiai kutatásokról csak az utóbbi években beszélhetünk. A korábbi vizsgálatok csupán az ország különböző térségeinek hóviszonyait (pl. hótakarós napok száma, különböző küszöbszámokat elérő hóvastagságú napok száma, maximális és átlagos hóvastagság, leghosszabb hótakarós periódus, első és utolsó hótakarós napok stb.) tárták fel, és csak esetleg egy-egy jelentősebb esettel foglalkoztak részletesebben.

Hirsch (2000) 11 téli időszakban azokat az eseteket vizsgálta, amikor a 6 magyarországi körzet legalább egyikében a napi csapadékösszeg területi átlaga elérte az 5 mm-t. Jelentős különbségeket mutatott ki a nagy csapadékos helyzetek tulajdonságaiban a téli időszak folyamán illetve az ország egyes részein. Mind a Péczely-, mind a Bodolainé-féle makroszinoptikus helyzetek alkalmazása a mediterrán ciklonok kiemelkedő jelentőségét támasztotta alá a téli nagy csapadékos helyzetek kialakulását illetően. Egy újonnan bevezetett szinoptikus típus (a mediterrán ciklonok egy speciális fajtája) a tisztán havas helyzetek csaknem 80%-át okozta. Ugyancsak sor került a téli csapadék halmazállapotának előrejelzésére szolgáló objektív eljárás megalapozására.

Babolcsai és *Hirsch* az 1953 és 2003 közötti 50 éves időszak budapesti nagy havazásos helyzeteit vizsgálták (2006, 2006a). Megállapították a folyamatos, 8 cm-t meghaladó hórétegvastagság növekedést eredményező havazások legfőbb karakterisztikáit (pl. időtartam, átlagos csapadék- és hóréteg növekedés intenzitás, a lehullott hó és a mért csapadékmennyiség aránya, átlagos 2-méteres, 925 és 850 hPa-os hőmérséklet, stb.). A nagy havazásos helyzetek szinoptikai osztályozására új típusrendszert alakítottak ki, kiválasztott meteorológiai paramétereknek az egyes esetek időtartamára átlagolt mezője alapján. Megállapították, hogy az egyes típusok több szempontból jelentősen eltérő tulajdonsággal rendelkeznek, melyek ismerete az operatív időjárás előrejelzésben is igen hasznos lehet.

Jelen munka az előzőekben bemutatott nemzetközi és magyarországi kutatások által kijelölt utat követi annak érdekében, hogy hazánk térségére vonatkozóan is minél részletesebb ismeretekkel rendelkezünk a téli nagy csapadékos helyzetekről, melyeket eredményesen használhatunk fel ezek rövid- és középtávú előrejelzésénél is.

2.2. Téli nagy csapadékos helyzetek általános jellemzői

2.2.1. Nagy csapadékos helyzetek definíciója

A kutatás kezdete előtt pontosan definiálnunk kell azokat az eseteket, melyeket be szeretnénk vonni a vizsgálatba. Téli magyarországi nagy csapadékos helyzetek alatt olyan, a téli időszakban (azaz novemberben, decemberben, januárban, februárban vagy márciusban) előforduló eseteket értünk, melyek során *a napi csapadékösszeg területi átlaga az ország területének több mint 10%-án eléri, illetve meghaladja a 10 mm-t.*

Az alkalmazott definíció több okból is magyarázatra szorul. A téli időszakba a ténylegesen téli hónapok (december, január és február) mellett azért vontuk be a november és március hónapokat is, mert Magyarországon a téli hónapokon kívül ez a két hónap az, melyek folyamán a sokéves megfigyelések szerint több alkalommal fordulhat elő az ország jelentős részére kiterjedő, síkvidéken is részben vagy egészében hó formájában hulló csapadék. Szilárd halmazállapotú csapadék előfordulhat októberben, áprilisban vagy esetleg májusban is, de hazánk síkvidéki területein ennek valószínűsége olyan csekély, hogy ezen hónapok vizsgálata jelen esetben nem indokolt. Másrészt pedig az utóbb említett hónapokban már sokkal nagyobb a konvektív csapadék aránya, mint a november – március közötti időszakban, így ezeket a hónapokat a csapadéktevékenység eltérő jellege miatt sem célszerű a kiválasztott 5 hónappal együtt vizsgálni.

A definícióban megfogalmazott területi csapadékátlag számításra azért van szükség, mert a csapadék – még akkor is, ha nagyjából nem konvektív rendszerekhez, hanem ciklonokhoz illetve azok frontjaihoz kötődik – térben rendkívül változékony időjárási elem, ezért egy nagyobb térségben lehullott csapadék mennyiségéről csak minél több állomás figyelembevételével meghatározott területi csapadékátlag segítségével nyilatkozhatunk.

Szintén indokolandó a napi csapadékösszegek használata. A másik, ideális esetben jobb megoldást az egyes szinoptikus (vagy esetleg mezo-) skálájú időjárási rendszerekhez kapcsolódó csapadék vizsgálata jelentené. Ebben az esetben minden egyes felhasználni kívánt csapadékmérő állomás esetén meg kellene határozni azt az időtartamot, ami alatt az adott időjárási rendszerhez köthető csapadék hullott, majd az ezekre az időtartamokra vonatkozó csapadékösszegek felhasználásával kiszámítható lenne a vizsgált időjárási rendszer által okozott csapadék területi átlaga. Ez az eljárás – bár igen hasznos információval szolgálna – egyrészt sokkal bonyolultabb a napi csapadékösszegek használatánál, másrészt pedig automatikus csapadékmérő állomásokat feltételez, mivel tetszőleges időszak alatt lehullott csapadék csak ezek alapján állapítható meg. Az automata csapadékmérő állomások csak a 90-es évek második felétől kezdtek elterjedni hazánkban, így a korábbi évekből egyáltalán nem rendelkezünk ilyen adatokkal, és még az utóbbi években sincs annyi automata állomás,

hogy méréseik kellően reprezentatív képet nyújtsanak Magyarország teljes területén lehullott csapadékot illetően. A valósághoz minél közelebb álló területi csapadékatlag meghatározásához vizsgálatainkban az összes, rendelkezésre álló csapadékmérő állomás adatát figyelembe kívántuk venni, amely maga után vonja a napi (azaz rögzített 24-órás időszakokra vonatkozó) csapadékadatok használatát, ugyanis a legtöbb csapadékmérő állomásról csak ilyen adatok állnak rendelkezésre.

Célunk olyan helyzetek kiválasztása volt, melyek esetén jelentős csapadék fordult elő az országban. Téli, magyarországi viszonylatban a 10 mm-es napi csapadékösszeg már meglehetősen jelentősnek számít, szemben a nyári időszakokkal, amikor egy-egy hevesebb konvektív gócból rövid időn belül akár 50-100 mm csapadék is hullhat. Az „ország területének legalább 10%-át meghaladó” kritérium pedig abból következett, hogy a téli időszak napjainak kevesebb, mint 10%-át akartuk kiszűrni, de ugyanakkor célunk nem csak az igen ritkán előforduló, így igazán extrémnek tekinthető téli csapadékos helyzetek vizsgálata volt. Magyarországi, téli viszonyok mellett céljainknak – a téli időszak napjai körülbelül 5-10%-ának vizsgálatához – a fenti definíció felelt meg (de pl. egy óceáni éghajlatú térségben ugyanennyi eset kiszűréséhez valószínűleg nagyobb területet kellene megadnunk kritériumként).

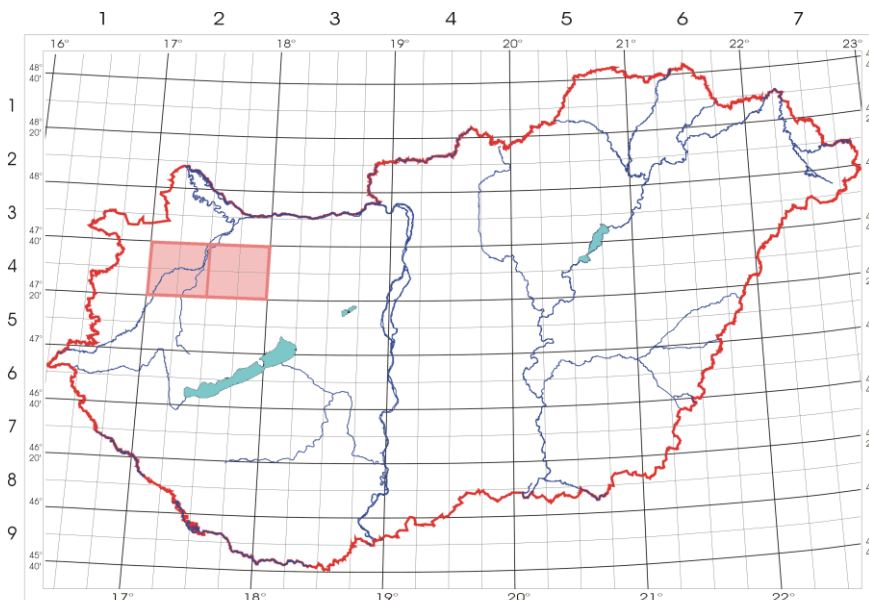
A rögzített két időpont közötti, 24-órás időtartamra vonatkozó csapadékadatok használatának hátránya, hogy nem szűri ki az olyan eseteket, melyek ugyan megfelelnek a fenti definíciónak, de a csapadék egyik része egy rögzített 24-órás időszak végén, másik része pedig az azt követő 24-órás időszak elején hullott. Így bár összességében 24 órán belül az ország több mint 10%-án 10 mm-t elérő csapadék fordult elő, de ez egyik vizsgált 24-órás időszakra sem mondható el. Mivel elsősorban egy-egy időjárási rendszerhez köthető csapadék vizsgálata lenne a cél, ugyancsak az alkalmazott módszer hibájának tekinthetőek azok az esetek, amikor a vizsgált 24-órás időszakon belül 2 időjárási rendszer csapadéköszonája is érinti az országot, és ennek következtében teljesülnek a definícióban megfogalmazott kritériumok. Végül pedig nem szabad megfeledkeznünk a csapadék mérés hibáiról sem. Különösen a téli időszakban, szilárd halmazállapotú csapadék esetén fordulhat elő, hogy a mérés a tényleges mennyiséget alábecsli, ami szintén ahhoz vezethet, hogy egy, a definíciónak megfelelő eset nem kerül kiválasztásra.

A felsorolt hibalehetőségek ellenére, a téli nagy csapadékos helyzetek kiválasztására alkalmazott módszert – a lehetőségek és céljaink ismeretében – helyesnek tekinthetjük.

2.2.2. Felhasznált adatbázis

Ebben a fejezetben bemutatjuk a vizsgálatok alapjául szolgáló adatbázist. A téli nagy csapadékos helyzetek kiválasztásához szükséges területi csapadékatlag számítás alapját az összes rendelkezésre álló csapadékmérő

állomás 24-órás csapadékösszeg adatai (06 UTC – 06 UTC) alkották. Ez naponta 600-900 állomást jelent, számuk az utóbbi években fokozatosan csökkent. A területi csapadékátlag számítását az Országos Meteorológiai Szolgálatnál a 90-es évek végén bevezetett új állomásszámozás segítségével oldottuk meg (Kövér, 1998). Az országot a szélességi körök mentén 10, a hosszúsági körök mentén 15 fokpercenként felosztva a **2.1. ábrán** látható kis szegmenseket kapunk, melyeken belül elhelyezkedő állomások új azonosítójának első 3 számjegye megegyezik. Az ábrán bejelölt módon, 4 egymás mellett elhelyezkedő ilyen szegmens (megközelítőleg négyzet) területén elhelyezkedő, összes, az adott napon csapadékadattal rendelkező állomás méréseit átlagoltuk, és ily módon megkaptuk az adott területre jellemző napi átlagos csapadékösszeget. Azokat az eseteket tekintettük nagy csapadékos helyzeteknek, melyeknél az összes, az előbbieken ismertetett módon definiált, Magyarországot részben vagy egészében lefedő terület több mint 10%-ára kiszámított érték elérte illetve meghaladta a 10 mm-t.



2.1. ábra

Az új állomásszámozás alapjául szolgáló szegmensek (kis négyzetek), illetve az ezekből kialakított, a területi csapadékátlag számításához felhasznált 4-es szegmensek (sátrózott négyzetek)

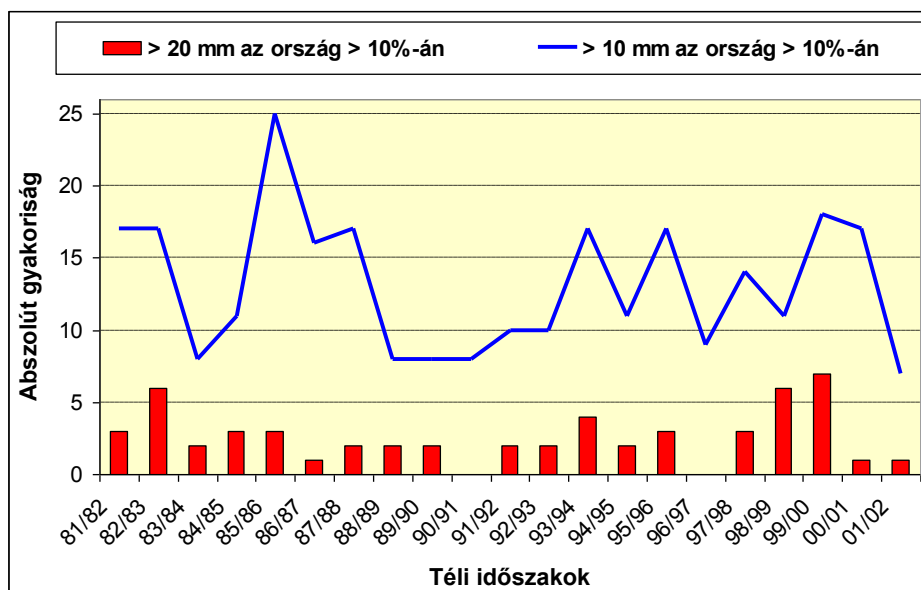
A kiválasztott helyzetekben a csapadék halmazállapotának megállapításához az összes olyan állomás adatát felhasználtuk, amelynél erre vonatkozó adat rendelkezésre állt. Tekintettel arra, hogy a társadalmi csapadékmérő állomások nagy része korábban csupán napi egy, a legmagasabb prioritású csapadékfajta (növekvő prioritás: szitálás, eső, hó, zápor, zivatar) jelentette, amely nem szükségképpen a napra leginkább jellemző csapadékfajta, így mindenképpen szükséges volt a Synop állomások

megfigyeléseinek figyelembe vétele is, amelyekből óras felbontással következtethetünk a lehullott csapadék halmazállapotára.

A vizsgálatokat az 1981/1982 – 2001/2002 közötti 21 téli időszakra végeztük el. Terveinkben szerepelt egy legalább 30, esetleg 40 éves időszak elemzése is, ez azonban technikai okok miatt egyelőre megghiúsult (az 1960-as és 70-es évekből sajnos még nem állnak rendelkezésre ellenőrzött, a fent ismertetett formára hozott, az összes csapadékmérő állomásra vonatkozó napi adatok). A 2002-2007 közötti téli időszakokat pedig a kifejlesztett eljárások későbbi tesztelésére szolgáló, független időszaknak hagytuk meg, így vizsgálatokat ezekre nem végeztünk.

2.2.3. Eredmények

A következőkben ismertetjük a téli nagy csapadékos helyzetek legfontosabb tulajdonságait. A vizsgált 21 téli időszakban összesen 276 eset teljesítette az előző fejezetben megfogalmazott definíciót, azaz évente átlagosan 13 ilyen helyzet fordul elő. Ahogy az a **2.2. ábrán** is látható, az esetek száma évről évre jelentősen változik: volt olyan év, amikor 25 téli nagy csapadékos helyzet fordult elő, a 2001/2002-es téli időszakban azonban csupán 7.

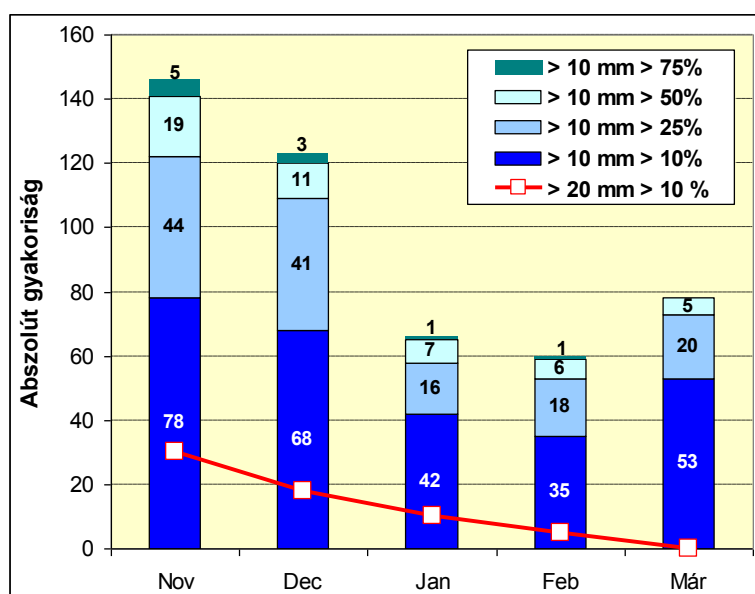


2.2. ábra

A téli nagy csapadékos helyzetek és az ország több mint 10%-án 20 mm-t meghaladó esetek gyakorisága a vizsgált téli időszakokban

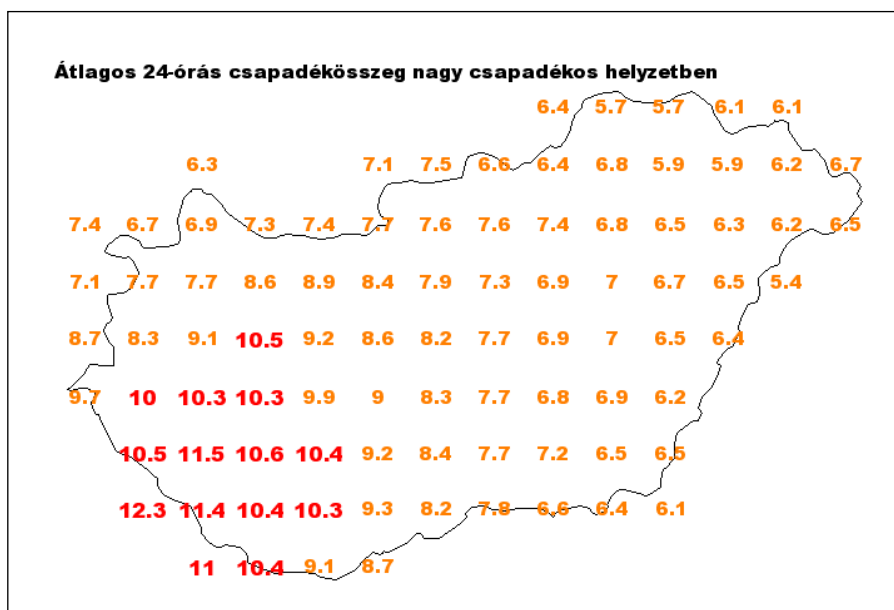
Ha 10 mm helyett a 20 mm-es határral definiálnánk a vizsgálandó helyzeteket, akkor az ábra szerint évente általában csak 2-3 esetünk lenne, sőt olyan évek is vannak, amikor Magyarországon egyáltalán nem fordul elő ilyen helyzet. A **2.3. ábrán** a havi gyakoriságokat is megjelenítettük illetve

azt, hogy milyen gyakran terjed ki 10 mm-t elérő csapadék az ország több mint 10, 25, 50 és 75%-ára. Általánosan megállapítható, hogy novemberben fordul elő a legtöbb eset. 10 és 25%-ot meghaladó területi kiterjedés esetén január-február környékén jelentkezik a minimum, majd márciusra már újra növekszik az esetek száma. Az ország legalább felére kiterjedő nagy csapadékos helyzetben azonban mást tapasztalhatunk. Ezek előfordulásának valószínűsége a téli időszak folyamán fokozatosan csökken, sőt hazánk területének több mint háromnegyedére kiterjedő nagy csapadékos helyzet illetve olyan eset, amikor az ország több mint 10%-án a napi csapadékösszeg eléri a 20 mm-t, egyáltalán nem is fordult elő a téli időszak utolsó hónapjában, márciusban.



2.3. ábra
Adott nagyságú területre kiterjedő téli nagy csapadékos helyzetek havi gyakorisága

A 2.4. ábra egy átlagos téli nagy csapadékos helyzetet mutat be, amelyet az összes, a vizsgált időszakban előfordult esetre vonatkozó csapadékmező időbeli átlagolásával kaptunk. Eszerint magyarországi téli nagy csapadékos helyzetekben a Dunántúl déli, délnyugati felén fordul elő a legtöbb, átlagosan 10-12 mm-t is elérő csapadék, míg a keleti határ mentén illetve északkeleten ugyanezekben a helyzetekben ennek a mennyiségnek csak körülbelül a fele hullik. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy keleten, északkeleten télen nem hullhat jelentős mennyiségű csapadék, hanem azt, hogy az ország több mint 10%-án előforduló, jelentős mennyiségű csapadék ritkábban terjed ki keletre, északkeletre, mint a Délnyugat-Dunántúlra, vagy az utóbbi térségben gyakrabban fordul elő ilyen helyzetekben nagyobb csapadékmennyiség.

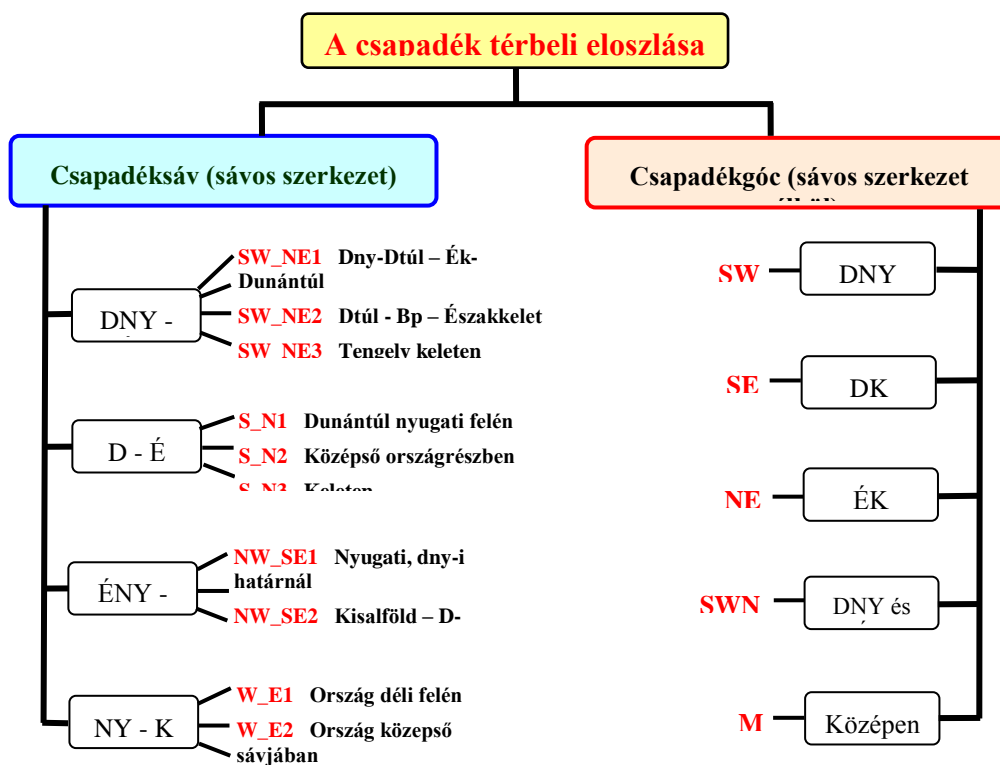


2.4. ábra

Az 1981/1982 – 2001/2002 között előfordult összes téli nagy csapadékos helyzet napi csapadékösszeg mezejének időbeli átlagolásával képzett csapadékmező

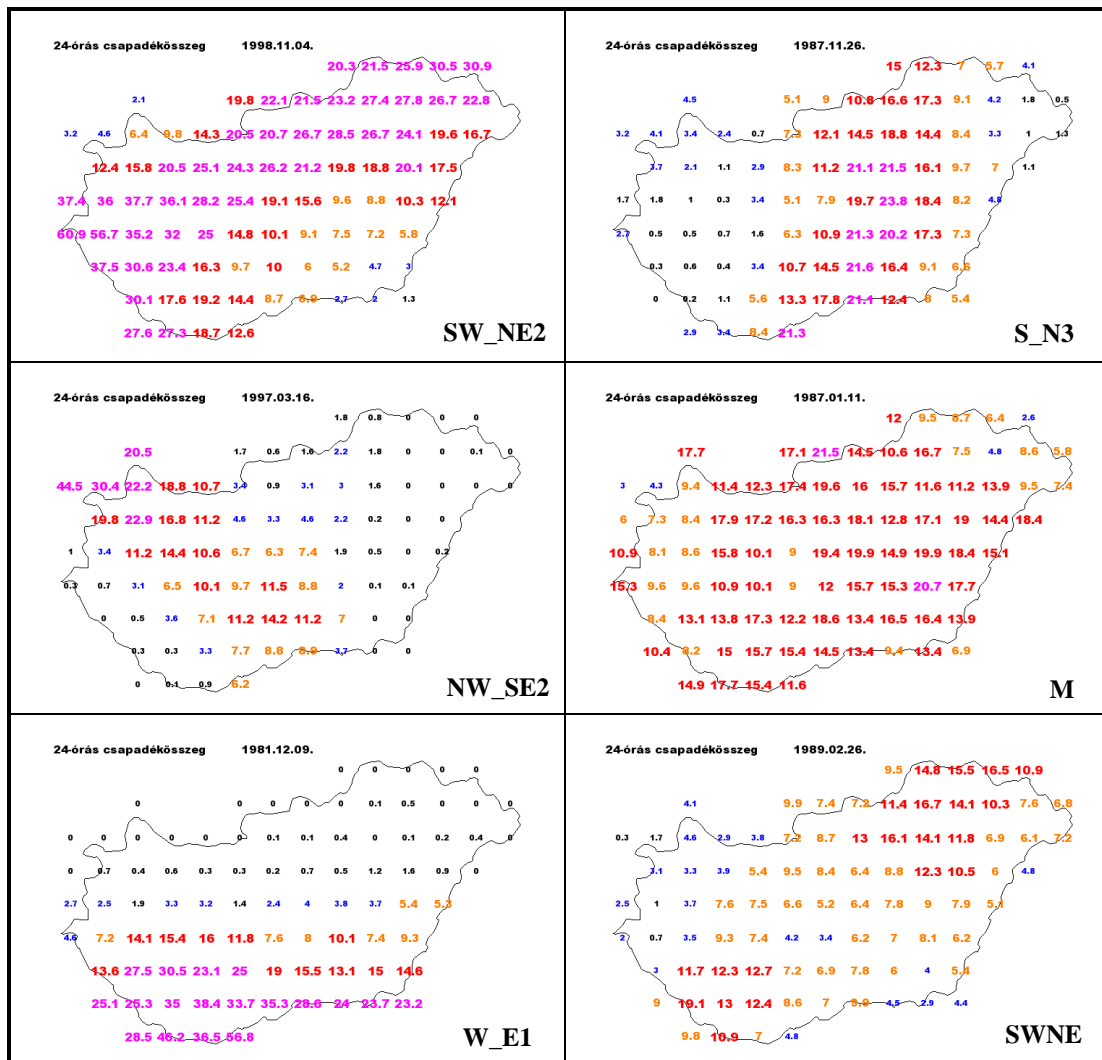
Érdemesnek tartottuk a csapadék térbeli eloszlását részletesebben is megvizsgálni. *Wakonigg* Ausztriára vonatkozóan vizsgálta a napi csapadékmennyiség területi eloszlását az időjárási helyzet függvényében (1991). Több mint 20 éves időszak adatait felhasználva hat fő csapadékeloszlási típust alakított ki. Megállapította, hogy a csapadékeloszlás és az időjárási helyzet nyáron sokkal kevésbé függ össze, mint télen. Magyarországon ilyen jellegű vizsgálat még nem készült.

A 2.5. ábra a téli nagy csapadékos helyzetek vizsgálata alapján kialakított, 18 csapadékeloszlási típust mutatja be. Alapvetően két csoportra osztottuk az eseteket. Megkülönböztettük azokat a helyzeteket, amikor a csapadékmező határozottan sávos térbeli szerkezetet mutatott, azaz egy olyan vonal (tengely) volt kimutatható, amely mentén fordult elő a területi átlagban 10 mm-t meghaladó csapadék. A csapadéksáv irányultsága alapján 4 fő típust, az országon belüli elhelyezkedése szerint pedig az egyes fő típusokon belül altípusokat különböztettünk meg. A másik nagy csoportot azok az esetek alkották, melyeknél a csapadékmező térbeli szerkezetében az említett sávos szerkezet csak kevésbé vagy egyáltalán nem volt kimutatható. A területi átlagban 10 mm-t elérő csapadék ezeknél a helyzeteknél inkább csapadékgócokat alkotott az ország egy, esetleg két meghatározott részén, és a jellemző országrész alapján történt osztályozásuk is.



2.5. ábra
A csapadék térbeli eloszlására kialakított típusok a téli nagy csapadékos helyzetekre vonatkozóan

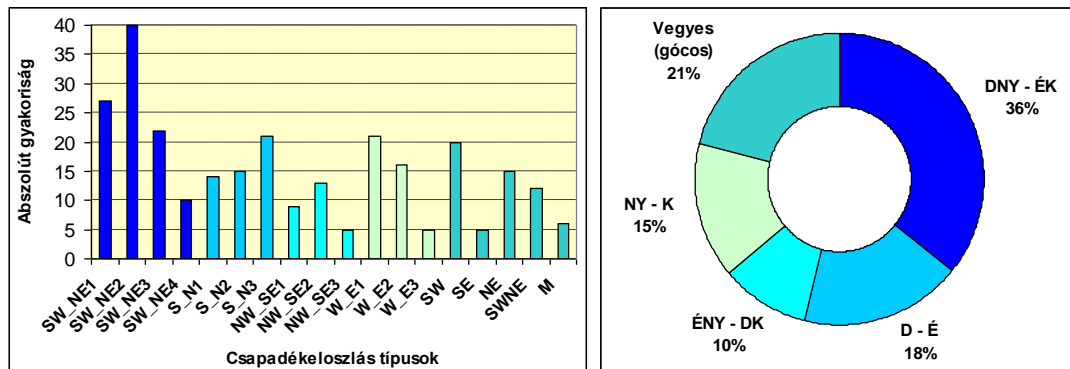
A **2.6. ábra** néhány típust mutat be egy-egy, a vizsgált időszakban előfordult helyzet segítségével.



2.6. ábra
Néhány, a csapadék térbeli eloszlását jellemző típus

A **2.7. ábra** alapján megállapítható, hogy a 3 leggyakrabban előforduló típus mindegyike délnyugat-északkeleti irányú tengely menti csapadék- eloszlást mutat. Téli magyarországi nagy csapadékos helyzetekben leggyakrabban ez a tengely a Délnyugat-Dunántúlról az ország középső részén (olykor épp Budapesten) keresztül egészen Északkelet-Magyarországig húzódik (SW_NE2 típus) és a jelentős mennyiségű csapadékból legtöbbször az ország északnyugati és/vagy délkeleti része marad ki. Az egyéb csoportokat

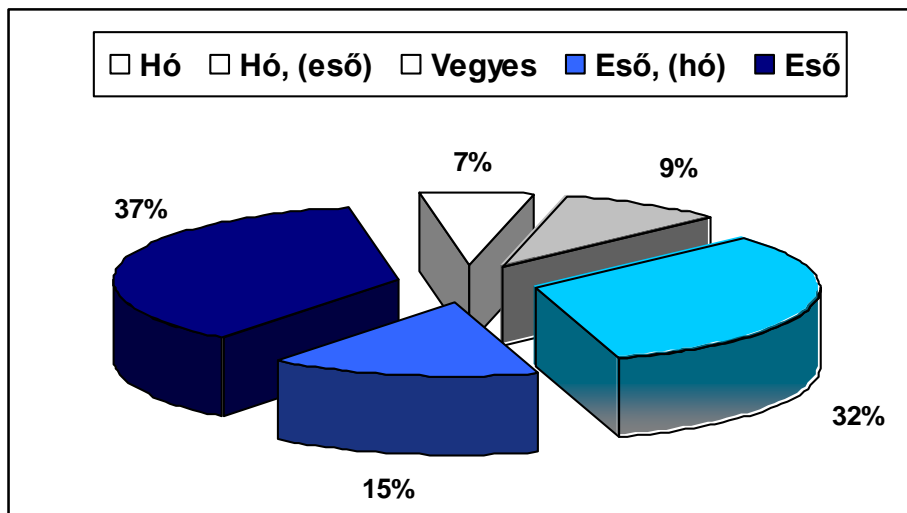
tekintve elmondható, hogy szintén viszonylag gyakori az ország keleti részén dél-észak irányban (S_N3), a déli országrészben kelet-nyugat irányban (W_E1) húzódó csapadékvonal illetve az ország délnyugati részére korlátozódó csapadékgóc (SW típus). Az esetek 36%-ában délnyugat-északkelet irányú tengely menti csapadékeloszlás tapasztalható, míg az erősebb északnyugat-délkelet irányú tengely az esetek csupán 10%-ára jellemző.



2.7. ábra

A csapadék térbeli eloszlását jellemző típusok (baloldalon), illetve típus csoportok (jobboldalon) gyakorisága a vizsgált időszak folyamán

Megvizsgáltuk a téli nagy csapadékos helyzeteket a csapadék halmazállapota szempontjából is (2.8. ábra). Az eseteket 5 csoportra osztottuk: tisztán havas, nagyrészt havas, vegyes halmazállapotú, nagyrészt esős, és tisztán esős helyzetek. Az osztályozás során célunk az volt, hogy a nagy csapadékos helyzet teljes 24-órás időtartamára és az ország területének egészére reprezentatív csapadékfajta típust állapítsunk meg. Például a vegyes halmazállapot típus ezek alapján úgy értelmezendő, hogy az időszak folyamán az országban mind szilárd, mind folyékony halmazállapot előfordult, és egyik sem tekinthető sokkal jellemzőbbnek a másikkal, sem időben, sem pedig térben. Az ónos esőt, fagyott esőt az osztályozás során folyékony csapadéknak tekintettük, a szitálást, ónos szitálást pedig nem vettük figyelembe.

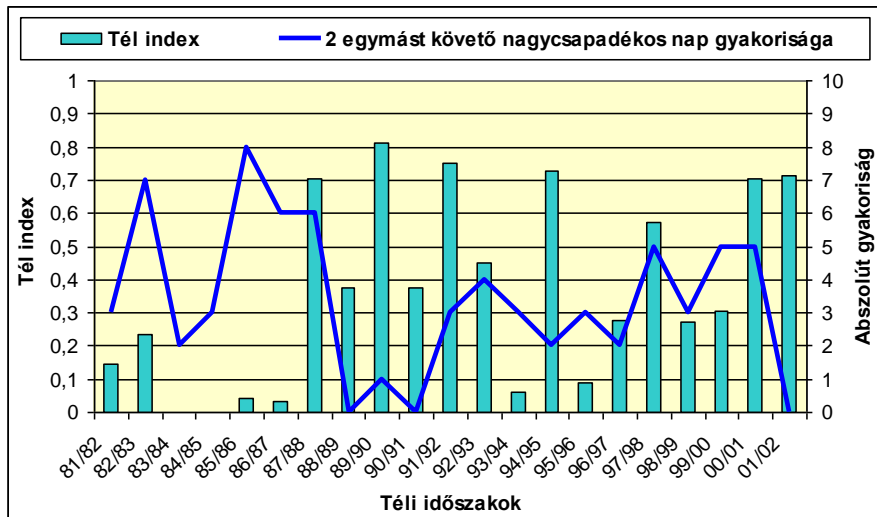


2.8. ábra

A nagy csapadékos helyzetekre jellemző csapadékfajták relatív gyakorisága

A **2.8. ábra** szerint leggyakrabban tisztán eső illetve vegyes halmazállapotú csapadék fordul elő téli nagy csapadékos helyzetekben, mindkettő körülbelül az esetek egyharmadában. Tisztán havas helyzetek nagyon ritkák, és azon esetek aránya is csupán 16%, melyekben legalább nagyrészt szilárd halmazállapotú csapadék a jellemző (tisztán havas és nagyrészt havas helyzetek összesen).

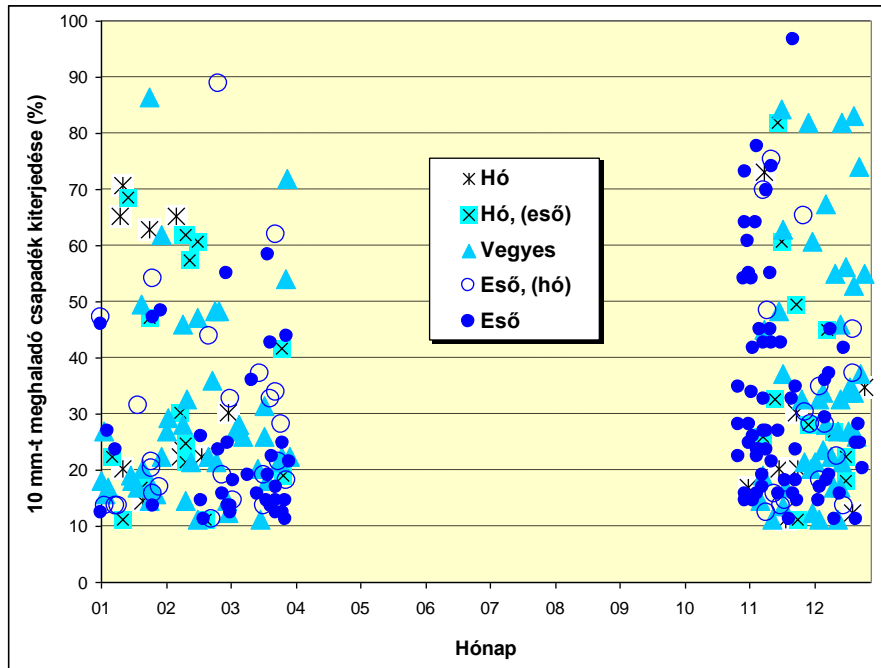
A **2.9. ábrán** az egyes téli időszakokat vizsgáltuk meg abból a szempontból, hogy a nagy csapadékos helyzeteken belül a havas illetve az esős típus volt-e a jellemzőbb. A „tél index” -1 és +1 közötti értékeket vehet fel: -1 az értéke, ha az adott téli időszak minden egyes nagy csapadékos helyzete tisztán havas volt, +1, ha tisztán esős volt és 0, ha kiegyenlítették egymást a folyékony és szilárd halmazállapotú esetek. Látható, hogy a vizsgált időszakban nem fordult elő olyan tél, melyben a havas nagy csapadékos helyzetek voltak jellemzőbbek. Az 1983/84-es és az 1984/85-ös, két egymást követő téli időszakban az index értéke 0, a többi évben viszont – gyakran igen magas – pozitív értékeket láthatunk, ami arról tanúskodik, hogy a magyarországi téli nagy csapadékos helyzetek egyértelmű jellemzője a folyékony halmazállapot felé „hajlás”.



2.9. ábra

A vizsgált téli időszakokra számított ún. „tél index”, és az egymást követő 2 nagy csapadékos nap abszolút gyakorisága

A **2.10. ábrán** bemutatjuk az összes vizsgált esetet az előfordulás dátuma, a jellemző csapadékfajta és területi kiterjedés nagysága függvényében. Az ábráról sok minden leolvasható. Jól megfigyelhető pl., hogy a novemberre, főként annak is első felére jellemző tisztán esős nagy csapadékos helyzeteket decemberben fokozatosan felváltják a vegyes halmazállapotú helyzetek, januárra, februárra pedig növekszik a havazásos esetek aránya. Márciusban aztán ismét egyre több az olyan nagy csapadékos helyzet, ahol folyékony halmazállapotú csapadék a jellemző.



2.10. ábra

A vizsgált téli időszakokban előfordult nagy csapadékos helyzetek az előfordulás időpontja, a jellemző csapadék típus, valamint annak függvényében, hogy az ország hány százalékára terjedtek ki

Ugyancsak megfigyelhető, hogy az igazi téli hónapokban, az igazán jelentősnek nevezhető, az ország több mint félre kiterjedő nagy csapadékos helyzetekben nem fordult elő olyan eset, amikor a csapadék halmazállapota tisztán eső volt (illetve nagyrészt esős helyzet is csupán 2 alkalommal volt ilyen esetben), azaz ilyenkor igen nagy a valószínűsége annak, hogy az ország legalább egy nem elhanyagolható részén hó (is) essen. Azt is észre kell azonban vennünk, hogy tisztán havas helyzetben a 10 mm fölötti csapadék maximum az ország 60-70%-ára terjedhet ki, és ennek januárban illetve február elején a legnagyobb az esélye (és az eredmények alapján ezeknek a már csaknem „országos nagy havazás”-nak nevezhető helyzeteknek a valószínűsége még ekkor is igen csekély).

Ezek az eredmények egybecsengenek azzal a ténnyel, hogy a jelentős mennyiségű csapadék kialakulásához nagy nedvességtartalmú, azaz minél nagyobb potenciálisan kihullható vízmennyiséggel rendelkező levegőre van szükség, mely egyúttal minél enyhébb légtömeget feltételez, és ellentétben áll a szilárd halmazállapotú csapadékhoz szükséges minél alacsonyabb hőmérsékletekkel. A két ellentétes kritérium közötti optimális átmenet (azaz nem túl hideg légtömeg, így még viszonylag magas lehet a nedvességtartalma illetve nem túl enyhe levegő, így még szilárd halmazállapotú csapadék is elképzelhető) nagyon nehezen teljesülhet egyidejűleg egy nagyobb területen. Ennek az az oka, hogy a téli, területi

átlagban nagy mennyiségű csapadék keletkezéséhez szükséges egyéb feltételek, pl. a frontális emelés szükségessége általában jelentős horizontális hőmérsékleti gradiens jelenlétét feltételezi, így az ország kisebb-nagyobb nagyobb részén az említett „optimális átmenet”-től magasabb vagy alacsonyabb hőmérsékleti viszonyok állhatnak fent.

Visszatérve a 2.9.ábrára, ezen az egymást követő 2 nagy csapadékos nap éves gyakoriságát is ábrázoltuk. Általában téli időszakonként 2-5 ilyen alkalom van, de olyan év is előfordult, hogy egyetlen ilyen esemény sem következett be. Az ábrán nem látható, de meghatároztuk, hogy 3 egymást követő nagy csapadékos helyzet 21 év alatt összesen 13 alkalommal fordult elő és 2 olyan is eset is volt, hogy 4 napon keresztül folyamatosan az ország több mint 10%-án 10 mm-t elérő csapadék hullott.

2.3. Téli nagy csapadékos helyzetek szinoptikai osztályozása

2.3.1. Irodalmi áttekintés

A szinoptikus skálájú időjárási rendszerek osztályozása már több mint 60 évvel ezelőttre tekint vissza, amikor *Baur és társai* (1944) bevezették a „Grosswetterlage” kifejezést (időjárási vagy makroszinoptikus helyzet) és megalkották az első, Európára vonatkozó szinoptikai osztályozást. A 21 időjárási típusukkal olyan, általában több napig tartó időszakokat kívántak leírni, amikor a tengerszintre számított légnyomás eloszlása nagyjából ugyanolyan marad egy nagyobb térség, pl. Európa felett. A szinoptikus meteorológia rohamos fejlődését kihasználva, *Hess és Brezowsky* (1952) teljesen átdolgozta ezt az osztályozást. A makroszinoptikus típusaik, az ún. HB-típusok meghatározásakor a tengerszinti nyomásmezőn kívül az immár rendelkezésre álló magasabb légköri szintek tulajdonságait is (pl. 500 hPa-os abszolút topográfia mező) figyelembe vették. A következő években osztályozásukat fokozatosan továbbfejlesztették és kibővítették (*Hess és Brezowsky*, 1969, *Hess és Brezowsky*, 1977, *Gerstengarbe et al.*, 1993). Bár a HB-típusok Közép-Európa középpontúak, de Közép-Európa alatt a kutatók valójában Németországot értették. Európa néhány más országában is folytak vizsgálatok a saját térségükre vonatkozó, speciális tipizálás létrehozására. Ausztriában *Lauscher* (1972) dolgozta ki az ún. kelet-alpesi időjárási helyzeteket, míg *Schüepp* (1968) Svájc számára alkotott saját típusokat.

Az európai trenddel lépést tartva, hamarosan elkészült a speciálisan a Kárpát-medencére kialakított típusrendszer is (*Péczely*, 1957, 1983), melyet a szerző a földrajzi helyzetből adódó speciális helyi hatások (Alpok, Kárpátok, Földközi-tenger) figyelembe vételével dolgozott ki. Ennek az osztályozásnak – már többek által felvetett – alapvető problémája az, hogy csupán a légkör egy pillanatfelvétele alapján készül, s így például egy

Magyarországon átvonuló mediterrán ciklonos helyzet az átvonulás fázisától függően ciklon előoldali, cikloncentrum vagy ciklon hátoldali esetnek is minősülhet. További probléma, hogy *Péczely* a ciklonális és anticiklonális típusokat az alapján különítette el, hogy Magyarország legnagyobb részén a tengerszintre átszámított légnyomás 1015 hPa alatt vagy felett van-e. Egy térség időjárási helyzetének ciklonális vagy anticiklonális jellegét viszont a légnyomás abszolút értékénél annak a környező területekhez viszonyított relatív értéke, illetve az izobárok görbülete sokkal inkább meghatározza.

Ugyancsak a Kárpát-medencére dolgozott ki szinoptikus osztályozást *Bodolainé* (1983). Bár a szerző csak kifejezetten azokat a helyzeteket osztályozta, melyek árhullámot hozhatnak létre a Duna és a Tisza vízgyűjtőjén, a kialakított típusok igen jól felhasználhatók a csapadékkal kapcsolatos szinoptikus-klimatológiai kutatásokban. A tipizálás legfőbb érdeme, hogy olyan talajközeli és magassági mezők alapján történik, melyek viszonylag stabilak, és a makroléptékű időjárási folyamatokat nem csupán egy napon át jellemzik. Az így kialakított makroszinoptikus helyzetek mindig egy folyamatot tükröznek, és nem a légkörnek egy pillanatnyi állapotát, mint több *Péczely*-féle típus. A feldolgozás igen hosszú időszakra terjedt ki, az 1876-1977 között eltelt több mint 100 évet fogja át. *Bodolainé* vizsgálatai szerint nagyobb árhullám általában csak a nagy csapadékot adó időjárási típusok halmozódása révén alakul ki. Télen és tavasszal azonban a felhalmozódott hó olvadásának is nagy szerepe lehet az árhullámok létrejöttében, ezért az ilyen eseteket a szerző külön is megvizsgálta.

Téli nagy csapadékos helyzetek vizsgálatához azonban – előnyei ellenére – ez a típusrendszer sem tökéletes, hiszen csak azokat az eseteket jellemzi, melyek árhullámot hozhatnak létre a Duna vagy a Tisza vízgyűjtőjén, és erre nyilvánvalóan nem az összes téli nagy csapadékos helyzet képes. *Hirsch* (2000) a problémát egy új szinoptikus típus (egy speciális mediterrán ciklon) bevezetésével próbálta megoldani, míg *Babolcsai* és *Hirsch* (2006a) a budapesti nagy havazásos helyzetek osztályozására egy teljesen új típusrendszert dolgozott ki. Vizsgálatainkban az utóbbi utat követjük, a korábbi osztályozások során szerzett tapasztalatokat és azok összes előnyét illetve hátrányát figyelembe véve.

Az eddig említett tipizálások mind szubjektívák, azaz meghatározott meteorológiai elemek mezőinek vizsgálata alapján egy adott személy dönt magukról a kialakítandó típusokról, illetve a későbbiekben adott helyzetek besorolásáról. Objektív osztályozás esetén egy gondosan megszerkesztett algoritmust használnak fel az esetek különböző csoportokra osztására. Ennek előnye, hogy teljesen automatizálható és csakis az algoritmustól függ. A szubjektív osztályozás, bár legnagyobb hátránya, hogy erősen személyfüggő (bizonyos átmeneti helyzeteket nem mindenki ugyanabba a csoportba sorol), de előnyeként kell megemlíteni, hogy az emberi agy kombináló képessége igen magas szintű, amit algoritmusokkal leírni gyakran meglehetősen nehéz, esetleg akár kivitelezhetetlen is lehet. A legjobb megoldás valószínűleg egy olyan eljárás kialakítása lenne, melyben

mind a szubjektív, mind pedig az objektív osztályozás előnyeit kihasználhatnánk.

Néhány példát is bemutatunk objektív módszerek alkalmazására a témakörben. *Ambrózy és társai* (1983) illetve *Bartholy és Kaba* (1987) a HB-típusok objektív módon történő felismerését teremtették meg, és egyben elvégezték az említett típusok korrekcióját is. Az így kialakított évszakos bontású makroszinoptikus típusok jobbnak bizonyultak a Hess-Brezowsky-féle típusoknál.

Bissol és Dittmann (2001) a 700 hPa-os szintre jellemző légtömegadvekciónak, valamint a légkör ciklonalitási és nedvességi karakterisztikáinak felhasználásával alakítottak ki időjárás típus osztályozást, melyet a Német Meteorológiai Szolgálatnál operatíván alkalmaznak. *Busch és Heimann* (2001) klaszter analízis alapú időjárás osztályozást használtak egy regionális klíma modell időbeli extrapolációjához. *Hirsch* (2005) is a klaszter analízis technikát alkalmazta nagy csapadékos helyzetek osztályozására.

2.3.2. Adatbázis és módszer

A téli nagy csapadékos helyzetek szinoptikai osztályozásához az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ERA 40 adatait használtuk fel. Az ERA 40 ún. reanalízis, azaz újra analizált mezőket jelent, melyet az 1957-2002 közötti 45-éves időszakra állítottak elő a jelenleg ismert legmodernebb adatasszimilációs technika és az összes, hozzáférhető mérési adat segítségével (Uppala és társai, 2005). A vizsgálathoz szükséges adatokat az ECMWF MARS adatbázisából kértük le ún. Metview scriptek segítségével, és ugyancsak a Metview programcsomag használatával történt feldolgozásuk illetve megjelenítésük.

Olyan meteorológiai paraméterek mezőit használtuk fel, melyek alapján következtethetünk azokra a szinoptikus skálájú időjárási rendszerekre, amelyek a nagy mennyiségű csapadékot okozták hazánkban. A *tengerszinti légnyomásmező* a felszínközeli ciklonok, anticiklonok elhelyezkedésére, áthelyeződésére, gyengülésére illetve erősítésre enged következtetni. Az egyes *főizobárszintek* (1000, 925, 850, 700, 500 hPa) *abszolút topográfia mezeje* alapján a szinoptikus skálájú folyamatokat a légkör magasabb rétegeiben követhetjük nyomon. Ugyancsak fontos a hőmérsékleti viszonyok ismerete, ehhez a *925, 850* illetve az *500 hPa-os nyomási szint hőmérsékleti mezőit* használtuk fel. A *700 hPa-os szint relatív nedvessége* a fő felhőképződési zóna nedvességi viszonyait írja le, ezért figyelembe vétele szintén elengedhetetlen. A csapadékkal kapcsolatos vizsgálatokhoz fontos paraméter a *potenciális kihullható vízmennyiség* is, mely alapvető a jelentős mennyiségű csapadék kialakulása szempontjából és térbeli eloszlásából a meleg nedves szállítószalag elhelyezkedésére is következtethetünk.

A MARS adatbázisból közvetlenül nem lekérhető, de a csapadékképződés szempontjából igen fontos mennyiség az ún. *dinamikus telítési hiány*, mely azt adja meg, hogy egy adott légréteg összességében milyen távol áll a telítettségtől, azaz gyakorlatilag igen hasonló – de nem azonos – az egy adott szintre vonatkozó harmatpont deficit légrétegre történő kiterjesztéséhez. Ennek a mennyiségnek a meghatározásához a felszín és az 500 hPa-os szint között elhelyezkedő összes modellszint hőmérsékleti, nedvességi és nyomási adatát lekértük az adatbázisból és ezek alapján számítottuk ki értékét minden egyes modell rácspontban. Ugyancsak általunk számított, származtatott mennyiség a *850 hPa-os szintre vonatkozó hőmérsékleti gradiens* mező, amelyből megállapítható a frontok elhelyezkedése, mozgása, intenzitásának változása, és a troposzféra alsó felében fennálló konvergencia helyére és mértékére is következtethetünk.

Az összes, felsorolt paramétert 1°-os térbeli és 6-órás időbeli felbontással (ERA 40 adatok alapján maximálisan ez lehetséges) meghatároztuk az atlanti-európai térségre az 1981/1982 – 2001/2002 közötti téli időszakokra vonatkozóan. Kiszámítottuk a paraméterek havi, a téli időszakra illetve az egész időszakra szóló átlag és szórás mezőit. A szinoptikai osztályozás céljából pedig minden egyes napcsapadékos helyzethez elkülönítettük az adott helyzet időtartamára érvényes mezőket, ami – figyelembe véve a 6-órás időbeli felbontást – paraméterenként 5 mezőt jelent (06, 12, 18, 00 és 06 UTC-s mezők). Ezen felül, minden egyes paraméter esetén meghatároztuk a paraméternek a nagy csapadékos helyzet teljes időtartamára vonatkozó, időben átlagolt mezőit is. Ezek alapján a nagy csapadékos helyzet időtartama alatt lezajló összes folyamatot egyszerre tekinthetjük át, szemben az egy konkrét időpontra vonatkozó mezőkkel, melyek csupán egy pillanatképet jelenítenek meg. Az időbeli átlagolással bizonyos, kisebb skálájú folyamatokat mindenképp kiszűrünk, de mivel az átlagolás rövid időszakra, azaz csupán 1 napra történik, a nagy csapadék kialakulása szempontjából fontos folyamatok nem szűrődnek ki.

A felsorolt mezők alapján, két különböző módszerrel is elvégeztük a téli nagy csapadékos helyzetek szinoptikus osztályozását. A ***szubjektív osztályozás*** menete a következő volt. Legfontosabb információnak a tengerszintre számított légnyomás mezőt, az 500 hPa-os abszolút topográfia mezőt, a 850 hPa-os hőmérséklet mezőt illetve a 700 hPa-os relatív nedvesség mezőt tekintettük. Ezek alapján minden egyes helyzet esetén beazonosítottuk az Európa és azon belül a Kárpát-medence időjárása szempontjából fontos szinoptikus skálájú rendszereket: anticiklonokat, ciklonokat, frontokat, frontális hullámokat, teknőket, gerinceket. 6-órás időbeli felbontással végignéztük a lezajlott folyamatokat és meghatároztuk a nagy csapadék kialakulásának pontos okát. Ugyancsak megtekintettük az egyes helyzetekre vonatkozó átlagmezőket is, melyek sokszor kiemelték a legfontosabb folyamatokat. Ha az említett legfontosabbnak tekintett mezők alapján a jelentős mennyiségű csapadék kialakulásának oka nem volt

egyértelmű, akkor egyéb, rendelkezésre álló mezőket is kielemeztünk. A vizsgált helyzeteket a nagy csapadékot kiváltó folyamatok hasonlósága alapján osztottuk csoportokra, törekedve arra, hogy az ily módon kialakított típusok szinoptikus skálán térjenek el határozottan egymástól, míg adott típuson belül kisebb skálájú eltérések megengedettek legyenek. A szubjektív típusok kialakítását követően ellenőriztük a helyzetek osztályozását, különös tekintettel az átmeneti, két vagy több csoport „keverékeként” felfogható esetekre.

Az **objektív osztályozást** ún. klaszteranalízis segítségével hajtottuk végre, amely már régóta használt, igen elterjedt módszer sokféle osztályozási probléma megoldására (pl. *Fukunga, 1972, Diday és Simon, 1976*). Alapvetően két fő típusa ismert, a hierarchikus módszer és a dinamikus k-közép módszer. A hierarchikus módszer esetén kezdetben minden egyes elem külön klaszterba tartozik, majd egy kiválasztott metrika szerinti egymáshoz legközelebbi elemeket összevonják, újból távolságokat határoznak meg és összevonnak mindaddig, amíg a kívánt számú klasztert nem kapják.

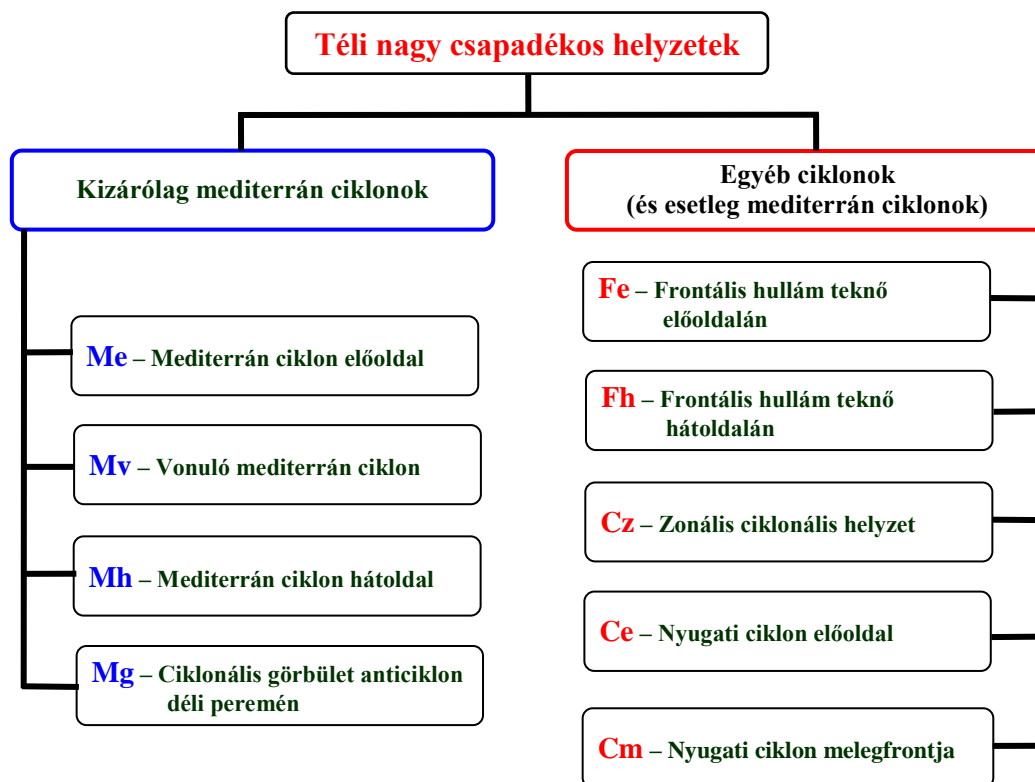
Mivel azonban előre nem kívántuk lerögzíteni az osztályok számát, a dinamikus k-közép módszert alkalmaztuk, ahol a klasztert az elemek súlypontja (klaszter középpont) jellemzi, amely minden egyes elemnek a klaszterbe kerülésével újraszámítódik, így dinamikusan változik. Az elemeket mindig abba a klaszterbe sorolják, melynek középpontjához a legközelebb van. Amikor elfogytak az elemek, a végső középpontokkal újabb iteráció indítható. Az iteráció leállítására valamilyen feltételt kell megfogalmazni, pl. kritériumok adhatóak meg az egyes klaszterek maximális belső távolságára (a klaszter középpont és a klaszterbe eső „legkülső” elem távolsága), a klaszterek minimális egymástól számított távolságára illetve az egyes iterációk során az említett mennyiségek megfelelő konvergenciájának elérésére. Az osztályozás erősen függ ezektől a kritériumoktól illetve a klaszterek távolságának meghatározására használt metrika kiválasztásától.

Esetünkben a klaszterezendő elemek adott meteorológiai paraméternek az egyes nagy csapadékos helyzetek teljes időtartamára átlagolt mezői voltak. Ily módon minden egyes osztályozandó helyzetet egyetlen egy 2-dimenziós mezővel tudtunk reprezentálni, de ennek ellenére a jelentős mennyiségű csapadékot okozó teljes folyamatot figyelembe vettük. Egy-paraméteres klaszterezést hajtottunk végre, azaz egyszerre csak egyetlen meteorológiai elem mezőit tekintettük. Ugyancsak alapvető fontosságú a klaszterezendő terület kijelölése. A 70°N és 30°N szélességi illetve a 10°W és 50°E hosszúsági körök által határolt, gyakorlatilag Európát és szűk környezetét tartalmazó terület mellett döntöttünk, mert ez az összes, a Kárpát-medencére jelentős befolyással bíró szinoptikus skálájú képződményt tartalmazhatja, de ugyanakkor megítélésünk szerint nem haladja meg azt mérettartományt, amely felett már a Kárpát-medence központi szerepe elvesztené jelentőségét.

Kétféle metrikát is alkalmaztunk. A hagyományosnak mondható *euklideszi távolság* (azaz a rácsponti értékek átlagos négyzetes különbségének gyöke) mellett elvégeztük a klaszterezést az ún. Bagrov-féle analógia index módosított változatával is (*Bartholy és Kaba, 1987*). Ennél a metrikánál a tényleges rácsponti értékek összehasonlítása helyett azt vizsgáljuk meg, hogy a két mezőnek az adott paraméter sokéves átlagmezejéhez viszonyított anomáliája azonos irányú-e az egyes rácspontokban. Minél több rácspontban találunk azonos irányú anomáliát, annál hasonlóbbnak tekintjük a két mezőt. Előfordulhat azonban, hogy az összehasonlítandó két rácsponti érték igen közel van egymáshoz, de mivel a vizsgált meteorológiai paraméter sokéves átlaga az adott rácspontban a két érték közé esik, ezért ellentétes irányú anomália jellemző a két mezőnél. Az ilyen esetek kiszűrésére alkalmaztuk az Bagrov-index módosított változatát, amelyben a vizsgált paraméter sokéves szórásának függvényében meghatározott, rögzített távolságon belül (pl. a szórás 1/4-e vagy 1/6-a) azonos irányúnak tekintettük a 2 mező adott rácspontbeli anomáliáját függetlenül attól, hogy ténylegesen az volt-e.

2.3.3. Eredmények

Elsőként a *szubjektív osztályozás* eredményeit mutatjuk be. Célunk az volt, hogy a vizsgált időszakban előfordult minden téli nagy csapadékos helyzetet valamelyik csoportba soroljuk be, azaz ne legyen „típus nélküli” kategória, mint ahogy az némely osztályozásnál előfordul. A **2.11. ábrán** az így kialakított 9 szinoptikus típust mutatjuk be.



2.11. ábra
A szubjektív osztályozással kialakított szinoptikus típusok

Alapvetően 2 fő csoportot különböztettünk meg. 4 típus esetén a Kárpát-medence és közvetlen környéke időjárásának legfőbb alakítója az esetleges anticiklon(ok) mellett döntő mértékben vagy kizárólag mediterrán ciklon volt. Az ebbe a csoportba tartozó helyzeteket elsősorban a mediterrán ciklonnak a Kárpát-medencéhez viszonyított helyzete, illetve áthelyeződésének pályája alapján különböztettük meg. Így előfordult alapvetően ciklon előoldali, hátoldali, mindkettővel jellemezhető, illetve olyan helyzet is, amikor a ciklon a Kárpát-medencétől távolabb helyezkedett el, és nem közvetlenül okozta a jelentős mennyiségű csapadékot.

A fennmaradó 5 típus közös jellemzője, hogy a szinoptikus helyzet kialakításában kizárólag vagy jelentős mértékben nem mediterrán ciklonok vesznek részt. Azaz ezen helyzetek során a nagy csapadék létrejöttében szerepe lehet mediterrán ciklonoknak is, de minden esetben egyéb ciklonoknak is közvetlen hatása van a csapadék mennyiségét illetve halmazállapotát meghatározó folyamatokra. Az ebbe a csoportba tartozó típusok a ciklonközpont elhelyezkedésében és pályájában térnek el, illetve abban, hogy a Kárpát-medencében kialakuló csapadék a ciklonok mely frontjához kötődik.

Az előző meghatározásokban többször elhangzott a mediterrán ciklon kifejezés, ezért szükségesnek tartjuk annak definiálását, hogy ez alatt vizsgálatunkban pontosan mit értünk. *Mediterrán ciklonnak tekintünk minden, a mediterrán térségben (a Földközi-tengeren illetve partvidékén) képződött vagy ide áthelyeződött, zárt izobárokkal rendelkező, szinoptikus illetve szubszinoptikus skálájú alacsonynyomású képződményt.* Tehát a ténylegesen a mediterrán térségben keletkezett ciklonokon kívül ide soroljuk a máshol képződött, de ide áthelyeződött ciklonokat is (pl. nyugatról az észak-atlanti térség déli része felől az Ibériai-félszigeten keresztül, délről az afrikai kontinensről vagy északról, északnyugatról Európa felől).

A mediterrán ciklonok létrejöttének igen gyakori módja, hogy egy nyugat-európai ciklon hidegfrontján hullám képződik, majd a frontális hullám fokozatos erősödésével zárt izobárokkal rendelkező, önálló ciklon mélyülhet ki, amely akár le is szakadhat az említett frontról. A frontális hullám már akkor is kialakulhat, amikor a ciklon hidegfrontja még el sem érte a kontinenst, és aztán ez a hullám helyeződhet a mediterrán térségbe. Ennél sokkal gyakoribb jelenség azonban, amikor a frontális hullám kialakulásában jelentős szerepe van az Alpoknak is. Az Alpok déli oldala, Észak-Olaszország térsége kitüntetett helyszíne a mediterrán ciklonok képződésének, erre utal a „Genovai ciklon” elnevezés is. Az orográfia által elősegített ciklonképződés, a Lee ciklongenezis okait részletesen elemzi *Bluestein* (1993).

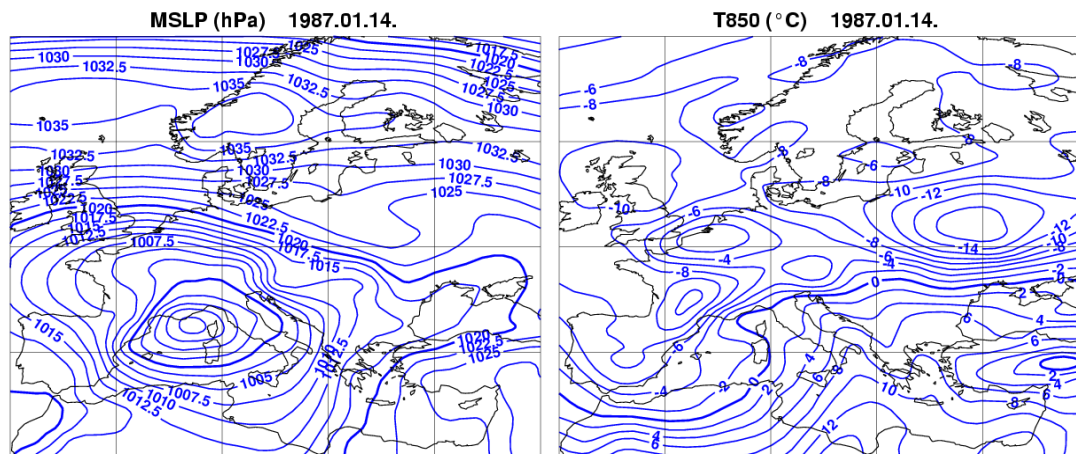
A következőkben az egyes szubjektív típusokat jellemezzük és egy-egy tipikus példát is bemutatunk minden egyes esetre a vizsgált nagy csapadékos helyzetek közül.

Mediterrán ciklon előoldal

A *Mediterrán ciklon előoldal* típus esetén a nagy csapadékos helyzet kialakítója a mediterrán térségben található alacsonynyomású képződmény, mely megközelíti a Kárpát-medencét, de Magyarország végig a ciklon előoldalán marad, azaz a ciklonközepont az egész időszak folyamán hazánktól délnyugatra helyezkedik el (**2.12.ábra**).

A ciklonnak a Kárpát-medencén való átvonulását egyrészt megakadályozhatja egy, a térségtől északra található, stabil anticiklon, mely blokkolja a ciklon északkelet felé történő áthelyeződését. Ugyancsak ilyen hatása lehet annak, ha a ciklon a magasabb légköri szinteken (700 – 400 hPa) is kiépül, azaz zárt izohipszákkal rendelkező, szinte egy helyben örvénylő, magassági ciklon (cut-off ciklon) jön létre középpontjával a felszíni ciklon közelében, amelynek eredményeképpen a felszíni ciklon áthelyeződése – követve a magassági, úgynevezett vezető áramlást – megtorpan. Legtöbbször – bár különböző mértékben –, de mindkét említett hatás fennáll, és alakítja ki ezt az időjárási helyzetet. Meglehetősen ritkán az is előfordulhat, hogy nem tapasztalható egyik említett hatás sem, és a

Kárpát-medence felé közeledő, az átlagosnál jelentősen nagyobb kiterjedésű mediterrán ciklon már akkor is nagy csapadékos helyzetet alakít ki Magyarországon, amikor még középpontja attól jóval délnyugatabbra helyezkedik el, majd ezt követően, újabb jelentős mennyiségű csapadék kíséretében át is vonul a Kárpát-medence felett.



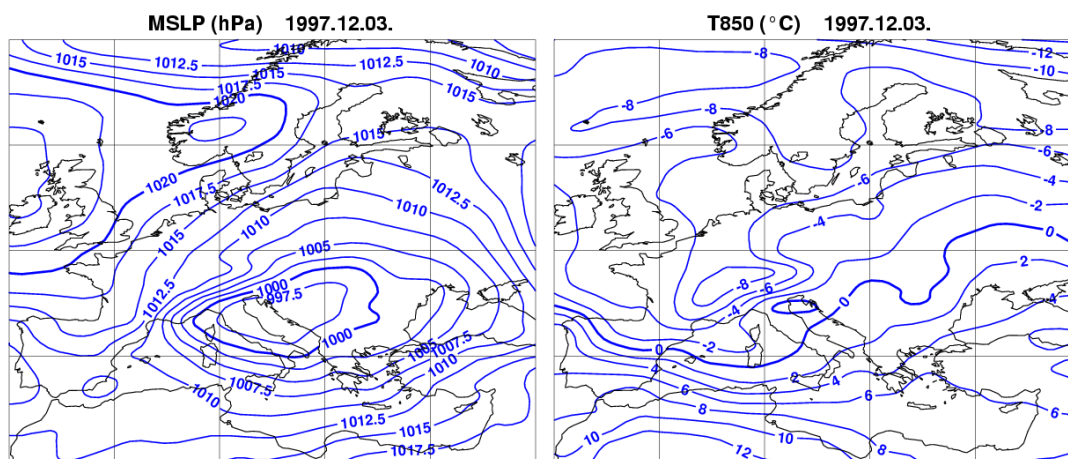
2.12. ábra

A Mediterrán ciklon előoldal (Me) típusra jellemző tengerszinti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobbaldalon) az 1987.01.14. 06 UTC – 01.15. 06 UTC közötti időszak átlagában

Ahogy a 2.12. ábrán is látható, Me típus esetén a Földközi-tenger nyugati medencéjébe a ciklon hátoldalán észak felől hideg levegő zúdul, míg a ciklon előoldalán a Balkán-félsziget és a Kárpát-medence térségébe dél felől meleg, nagy nedvességtartalmú levegő áramlik. A csapadék halmazállapota és mennyisége is jelentősen függ az észak-európai anticiklon létezésétől, illetve attól, hogy mennyire hideg levegő tölti ki azt. A délről történő melegadvekciónal egyidejűleg az anticiklon déli peremén észak, északkelet felől a felszínközeli rétegekben hideg levegő áramlik a Kárpát-medencébe, amely növeli a horizontális hőmérsékleti gradienst, és ha elég hideg az észak, északkelet felől érkező levegő, a frontálzónától északra szilárd halmazállapotú csapadék hullhat, míg attól délre a folyékony halmazállapot a jellemzőbb. Az említett észak-európai anticiklon elhelyezkedése a csapadékmennyiség szempontjából is kritikus jelentőségű, ugyanis ha délebbre található, akkor a 2.12. ábrán is látható erős frontálzóna és az ehhez kapcsolódó jelentős mennyiségű csapadék a Kárpát-medencétől délre jön létre.

Vonuló mediterrán ciklon

A *Vonuló mediterrán ciklon* típus egy olyan, a földközi-tengeri ciklont jelöl, amely eleinte hazánktól délnyugatra helyezkedik el, majd a középpontja északkelet felé mozdul el és átvonul a Kárpát-medence felett. A kezdeti melegadvekción tehát az időszak folyamán a Dunántúlon hidegadvekción váltja fel, ahogy a Kárpát-medence nyugati része fokozatosan a ciklon hátoldalára kerül. A **2.13. ábra** hőmérsékleti mezeje jól szemlélteti a ciklon vonulási irányát és a nyugaton beinduló hidegadvekción. A délnyugat-északkelet irányú, általában gyors áthelyeződést a magasabb szinteken megfigyelhető erős délnyugati áramlás okozza egy magassági teknő előoldalán.



2.13 ábra

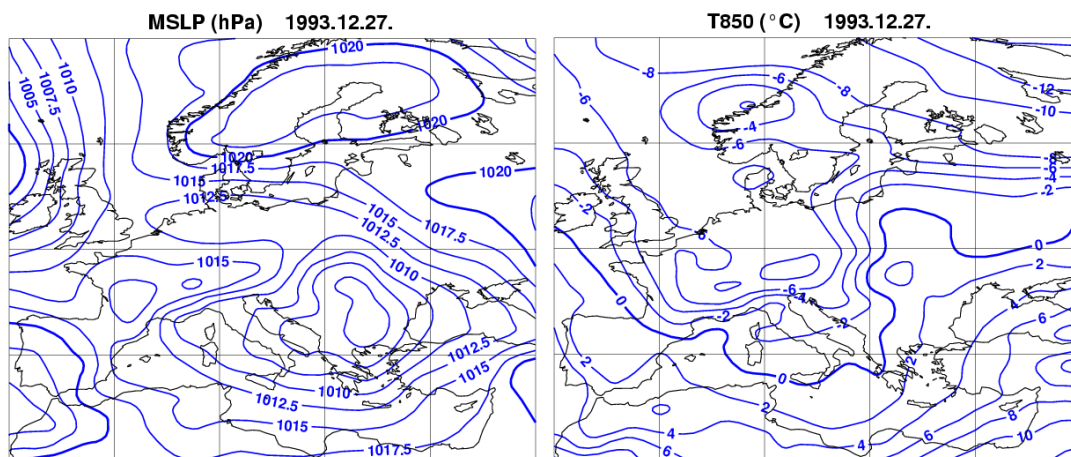
A *Vonuló mediterrán ciklon* (*Mv*) típusra jellemző tengerszinti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobboldalon) az 1997.12.03. 06 UTC – 12.04. 06 UTC közötti időszak átlagában

Előfordulhat, hogy a mediterrán ciklonnak csak egy másodlagos középpontja vonul át a Kárpát-medence fölött, míg az eredeti ciklonközepont továbbra is hazánktól délnyugatra marad. Ez az *Me* és az *Mv* helyzet keverékének tekinthető és meglehetősen nehéz osztályozni. Vizsgálatunkban ilyen helyzetekben aszerint döntöttünk, hogy a másodlagos ciklonközepont mögött az időszak második felében megjelent-e hátoldal a Dunántúl térségében (inkább *Mv*-nek tekinthető) avagy sem (inkább az *Me* helyzetek közé sorolható).

A Kárpát-medencén keresztülhaladó ciklonokat egyébként már *van Bebber* is azonosította (1891), ez a közismert nevén *Vb* ciklonpálya. A ciklon pontos pályája alapvető jelentőségű a csapadék halmazállapota szempontjából. Mind a ciklonpálya iránya, mint pedig pontos elhelyezkedése igen fontos a ciklonelőoldal illetve hátoldal térbeli helyzetének fejlődését illetően. A leggyakoribbnak tekinthető, az ország déli, délnyugati részén

belépő és északkeleten az országot elhagyó ciklonpálya esetén, a keleti, délkeleti országrészben tapasztalható legtovább melegadvekciónak, így általában ott a legnagyobb a folyékony halmazállapotú csapadék esélye, míg a Dunántúlon, ahol a kezdeti melegadvekciónak rövid idő elteltével hidegadvekciónak váltja fel, akár az egész időszak folyamán szilárd halmazállapotú csapadék hullhat. A délnyugat-északkeleti irányú ciklonáthelyeződés mellett előfordulhatnak inkább a dél-észak illetve nyugat-kelet irányhoz közelebb álló, a Kárpát-medence különböző részein keresztülvezető ciklonpályák is.

Mediterrán ciklon hátoldal



2.14. ábra

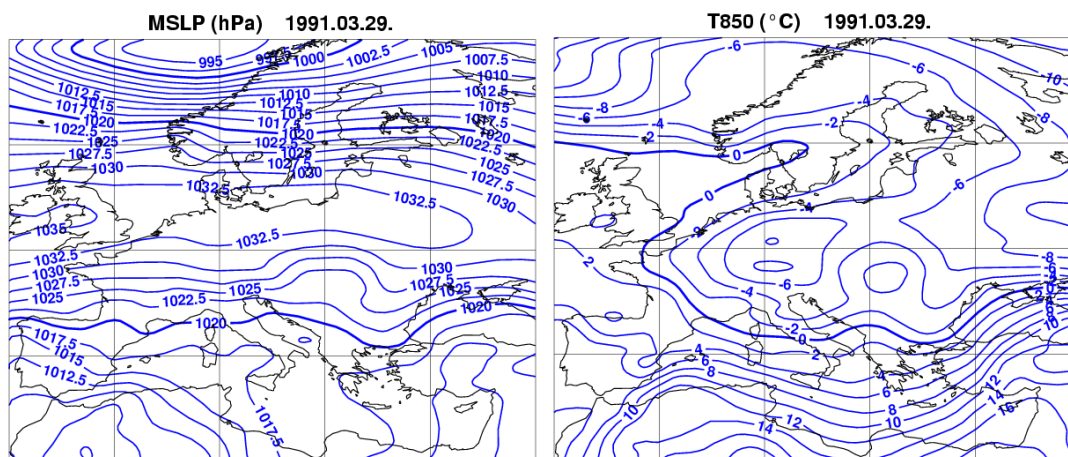
A Mediterrán ciklon hátoldal (Mh) típusra jellemző tengersizti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobboldalon) az 1993.12.27. 06 UTC – 12.28. 06 UTC közötti időszak átlagában

A harmadik, ugyancsak mediterrán ciklont tartalmazó típusnál a Kárpát-medence legnagyobb, nyugati és középső része a teljes időszak folyamán a ciklon hátoldalán helyezkedik el, míg a medence keleti részére kisebb-nagyobb mértékben benyúlik a ciklon melegszekektora, mint ahogy az a **2.14. ábrán** is látható. A *Mediterrán ciklon hátoldal* típusra általában az jellemző, hogy a ciklon középpontja eleinte a Kárpát-medencétől délre, majd keletre, északkeletre található, miközben Magyarország egy magassági tekón tengelyének vagy egy magassági ciklon középpontjának a közelében helyezkedik el. Ritkábban ugyan, de szintén előfordul, hogy a mediterrán ciklon délkelet felől éri el a Kárpát-medencét, és mozgása általában annak keleti felén lelassul. Az elmondottakból következik, hogy rendkívül sokféle ciklonpálya köthető ehhez a típushoz, de mindegyikben közös az, hogy Magyarország jelentős része időjárásának alakításában a ciklon hátoldal illetve az úgynevezett hátrahajló okklúzió játssza a legnagyobb szerepet. A

ciklon felszínközeli, többé-kevésbé záródott melegszekektora úgynevezett „melegnyelv” formájában kelet felől az ország középső, ritkábban akár a nyugati részét is érintheti, esetenként – főként a téli időszak végén – bizonytalanra téve a csapadék halmazállapotát a ciklon hátoldalán is.

Ciklonális görbület anticiklon déli peremén

A *Ciklonális görbület anticiklon déli peremén* típust a mediterrán ciklonok közé soroltuk, de ebben az esetben az eddigiekkel ellentétben a mediterrán ciklon nem közvetlen okozója a jelentős mennyiségű csapadéknak. A ciklon középpontja a Kárpát-medencétől jóval délebbre, délkeletebbre (a 40°-os szélességi körnél vagy attól délebbre) található.



2.15. ábra

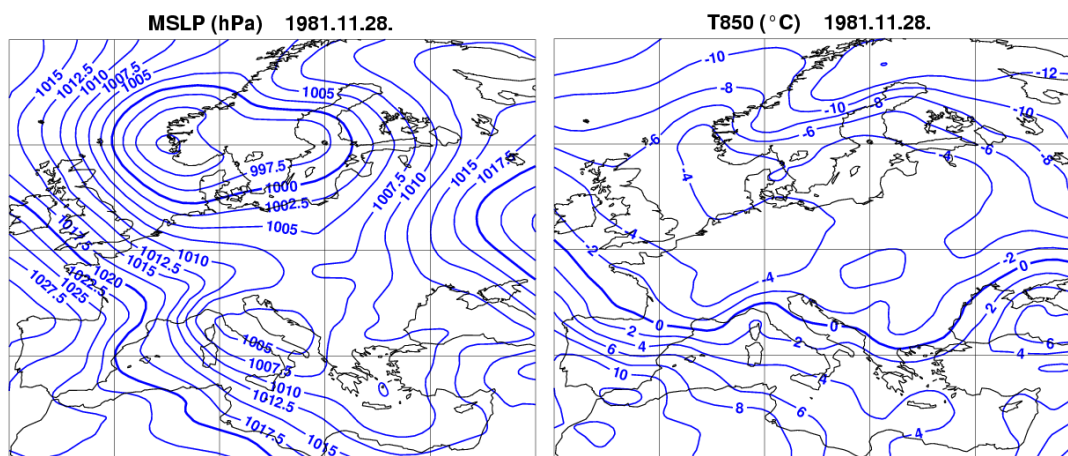
A Ciklonális görbület anticiklon déli peremén (Mg) típusra jellemző tengerszinti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobboldalon) az 1991.03.29. 06 UTC – 03.30. 06 UTC közötti időszak átlagában

Ennél a típusnál alapvető fontosságú a Magyarországtól északra elhelyezkedő anticiklon, amelynek hideg levegője körül folyja a Kárpátok hegyvonulata által körülvevett Kárpát-medencét, igen jellegzetes felszíni nyomás képet kialakítva (2.15. ábra). Az ily módon, a Kárpát-medence térségében kialakult ciklonális görbületű területen összeáramlás figyelhető meg, amely kellő nedvesség megléte esetén – vizsgálataink szerint – területi átlagban is jelentős csapadék kialakítására képes a téli időszakban Magyarországon.

Ugyancsak jellegzetes képet mutat a felszínközeli, pl. a 850 hPa-os hőmérsékleti mező (2.15. ábra). Alacsony szinteken ugyanis a Kárpátok hegyvonulatát körül folyó hideg levegő északnyugaton a Dévényi-kapunál, északkeleten pedig a Vereckei-hágó térségében talál utat magának, a medence középső részére szorítva az enyhébb, nedvesebb levegőt. A csapadék mennyisége és halmazállapota adott helyen ilyenkor

nagymértékben függ a hidegbetörés előtt a medencét kitöltő levegő hőmérsékletétől, illetve attól is, hogy az északnyugatról vagy az északkeletről történő hideg levegő beáramlás az erősebb, és ennek következtében pontosan hol alakul ki a maximális konvergencia területe. Ezt a jelenséget a Kaukázus és az Alpok térségében már *Hromov* (1952) is leírta, és orografikus okklúzióknak nevezte el. Nem sokkal később, a jelenség kárpát-medencei beazonosítására is sor került, és *Ozorai* (1956) részletesen is megvizsgálta kialakulásának feltételeit. A tárgyalt szinoptikus típusnál igen eltérő magassági geopotenciál-mező állhat fent, így jellemző konfiguráció nem állapítható meg. A kontinens középső része felett elhelyezkedő kelet-nyugati tengelyű teknő mellett gyakori a Földközi-tenger valamely részén örvénylő magassági ciklon is.

Frontális hullám teknő előoldalán



2.16. ábra

A Frontális hullám teknő előoldalán (Fe) típusra jellemző tengerszinti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobb oldalon) az 1981.11.28. 06 UTC – 11.29. 06 UTC közötti időszak átlagában

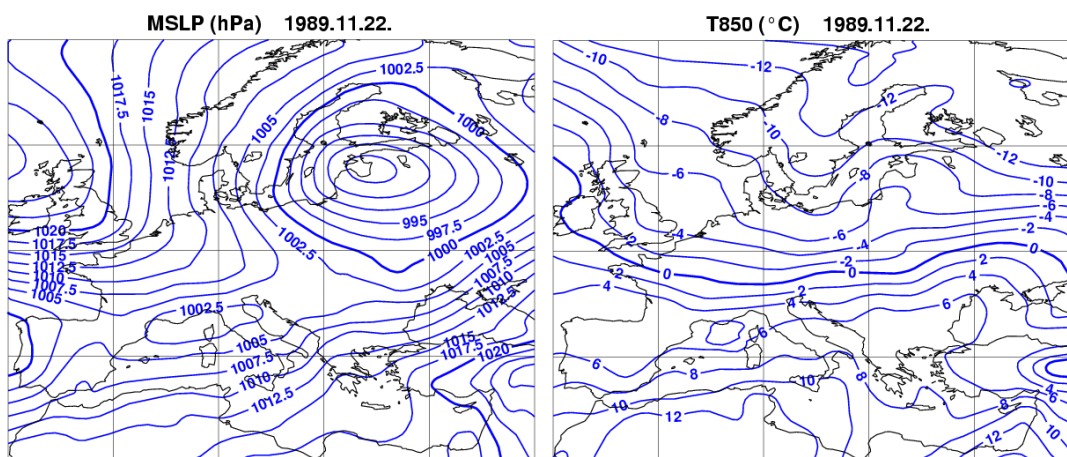
A *Frontális hullám teknő előoldalán* típus legfontosabb jellemzője, hogy mind a felszín közelében, mind pedig a magasabb szinteken Észak-, Északnyugat-Európától egészen a Földközi-tenger nyugati illetve középső medencéjéig teknő húzódik. A felszíni teknő tengelye a Kárpát-medence fölött vagy attól nyugatra található. Ahogy a **2.16. ábrán** is látható, Magyarországtól északra ciklon vonul nyugatról kelet felé. A ciklon hidegfrontján hullám képződik, amely gyakran tovább mélyül, érinti a Kárpát-medencét is, és közvetlenül ehhez a hullámhoz kötődik a nagy csapadék kialakulása térségünkben.

Az említett frontális hullám leggyakrabban orografikus okokból, az Alpok hatására jön létre attól délre, Észak-Olaszország térségében, azaz

Lee-ciklogenezisről beszélhetünk (Bluestein, 1993). A magasabb szinteken jellemző teknő előoldali helyzet következtében fennálló délnyugati áramlás hatására pedig a frontális hullám Észak-Olaszország térségéből fokozatosan északkelet felé helyeződik át, így a Kárpát-medencén is áthalad. Az Fe típus ezen leggyakoribb változata az elmondottak alapján igen hasonló a *Vonuló mediterrán ciklon* típusához. Ami miatt különbséget tettünk a kettő között, az a Kárpát-medencétől északra elhelyezkedő ciklon, mely az Mv típusnál hiányzik vagy csak az időszak legelején mutatható ki. A Kárpát-medence és az attól közvetlenül északra lévő térség ezen ciklon melegszekektorában helyezkedik el, így Fe helyzetben az északabbra található hideg levegő nem képes elérni a Kárpát-medencét, míg az Mv típusnál bizonyos feltételek teljesülése esetén igen.

Ritkábban az északi ciklon hidegfrontján már azt megelőzően hullám képződhet, hogy elérné az Alpok térségét. Ekkor előfordulhat, hogy a frontális hullám a korábban leírtnál északabbi pályán haladva érinti a Kárpát-medencét. Bármilyen legyen is a hullám pályája, vizsgálataink szerint a jelentős mennyiségű csapadék kialakulásához mindenképp szükséges az, hogy érintse a Kárpát-medence térségét. Az egyes esetekben igen eltérő lehet a frontális hullám fejlettsége abban az időszakban, amikor a nagy csapadékos helyzetet okozza hazánkban. A leggyengébb kezdeti hullám állapottól egészen a zárt izobárokkal rendelkező, peremciklonnak is tekinthető fejlettségi állapotig különböző fokozatok fordulhatnak elő.

Frontális hullám teknő hátoldalán



2.17. ábra

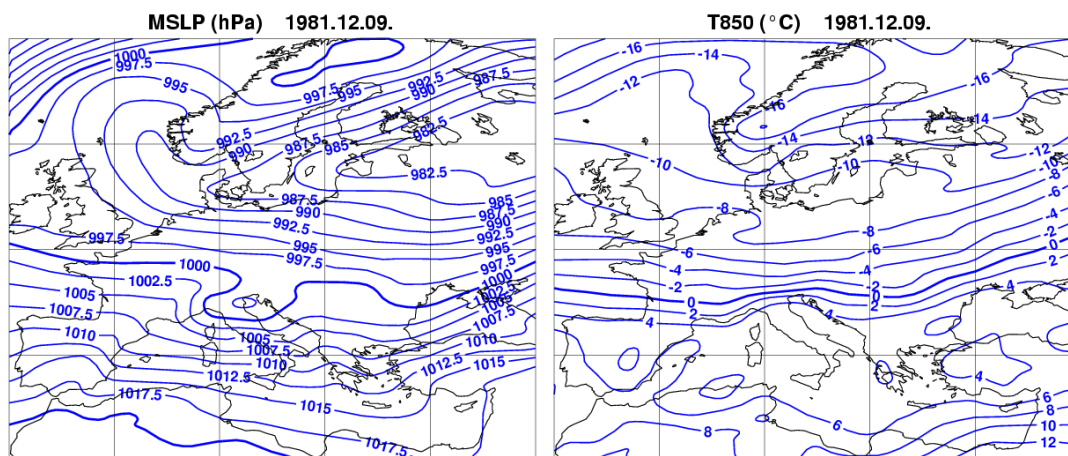
A Frontális hullám teknő hátoldalán (Fh) típusra jellemző tengerszinti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobboldalon) az 1989.11.22. 06 UTC – 11.23. 06 UTC közötti időszak átlagában

A *Frontális hullám teknő hátoldalán* típus esetén is egy hullám hatására lelassul a Kárpát-medencén keresztülhaladó hidegfront és a hullám

térségében megerősödik a csapadékvevényesség. Ebben az esetben azonban mind a felszín közelében, mind pedig a magasabb szinteken a teknő keletebbre található. A felszínen a Kárpát-medencétől északra eső területek már egyértelműen a teknő hátoldalán helyezkednek el (2.17. ábra), és ezeken keresztül észak, északnyugat felől hideg levegő áramlik a Kárpát-medence irányába, ahova ezzel egy időben a hullám előoldalán dél, délnyugat felől enyhe levegő áramlik. A két ellentétes irányú áramlás következtében egy igen erős hőmérsékleti gradiensű zóna jön létre, amely mentén alakul ki a jelentős csapadék.

Magasabb szinteken a Kárpát-medence általában a teknő tengelyének környékén van, vagy egy kelet-nyugati tengelyű magassági teknő található a térségtől északra, így a frontális hullám – az Fe típusal ellentétben – általában nem délnyugatról északkelet felé helyeződik át, hanem nyugatról keletre vagy még gyakrabban északnyugatról délkelet felé, így az országnak általában kisebb részét érinti. Gyakran fordul elő az is, hogy a frontális hullám ilyen helyzetben csak a Kárpát-medencétől délre, a Balkán félszigeten okoz jelentős csapadékot.

Zonális ciklonális helyzet



2.18. ábra

A Zonális ciklonális helyzet (Cz) típusra jellemző tengerszinti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobbaldalon) az 1981.12.09. 06 UTC – 12.10. 06 UTC közötti időszak átlagában

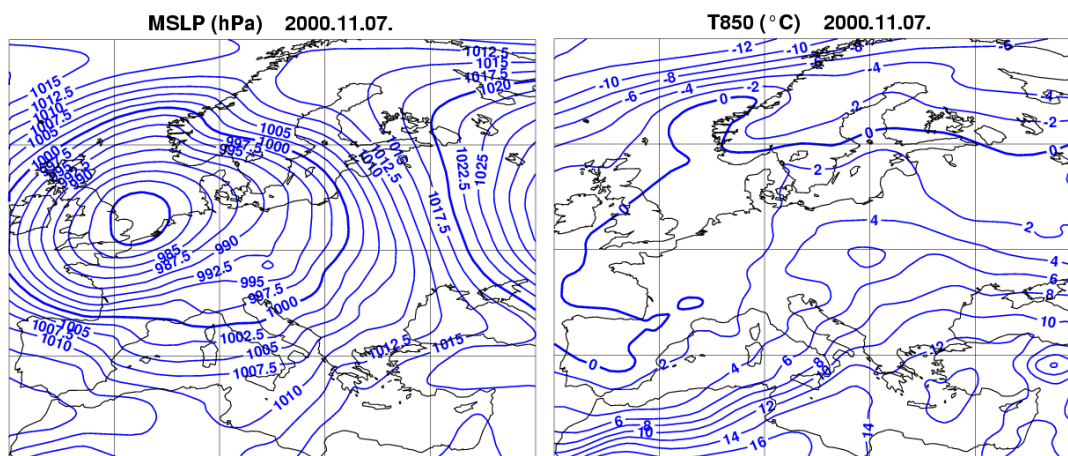
A Zonális ciklonális helyzetben Észak-Európa felett hatalmas kiterjedésű ciklonrendszer örvénylik. A ciklonrendszer déli peremén, a kontinens középső és gyakran déli részén is az áramlás mind az alsó, mind pedig a magasabb szinteken alapvetően nyugatias (2.18. ábra). Az Fe és Fh típusokra jellemző kifejezett teknő ebben a helyzetben hiányzik, és ennek következtében hiányzik a teknő előoldali délies, illetve teknő hátoldali

északias áramlás is. A nagy területre kiterjedő nyugatias áramlás a 850 hPa-os szint hőmérsékleti eloszlásában is jól megfigyelhető (2.18. ábra).

A hatalmas észak-európai ciklonrendszer gyors mozgású, kelet felé vonuló frontjai illetve az ezen kialakuló gyenge frontális hullámok és peremciklonok érintik a Kárpát-medence térségét. Mivel az említett időjárási rendszerek nagy sebességgel helyeződnek át kelet felé, ahhoz, hogy területi átlagban is jelentős csapadék hulljon Magyarországon, igen speciális feltételek szükségesek (erős konvergencia, nagy nedvességtartalmú levegő, erős feláramlás, labilitás), melyek csak ritkán állnak fenn.

Nyugati ciklon előoldal

A *Nyugati ciklon előoldal* típus esetén középpontjával a Kárpát-medencétől nyugatra, északnyugatra egy általában nagy kiterjedésű, többnyire helyben örvénylő ciklon található (2.19. ábra). Magyarország a ciklon melegszektorában helyezkedik el, délies irányból fokozatos melegadvekción zajlik. A ciklon hidegfrontja Nyugat-Európán és a Földközi-tenger nyugati medencéjén keresztül egészen Északnyugat-Afrikáig is eljuthat, de a Kárpát-medencét nem éri el. A magasban általában kétféle típusú geopotenciál-mező fordul elő. Tengelyével az Atlanti-óceán vagy Nyugat-Európa felett elhelyezkedő teknő, Közép-Európa a távoli teknő előoldalán illetve a keletebbre található gerinc hátoldalán vagy egy kelet-nyugati tengelyű teknő a térségtől északra.



2.19. ábra

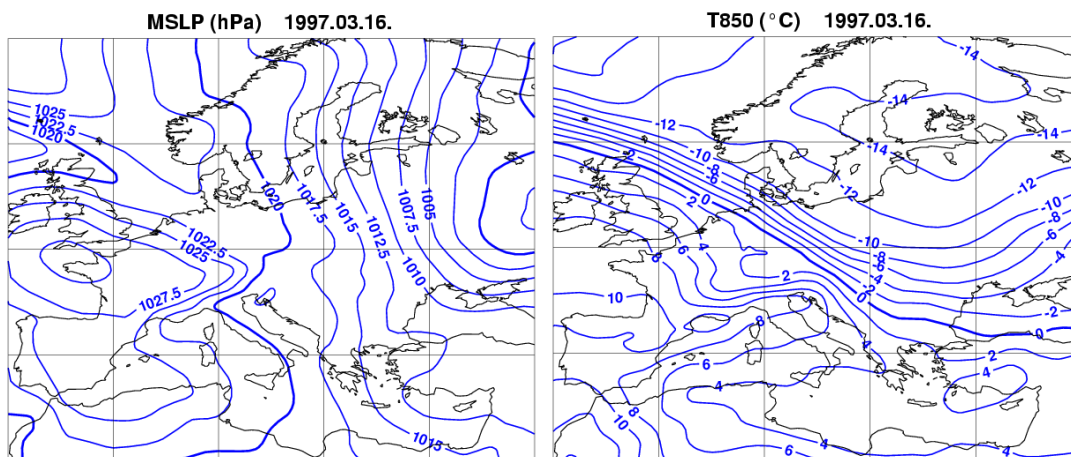
A *Nyugati ciklon előoldal (Ce)* típusra jellemző tengerszinti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobbaldalon) a 2000.11.07. 06 UTC – 11.08. 06 UTC közötti időszak átlagában

Az egyes esetekben a ciklon középpontjának helyzete és távolsága a Kárpát-medencétől (mely szélességi és hosszúsági körön helyezkedik el) illetve a

ciklon kiterjedése meglehetősen eltérhet, abban azonban egyezés tapasztalható, hogy az időszak folyamán a ciklon alig változtatja helyét. A kelet felé történő áthelyeződést szinte minden esetben egy kelet-európai anticiklon blokkolja. Az anticiklon helyzete döntő jelentőségű a csapadék kialakulási helye és halmazállapota szempontjából. Minél nyugatabbra terjed ki az anticiklon, annál kevésbé képes fölénk helyeződni a nyugati ciklon melegszekektora, és ekkor a melegfront mentén illetve attól keletre, északkeletre az anticiklon hidegebb felszín közeli levegőjében szilárd halmazállapotú csapadék hullhat.

Nyugati ciklon melegfrontja

Az utolsó, szubjektív téli nagy csapadékos típus a *Nyugati ciklon melegfrontja* elnevezést kapta. Ez a helyzet a felszíni nyomásmező és a magassági geopotenciál-mezők tekintetében igen változatos képet mutat. Ami viszont nagyon jellegzetes az összes, ebbe a típusba sorolt esetre, az az, hogy a nagy csapadék kialakulása egyértelműen egy általában a Kárpát-medencétől távol északnyugatra, nyugatra elhelyezkedő ciklon melegfrontjához köthető. A **2.20. ábrán** világosan látható az Atlanti-óceán északi részétől Dánián keresztül egészen a Kárpát-medencéig húzódó, nagy hőmérsékleti gradiensű zóna, amely a Brit-szigetektől északnyugatra található távoli ciklon melegfrontjának tekinthető és Magyarország térségében egyértelműen ez okozta a jelentős mennyiségű csapadékot.



2.20. ábra

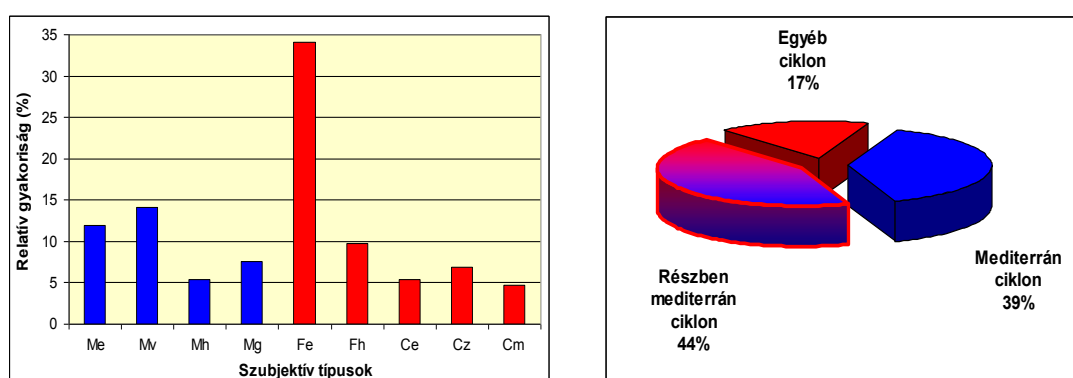
A Nyugati ciklon melegfrontja (Cm) típusra jellemző tengersizti nyomásmező (baloldalon) és 850 hPa-os hőmérséklet eloszlás (jobbaldalon) az 1997.03.16. 06 UTC – 03.17. 06 UTC közötti időszak átlagában

Leggyakrabban – a bemutatott esethez hasonlóan – ebben a helyzetben Közép-Európa mind az alacsonyabb, mind pedig a magasabb szinteken

teknő hátoldalán helyezkedik el. A magassági teknő északnyugati részén (a hátoldal bevezető szakaszán) egy újabb kimélyülés, ún. rövidhullámú teknő látható, amely a nagytérségű (hosszúhullámú) teknő mentén fokozatosan délkelet felé helyeződik át, és a hozzá kapcsolódó felszíni ciklon melegfrontja tartósan a Kárpát-medence felett húzódik, legjellemzőbben északnyugat-délkelet irányban átszelve azt. Vizsgálataink során talákoztunk néhány nyugat-keleti tengelyű, ugyancsak a Kárpát-medencén keresztül húzódó melegfronttal is, amelyekhez kapcsolódó nyomási kép jelentősen eltért a fent vázolttól. Mivel azonban a nagy csapadékos helyzetet hasonló folyamat eredményezte, és mivel kevés ilyen esetet találtunk, ezeket is a Cm típushoz soroltuk.

Az egyes típusok jellemzése alapján is nyilvánvaló, hogy bizonyos típusok között némely tekintetben hasonlóság áll fenn. Több alkalommal előfordultak olyan helyzetek, melyek kettő vagy akár több típus közötti átmenetként voltak felfoghatóak. Ilyen esetekben, mivel célunk viszonylag kisszámú, átfogó típus létrehozása volt (nagyszámú, gyakran csak egyes részletekben különböző típus helyett), ezért megpróbáltuk az „átmenetnek” tekinthető helyzetet ahhoz a típushoz sorolni, amely alaptulajdonságait leginkább magán hordozta.

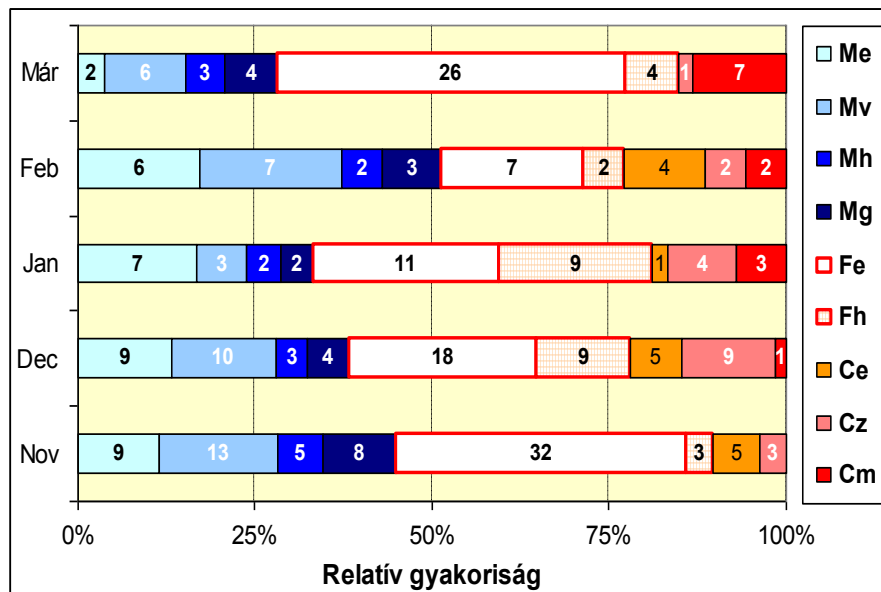
A következőkben részletesen bemutatjuk ez egyes típusok legfontosabb tulajdonságait. A **2.21. ábrán** a szubjektív típusok előfordulási gyakoriságát ábrázoltuk. Kiemelkedő az Fe típus gyakorisága: az összes eset több mint 1/3-át ilyen helyzet okozza. Ezt az Mv és az Me típusok követik 14 illetve 12%-kal, míg a többi típus gyakorisága téli nagy csapadékos helyzetekben 5-10% között mozog. Kiemelendő, hogy az esetek csupán 17%-ában biztosan nem vesz részt mediterrán ciklon a nagy csapadékos helyzet kialakításában, míg az esetek 39%-ában egyértelműen mediterrán ciklonok játsszák a fő szerepet.



2.21. ábra

A szubjektív szinoptikus típusok (baloldalon), illetve az ezekből képzett csoportok (Mediterrán ciklon: Me, Mv, Mh, Mg, Részben mediterrán ciklon: Fe, Fh, Egyéb ciklon: Ce, Cz, Cm) relatív gyakorisága téli nagy csapadékos helyzetekben (jobbaldalon)

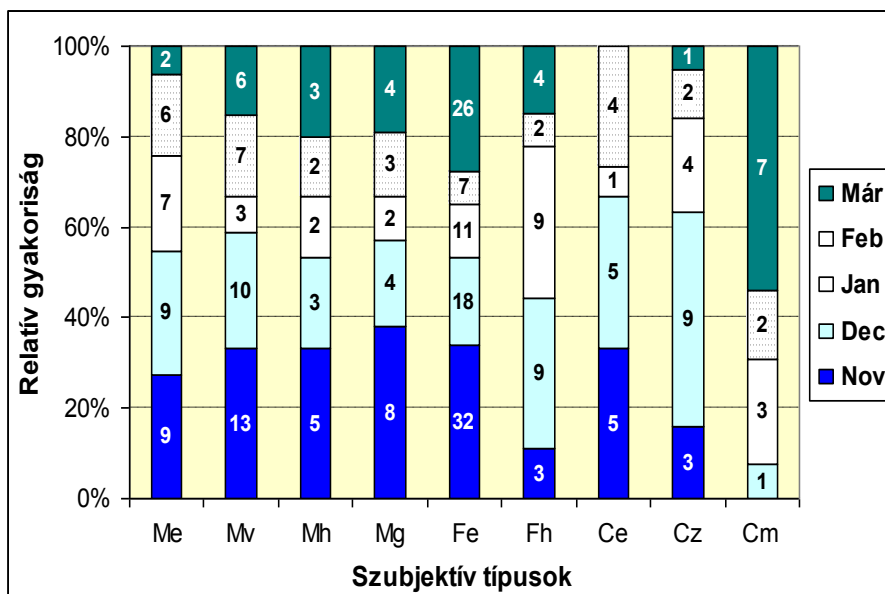
A téli időszak minden hónapjában az Fe típus okozza a legtöbb nagy csapadékos helyzetet (fölénye a többi típussal szemben márciusban a legszembetűnőbb), kivéve februárt, amikor az Mv típus is ugyanolyan arányban kiváltója a vizsgált helyzeteknek (2.22. ábra).



2.22. ábra

A szubjektív típusok aránya az egyes hónapokon belül a téli nagy csapadékos helyzetekben (a számok az abszolút gyakoriságot jelölik)

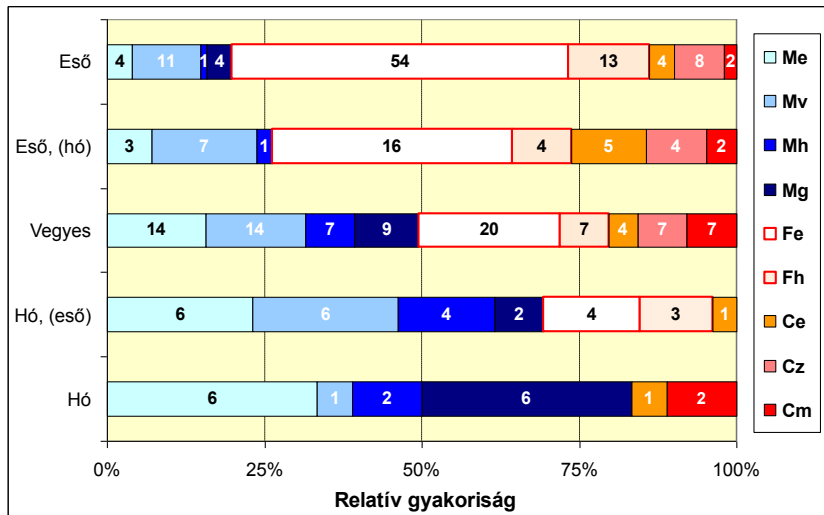
Azoknak nagy csapadékos helyzeteknek az aránya, melyek létrejöttében mediterrán ciklon egyáltalán nem vesz részt, egyik hónapban sem éri el a 25%-ot, és februárban az esetek több mint felét egyértelműen mediterrán ciklon okozza. Az Fe típus és a legtöbb mediterrán ciklon típus is (kivéve az Me helyzetet) novemberben a leggyakoribb téli nagy csapadékos helyzetben, míg januárra vagy februárra esik előfordulásának minimuma (2.23. ábra). A Cz típus főként decemberben, az Fh a téli időszak közepén okoz leggyakrabban nagy csapadékot, míg – érdekes módon – a Cm típus egyértelműen márciusban, amikor Ce típus a vizsgált időszak folyamán egyszer sem volt nagy csapadékos helyzet kiváltója.



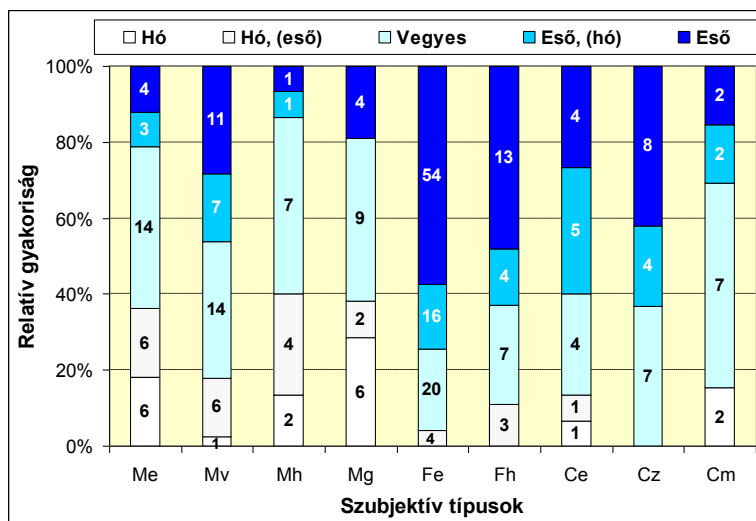
2.23. ábra

A szubjektív típusok havi előfordulási gyakorisága az adott típus összes téli nagy csapadékos helyzetben történő előfordulásához képest (számok: abszolút gyakoriság)

Nagyon érdekes eredményre vezet, ha megvizsgáljuk a csapadék halmazállapotának és a szinoptikus helyzetnek a kapcsolatát (2.24. és 2.25. ábra). Tisztán havas nagy csapadékos helyzetet a mediterrán ciklonokon kívül csak a Ce és a Cm típus tudott okozni, összesen 3 alkalommal; a Cz, Fe és Fh típusok erre képtelenek voltak. Leggyakrabban olyan mediterrán ciklonok tudták kialakítani ezt a ritka helyzetet, melyek középpontja távol volt a Kárpát-medencétől (Me és Mg), és talán nem véletlenül ugyanez jellemző a Ce és Cm, nem mediterrán ciklonos helyzetekre is, melyek szintén képesek voltak erre. Ahogy a folyékonytól a szilárd halmazállapotig haladunk, látványosan növekszik a kizárólag mediterrán ciklont tartalmazó típusok aránya (kezdeti alig 20%-ról több mint 80%-ra!), s ezzel párhuzamosan fokozatosan csökken az Fe típus relatív gyakorisága, egészen 0%-ig. A halmazállapot tekintetében tehát igen nagy eltérést tapasztalható az egyes típusok között.



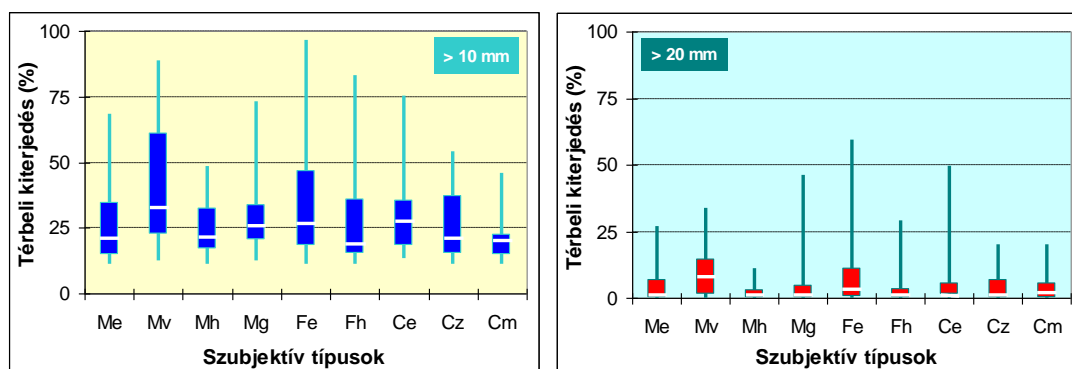
2.24. ábra
 A szubjektív típusok aránya a különböző halmazállapotú téli nagy csapadékos helyzeteken belül
 (számok: abszolút gyakoriság)



2.25. ábra
 A szubjektív típusok különböző halmazállapothoz köthető előfordulási gyakoriságai az adott típus összes téli nagy csapadékos helyzetben történő előfordulásához képest
 (számok: abszolút gyakoriság)

Cz helyzetben, amikor az erős nyugati áramlás átkeveri a levegőt, legfeljebb vegyes halmazállapotú nagy csapadékos helyzet alakulhat ki az esős helyzeteken kívül. Tisztán esős helyzetre mediterrán ciklon hátoldalán legkisebb az esély. A mediterrán ciklon előoldali, hátoldali és a ciklonális görbületű helyzet „havasság” szempontjából feltűnően hasonlóak, a vonuló mediterrán ciklon azonban már kevésbé „havas”, így ebben a tekintetben inkább az egyéb helyzetekre hasonlít.

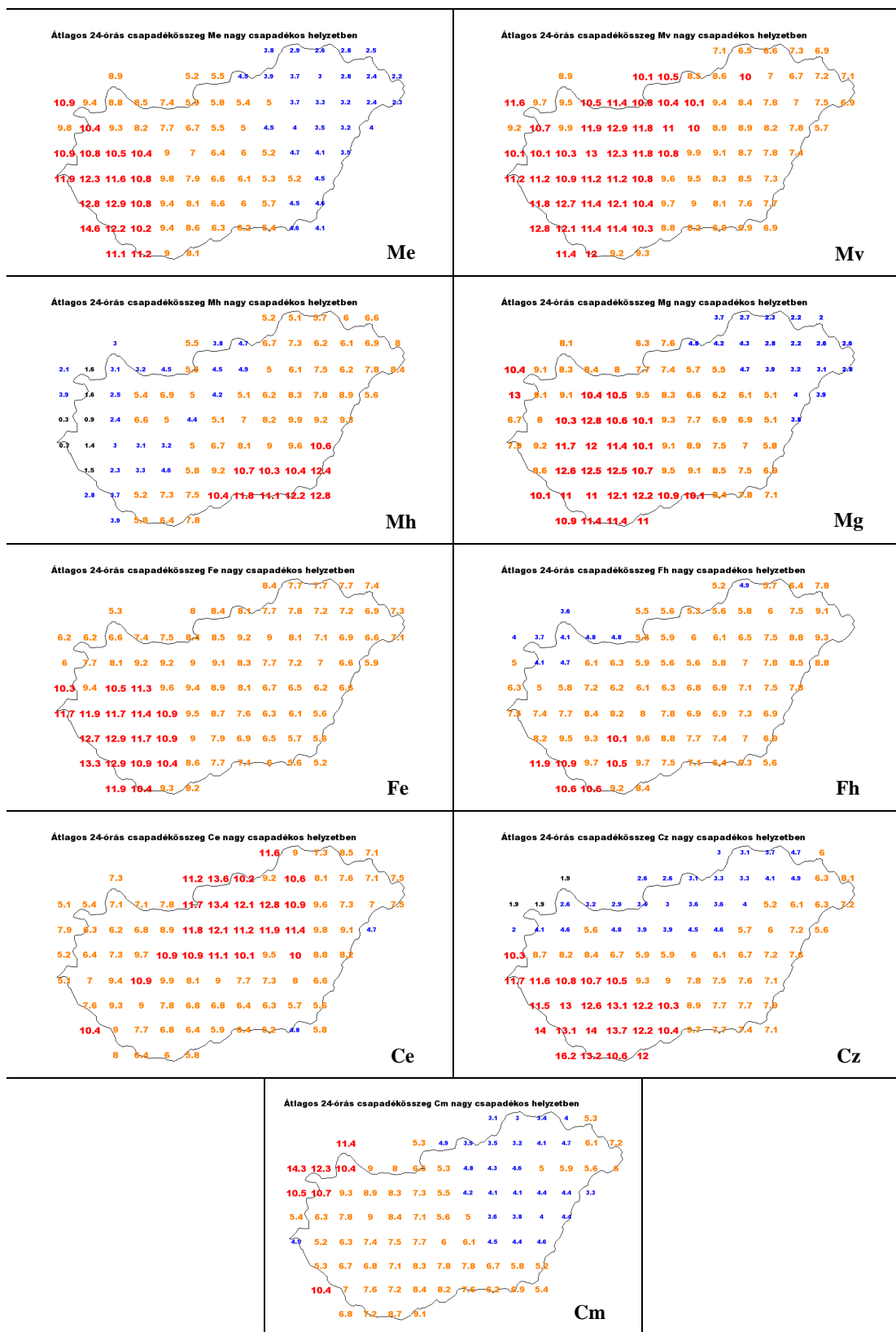
A **2.26. ábrán** azt vizsgáltuk meg, hogy hogyan alakul a nagy mennyiségű (10 illetve 20 mm fölötti) csapadék térbeli kiterjedése a szinoptikus típus függvényében. A vonuló mediterrán ciklon típus egyértelműen kiemelkedik a többi típus közül. Ha nagy csapadékos helyzetet okoz, akkor az esetek egynegyedében az ország több mint 60%-ára kiterjed, miközben az Mh és a Cm típus egyszer sem terjedt ki az ország legalább felére. Mindegyik típus esetén előfordulhatnak olyan esetek is, amikor csak az ország 10-15%-án okoz 10 mm feletti csapadékot. A 20 mm-t meghaladó terület nagysága szintén az Mv típusnál a legnagyobb általában (egyéb típusoknál a medián is csak 1-2% körül mozog), de egyedül az Fe típus volt az, amely már okozott az ország több mint felén ilyen mennyiségű csapadékot.



2.26. ábra

A 10 mm-t (baloldalon) illetve 20 mm-t (jobbaldalon) meghaladó csapadék térbeli kiterjedése az ország területének százalékában a szubjektív típus függvényében: minimum, alsó kvartilis, medián, felső kvartilis és maximum (Whisker plot diagram)

Megvizsgáltuk az egyes típusokra vonatkozó átlagos csapadékeloszlást is (**2.27. ábra**), és igen jelentős különbségeket tapasztaltunk. Ebben a tekintetben az egyes mediterrán ciklon típusok is jelentősen eltérnek egymástól. Az Me típusnál átlagosan nagy kontraszt alakul ki a nyugati és a keleti országrész között. Az Mv típusnál sokkal egyenletesebb a csapadékeloszlás és jól kivehető a ciklon délnyugatról északkelet felé történő áthelyeződése. Az Mh típus leggyakrabban a délkeleti országrészben okoz 10 mm feletti csapadékösszeget, míg Mg helyzetben határozottan kirajzolódik az észak-dél irányú konvergencia-zóna, mely átlagosan a Dunántúl keleti felén húzódik.



2.27. ábra
 Szubjektív típusokra vonatkozó átlagos csapadékeloszlás a vizsgált helyzetekben

Az Fe és Fh típus átlagos csapadékeloszlása közötti fő különbség az, hogy az utóbbi esetén a csapadékszóna tengelye általában délebbre húzódik. A Ce típusra jellemző déli, délkeleti áramlásban leggyakrabban Budapest környékén, az Északi-középhegységben és attól kissé délre alakul 10 mm-t meghaladó csapadék. A Cz típusra vonatkozó átlagos csapadékeloszlás is igen jellegzetes, az ábra szerint az északi országrész ilyenkor legtöbbször kimarad a jelentős csapadékból. Végül pedig a Cm típusra vonatkozó ábrán jól látható az északnyugat felől délkelet felé mozgó melegfronti csapadékszóna, amelyből az ország északnyugati csücskén a legvalószínűbb 10 mm feletti csapadék.

Az ÉNY-DK irányú csapadéksáv több típusnál elég gyakori, de Fe helyzetben a legvalószínűbb. Nyugat-kelet irányú csapadékeloszlás a Cz típusnál fordul elő legnagyobb arányban, ami nem meglepő a típusra jellemző nyugati áramlás ismeretében. Ugyancsak nem okoz meglepetést, hogy az ÉNY-DK irányú csapadéksáv kiemelkedően a Cm típusra jellemző, melyben a melegfront általában pontosan ebben az irányban szeli ketté az országot. Az utóbbi típus esetén erre az irányra sosem merőleges a csapadék térbeli eloszlása. Az Mg típus esetén fennálló É-D irányú konvergencia kedvez leginkább az ilyen irányú csapadékeloszlásnak, de ennél a típusnál – bár ritkán – de nyugat-keleti irányú csapadéksáv is előfordult. A csapadékgóc típus kialakulásának leginkább az Fh és a Cz helyzetek kedveznek. Megállapítható, hogy bár egy-egy szinoptikus típus esetén többféle csapadékeloszlás is kialakulhat, de csaknem minden esetben kijelölhetők olyan csapadékeloszlások, melyeknek az adott helyzet jobban illetve kevésbé, esetleg egyáltalán nem kedvez.

Az **objektív osztályozás** legfontosabb eredményeit az alábbi táblázatban foglaltuk össze. Az egy-paraméteres klaszterezés már előrevetítette, hogy kevésbé jónak tekinthető eredményt kapunk, mint a szubjektív osztályozásnál, ahol egyszerre több, a szinoptikus skálájú folyamatok szempontjából fontos paraméter mezőit is figyelembe vettük. Most a tengerszintre számított légnyomáson alapuló klaszterezés eredményét mutatjuk be, mivel a szubjektív osztályozás során megállapítottuk, hogy az összes vizsgált mező közül ez alapján különíthetőek el leginkább az egyes típusok (ezen kívül az 500 hPa-os abszolút topográfia és a 850 hPa-os hőmérsékleti mező alapján is készült egy-paraméteres klaszterezés).

Táblázat: Az Euklideszi-távolság illetve a módosított Bagrov-féle analógia index használatával kapott klaszterek középponti eleme, illetve az ennek megfelelő szubjektív típus (lefelé csökkenő elemszám)

Euklideszi-távolság		Módosított Bagrov-féle analógia index	
Középponti elem	Megfelelő szubjektív típus	Középponti elem	Megfelelő szubjektív típus
1: 1991. nov. 16.	Mv Vonuló mediterrán ciklon	1: 1991. nov. 16.	Mv Vonuló mediterrán ciklon
2: 1999. nov. 8.	Mg Cillónális görbület anticiklon déli peremén	2: 2001. márc. 2.	Cm Nyugati ciklon melegfrontja
3: 1981. dec. 9.	Cz Zonális ciklonális helyzet (nyugati-délnyugati áramlás)	3: 1986. febr. 9.	Me Mediterrán ciklon előoldal
4: 1985. nov. 5.	Fe Frontális hullám teknő előoldalán	4: 1983. jan. 16.	Cm Nyugati ciklon melegfrontja
5: 1983. jan. 4.	Cz Zonális ciklonális helyzet (nyugati-északnyugati áramlás)	5: 1986. dec. 15.	Fe Frontális hullám teknő előoldalán
6: 1986. febr. 1.	Ce Nyugati ciklon előoldal	6: 1981. dec. 2.	Mh Mediterrán ciklon hátoldal

Mind az Euklideszi-távolság, mind pedig a módosított Bagrov-féle analógia index metrikát alkalmazva a klaszterezés 6 típust különített el. Kiemelendő, hogy a teljesen eltérő kétféle metrika alkalmazása ellenére mindkét objektív osztályozás ugyanazt az esetet adta ki a legtöbb tagot tartalmazó klaszter középponti elemeként (azaz a klaszter középponthez legközelebb álló elemként). Ez pedig nem más, mint a szubjektív osztályozással meghatározott, és aszerint az osztályozás szerint is igen fontos vonuló mediterrán ciklon típus. Érdekes, hogy a szubjektív módszerrel a leggyakoribb típusként meghatározott Fe helyzetet mindkét fajta objektív osztályozás felismerte, de csak a 4. illetve 5. leggyakoribb típusként. Az Mv típushoz való hasonlósága miatt valószínűleg sok, a szubjektív osztályozással Fe típusként meghatározott esetet mindkét fajta klaszterezés az első klaszterbe sorolt.

A táblázat szerint mindkét módszer 5-5 különböző szubjektív típust adott ki klaszter középpontként, és mindkettő esetén csak 1-1 szubjektív típus (Cz illetve Cm) szerepel két különböző klaszter középpontjaként. Azaz csupán egyetlen paraméter, a tengerszintre számított légnyomás alkalmazásával az objektív módszerek már igen jónak tekinthető

eredményre vezettek. Ha a két különböző metrikát alkalmazó módszer eredményeit együtt tekintjük, akkor azt tapasztalhatjuk, hogy ezek kiegészítették egymást, azaz 9 szubjektív típus közül együttesen 8-at felismertek, és csupán az Fh típus nem jelenik meg egyetlen klaszter középponti elemeként sem.

3. A BUDAPESTI NAGY HAVAZÁSOK SZINOPTIKUS- KLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATA (1953-2003)

3.1. Bevezetés

Az életet a megszokott kerékvágásából kizökkenteni képes időjárási jelenségek között a világon sokfelé igen előkelő helyen állnak a nagy havazások, hóviharak. Vannak náluk sokkal pusztítóbb jelenségek (pl. a hurrikánok, tornádók, egyes nyári konvektív események), de a nagy havazások, hóviharak vagy jóval gyakrabban fordulnak elő vagy jóval nagyobb térségekre terjednek ki vagy jóval hosszabb élettartamúak. Magyarországon pedig e téren az árvizeket kiváltó meteorológiai körülmények mellett egyértelműen az első helyen állnak. „Hóhelyzet” esetén a hófúvás-érzékeny területekről érkezett jelentések, filmfelvételek a híradások élére kerülnek. 1-2 mm eső gyakran fel sem tűnik az embereknek, de rövid idő alatt lehulló 2-3 cm hó Budapest közlekedését csaknem leállíthatja. Franciaországban néhány éve kormányzati vizsgálatot is lefolytattak az ügyben, hogy bár minden illetékes szerv hangoztatta, hogy felkészült a télre, az első nagyobb havazás gyakorlatilag az egész ország életét megbénította. Amilyen mértékben a technikai civilizáció fejlődik, oly mértékben válik egyre sebezhetőbbé a tél támadásaitól. Mindezek miatt a nagy havazások tanulmányozása – s mindezek által előrejelezhetőségük javítása – napjainkban fontos kutatási terület.

Fővárosunkban, Budapesten él – kis területen – hazánk lakosságának ötöde. Ez a köztudott tény az előrejelző meteorológusok gyakori borzongásának forrása, hiszen a prognózis bevalása kapcsán így Budapest kiemelkedő jelentőségű. Lehet alapvetően jó egy országos előrejelzés, ha a fővárosban „valami közbejön”, lehet magyarázkodni. Egy előre nem jelzett budapesti hóesés százezrek beszédtemája, akár napokon át. Különösen így van ez azért is, mert a téli félévben az emberek jelentős részét az időjárással kapcsolatban leginkább az érdekli, hogy esni fog-e a hó, és ha igen, mennyi.

3.2. A vizsgálati módszer

Az 1953 óta működő pestszentlőrinci szinoptikus főállomás szinop táviratai alapján vizsgáltuk a nagy budapesti havazások karakterisztikáit. A pestszentlőrinci, mint síkvidéki állomás, megfelelően reprezentálja a város nagy részének hóviszonyait. A nagy havazásos eseteket (NHE) a következőképpen definiáltuk: 8 cm-t meghaladó friss havat eredményező folyamatos havazások. Ezek a hóesések már Budapest egész térségében

bizonyosan jelentős mennyiségű havat produkáltak, hiszen egyrészt tudjuk, hogy a havazásokban jóval kisebb a csapadék mennyiségének térbeli szórása, mint konvektív jelenségeknél, másrészt, ha egy síkvidéki állomáson ilyen vastag hótakaró tud kialakulni, akkor az a talajon megmaradó, szilárd halmazállapotú csapadékot feltételez főváros-szerte. 50 évet vizsgáltunk: az 1953/54-es téltől a 2002/03-as télig. Hasonló vizsgálatoknál többnyire idő-, azaz intenzitásbeli megszorítást szoktak tenni, de mi az objektumokat akartuk tanulmányozni, így a diszkrét időpontbeli (06 UTC- és 18 UTC-kori) hóvastagság mérések miatt időkorlát nem volt alkalmazható.

A pezsztentlőrinci szinop táviratok alapján minden nagy havazásos esetet a következő karakterisztikákkal jellemeztük:

- a hónapja, az időtartama, az átlagos intenzitása,
- a lehullott hó vastagsága, a lehullott hó és a hó vízegyenértékének aránya,
- a havazás alatt az átlagos 2 méteres hőmérséklet, az átlagos tengerszintre átszámított légnyomás.

Az amerikai Climate Diagnostic Center szabadon hozzáférhető honlapján (www.cdc.noaa.gov) az NCAR főterminusbeli analízisein alapuló átlagos mezők állíthatók elő számos meteorológiai paraméterre, tetszőleges időintervallumra, a világ bármely térségére, 1948-tól napjainkig. A NHE-ekre előállított átlagolt mezők alapján minden esetre megkaptuk az alábbi karakterisztikákat:

- a potenciálisan kihullható vízmennyiség átlaga,
- a 925 és a 850 hPa-os nyomási szint átlagos hőmérséklete.

3.3. A nagy havazásos esetek száma

Az 1953/54-es téltől a 2002/03-as télig 71 olyan havazás volt, amely a pezsztentlőrinci állomáson 8 cm-t meghaladó hótakaró gyarapodást okozott. Az első 25 télen 35, a második 25 télen 36 eset fordult elő. Az előfordulások havonkénti száma látható az **I. táblázatban**.

I. táblázat
A 8 cm-t meghaladó havat eredményező havazások száma

időszak	november	december	január	február	március	Σ
1953/54-1977/78	4	8	12	8	3	35
1978/79-2002/03	9	10	6	8	3	36
1953/54-2002/03	13	18	18	16	6	71

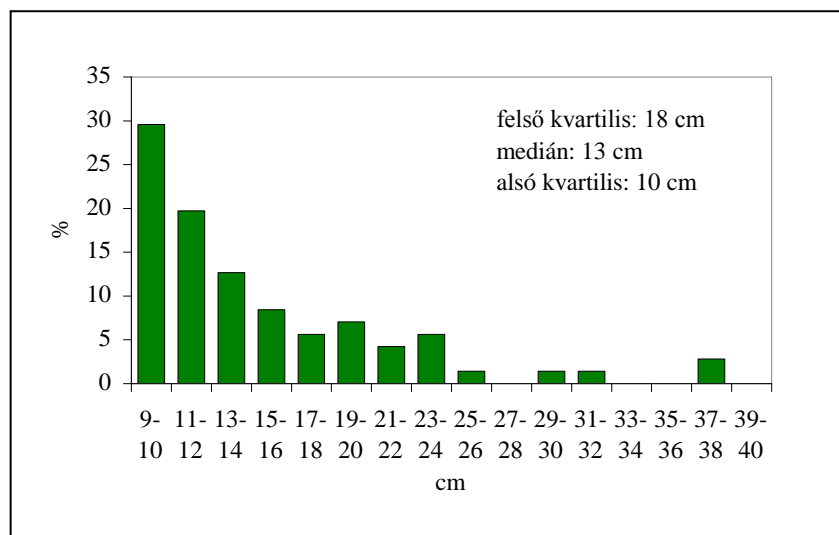
Az 50 év alatt decemberben és januárban fordult elő a legtöbb, szám szerint 18-18 eset. A hónapok további sorrendje: február (16), november (13),

március (6). A két 25 évet összehasonlítva megállapítható, hogy szignifikánsan növekedett novemberben és csökkent januárban a nagy havazások száma. Decemberben kettővel több eset volt utóbb, a februári és a márciusi előfordulások száma megegyezett a két időperiódusban. Érdekes, hogy míg az első 25 évben a január kiemelkedően a legtöbb eset időszak volt, az utóbbi negyedszázadban a márciust leszámítva a legkevesebbé!

3.4. A nagy havazások karakterisztikái

3.4.1. A lehullott hó mennyisége

Nem meglepő a NHE-ekben lehullott hó relatív gyakorisági görbéjének szinte szabályos exponenciális menete (3.1. ábra). Az 50 év alatt 38 cm-es volt az egy nagy havazás alatt képződött legvastagabb hóréteg (1980. nov. 29 - dec. 1. és 1999. febr. 9-11.). A medián 13 cm, az átlag 15 cm.



3.1. ábra
A nagy havazásos esetekben lehullott hó vastagságának gyakoriság eloszlása

A II. táblázat szerint elég jelentősen megnőtt a lehullott hó átlagos mennyisége a második 25 évre. Az 50 éves havi átlag a leghidegebb hónapokban, januárban bizonyult a legnagyobbknak. Az enyhébb november bizonyára a több csapadékának köszönhetően előzi meg a decembert. Feltűnő a februári hómennyiség változékonysága és a márciusi egyenletessége.

II. táblázat
A nagy havazásos esetekben lehullott hó átlagai
és átlagtól való átlagos eltérései (cm)

időszak	átlag	átlagos eltérés
50 év	15,0	5,0
első 25 év	13,8	4,3
második 25 év	16,1	5,6
november	15,1	4,6
december	13,9	3,9
január	16,8	4,6
február	15,8	6,9
március	10,0	0,7

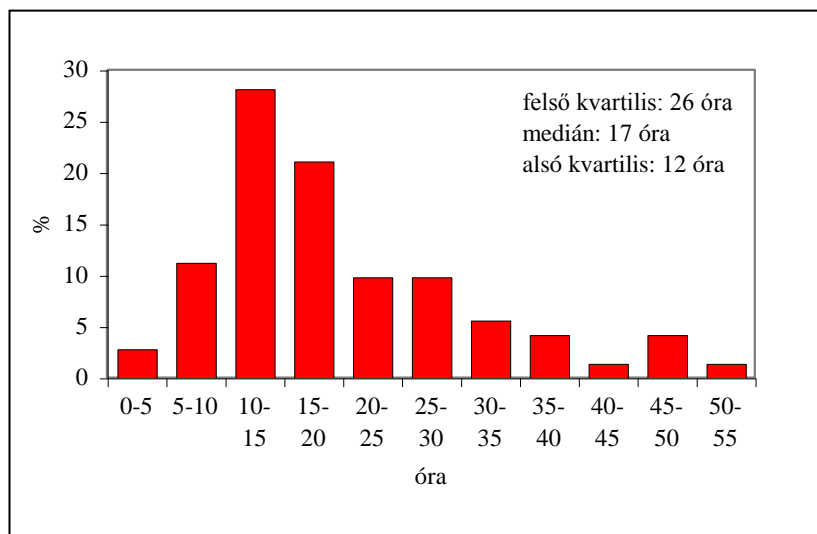
A NHE-ekben lehullott hó vastagság-kategóriákba sorolt előfordulási számának havi eloszlását mutatja be a **III. táblázat**. Csupán a január az a hónap, amely a második és a harmadik kategóriában is nagy súllyal képviselteti magát, a március pedig csak az elsőben szerepel. A 25-29 cm-es intervallumban mindösszesen egy előfordulást találunk.

III. táblázat
Egyes kategóriákba eső vastagságot eredményező nagy havazásos esetek
havonkénti száma (1953/54-2002/03)

cm	november	december	január	február	március	Σ
9-14	9	11	7	11	6	44
15-19	2	4	5	1	0	12
20-24	1	2	5	2	0	10
25-29	0	1	0	0	0	1
30-	1	0	1	2	0	4

3.4.2. A havazás időtartama

A legrövidebb havazás 3 óráig tartott, és 10 cm friss havat eredményezett. A leghosszabb 53 órás volt, és ezalatt 26 cm hó hullott le. A **3.2. ábra** alapján a 10-15 órás időtartam a leggyakoribb. A medián 17 óra, az átlag 20 óra.



3.2. ábra

A nagy havazásos esetek időtartamának gyakoriság eloszlása

A **IV. táblázat** szerint kis mértékben meghosszabbodtak a nagy havazások. A havi átlag januárig nőtt, majd csökkent. A márciusi kiugró nagy értékért már nyilvánvalóan a nagy besugárzás a felelős. Idejüket tekintve legkevésbé változékonyak a leghosszabb, januári havazások bizonyultak. A február viszont igencsak szeszélyes volt.

IV. táblázat

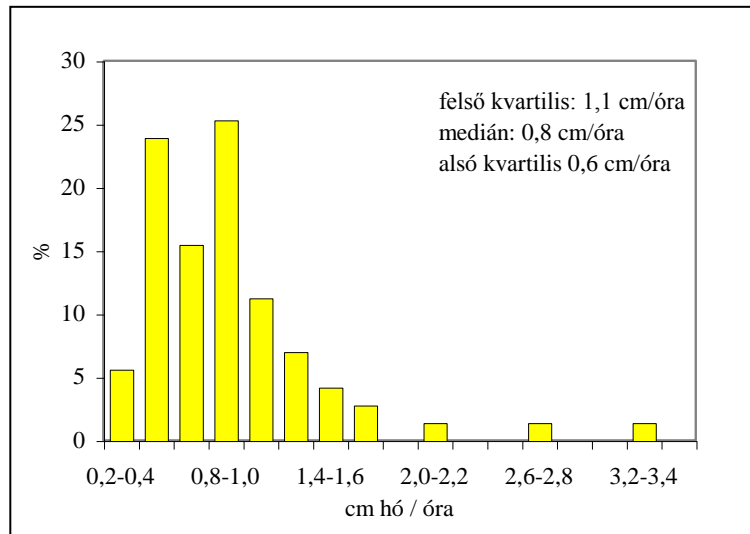
A nagy havazásos esetek időtartamának átlagai és átlagos eltérései (óra)

időszak	átlag	átlagos eltérés
50 év	20	9
első 25 év	19	8
második 25 év	21	10
november	18	8
december	19	9
január	22	7
február	19	11
március	25	9

A hóesés idejébe (mely egyben a havazás néhány további jellemzőjének átlagolási alapja is) nem számoltuk bele a kezdetén és a végén a 70-es illetve a 77-es jelenidő kódokkal jellemzett, illetve mérhető mennyiséget még illetve már nem adó órák hóeséseit.

3.4.3. A havazás intenzitása

Az 50 év alatt előfordult legkisebb intenzitás 0,3 cm/órás volt, egy kétnapos, összesen 10 cm-nyi hórétetet eredményező havazásban. A legnagyobb intenzitás 3,3 cm/órás volt, amikor is 3 óra alatt esett le 10 cm hó. A medián 0,8 cm/óra, az átlag 0,9 cm/óra. Érdekes a **3.3. ábrán** megfigyelhető kettős csúcs a gyakoriság eloszlásban.



3.3. ábra

A nagy havazásos esetek intenzitásának gyakoriság eloszlása

V. táblázat

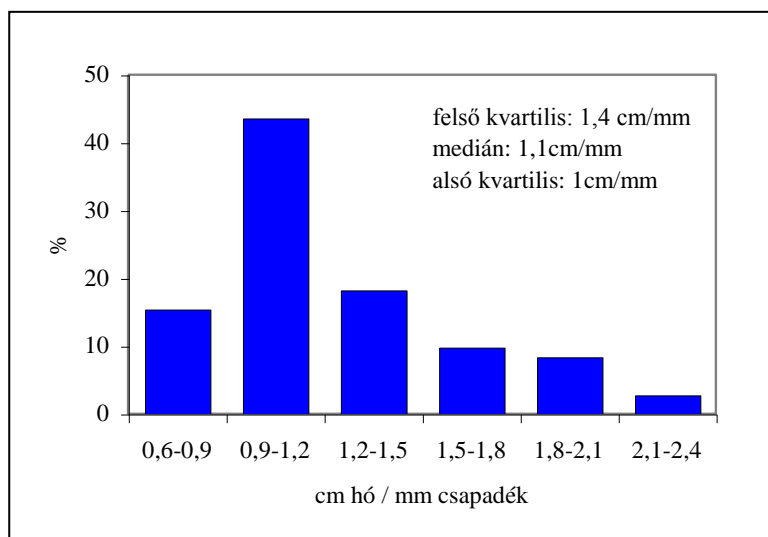
A nagy havazásos esetek intenzitásának átlagai és átlagos eltérései (cm/óra)

időszak	átlag	átlagos eltérés
50 év	0,90	0,36
első 25 év	0,94	0,41
második 25 év	0,90	0,31
november	1,05	0,46
december	0,87	0,32
január	0,96	0,36
február	0,98	0,32
március	0,48	0,17

Az **V. táblázat** azt mutatja, hogy minimálisan csökkent a második 25 évre az átlagos intenzitás és az intenzitás esetek közti változékonysága. A hónapok közül a november, a január és a február 1 cm/óra körüli átlagos intenzitást produkált, a december 0,9 cm-t, a március 0,5 cm-t óránként. Intenzitásukban legváltozékonnyabbnak a novemberi nagy havazások bizonyultak.

3.4.4. A lehullott hó és a hó vízgyenértékének aránya

A nagy havazásokban a lehullott hó és a hó vízgyenértékének aránya az esetek közel felén a 0,9-es és az 1,2-es érték között alakult (**3.4. ábra**). A medián 1,1 cm/mm, az átlag 1,3 cm/mm. Az utóbbi negyedszázadban valamivel kisebb lett az arány, mint a megelőzőben (**VI. táblázat**). A havi átlagok azt mutatják, hogy 1 mm csapadék novemberben, decemberben és márciusban kb. 1 cm hónak, januárban és februárban kb. 1,5 cm hónak felelt meg.



3.4. ábra

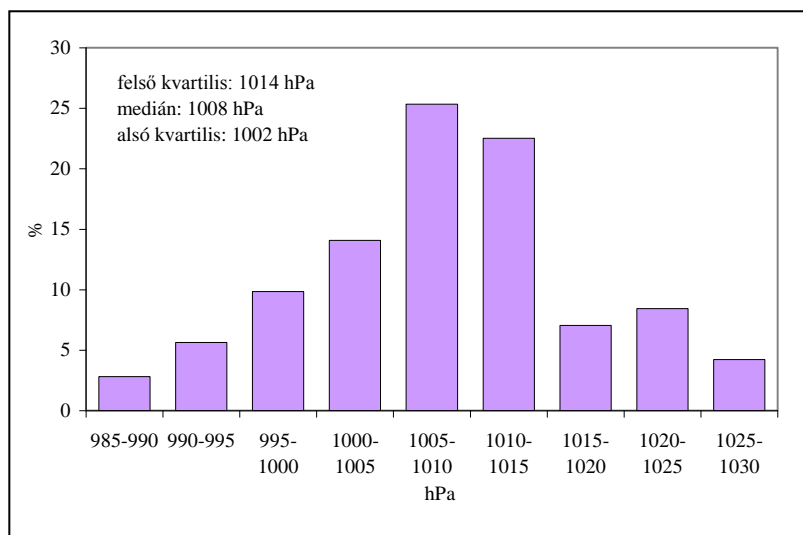
A nagy havazásos esetekben a lehullott hó és a hó vízgyenértéke arányának gyakoriság eloszlása

VI. táblázat
A nagy havazásos esetekben a lehullott hó és a hó vízgyenértéke arányának átlagai és átlagos eltérései (cm/mm)

időszak	átlag	átlagos eltérés
50 év	1,26	0,33
első 25 év	1,31	0,37
második 25 év	1,20	0,29
november	1,15	0,26
december	1,10	0,26
január	1,46	0,34
február	1,41	0,36
március	0,90	0,21

3.4.5. Az átlagos légnyomás

A nagy havazások alatt a legalacsonyabb átlagos tengerszintre átszámított légnyomás 987 hPa volt, 1999. december 28-án egy mély peremciklonos helyzethez tartozott. A legmagasabb átlagos légnyomás, 1028 hPa az 1995. január 19-i esethez kapcsolódik, amikor egy hatalmas atlanti-óceáni ciklon és egy erős kelet-európai anticiklon között egy kis peremciklon képződött Olaszország fölött. A leggyakoribb előfordulás az 1005-1010 hPa-os tartományba esett (3.5. ábra). A medián 1008 hPa, az átlag 1009 hPa.



3.5. ábra
A nagy havazásos esetek alatt az átlagos tengerszintre átszámított légnyomás gyakoriság eloszlása

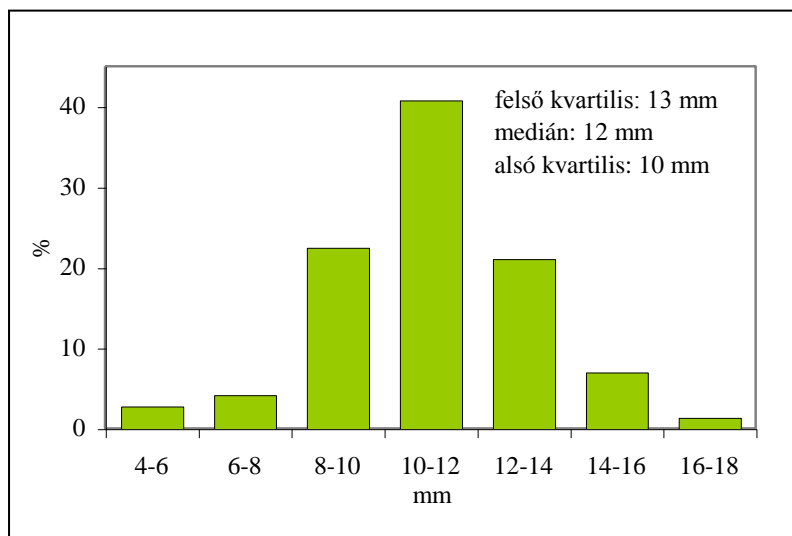
A két részidőszakban az átlag szinte megegyezett (**VII. táblázat**). A három téli hónap 1007 hPa körüli értékéhez képest a novemberi (1014 hPa) viszonylag magasan alakult. Az átlagos légnyomást illetően legváltozékonyabbnak a január, a legkevésbé annak a február és a március bizonyult.

VII. táblázat
A nagy havazásos esetek alatt az átlagos tengerszintre átszámított
légnyomás havi átlagai és átlagos eltérései (hPa)

időszak	átlag	átlagos eltérés
50 év	1009	7,2
első 25 év	1008	6,8
második 25 év	1009	7,7
november	1014	7,4
december	1007	7,0
január	1008	8,3
február	1006	5,8
március	1010	5,7

3.4.6. Az átlagos potenciálisan kihullható vízmennyiség

Az átlagos potenciálisan kihullható vízmennyiség gyakoriság eloszlása látható a **3.6. ábrán**. A legalacsonyabb átlagérték 6 mm volt, amely a 2001. december 13-i esethez tartozott, amikor is az esti óráktól orografikus okklúzió nyomán a Duna vonalában összeáramlási zóna alakult ki, melyben másnap délelőttig 13 cm hó hullott le Budapesten.



3.6. ábra

A nagy havazásos esetek alatt az átlagos potenciálisan kihullható vízmennyiség gyakoriság eloszlása

Az előrejelző modellek nem látták előre a csapadékot, csupán az ALADIN modell 13-i 12 órás futtatása adta. A potenciálisan kihullható vízmennyiség legmagasabb átlagértéke 17 mm volt, amely az 1965. november 18-20-i eset sajátja, amikor is egy Brit-szigetek központú ciklon előoldalán délről nagyon nedves levegő szállítódott a Kárpát-medence térsége fölé. A medián és az átlag egyaránt 12 mm. A **VIII. táblázat** szerint a potenciálisan kihullható vízmennyiség szabályos havi menetet mutat, januári mélyponttal. A márciusi átlagérték az esetről esetre legkevésbé változékony. A klimatológiai átlaggal összevetve megállapítható, hogy novemberben és decemberben a nagy havazások alatti átlagérték a klimatológiai átlag alatt, januártól márciusig afelett alakult.

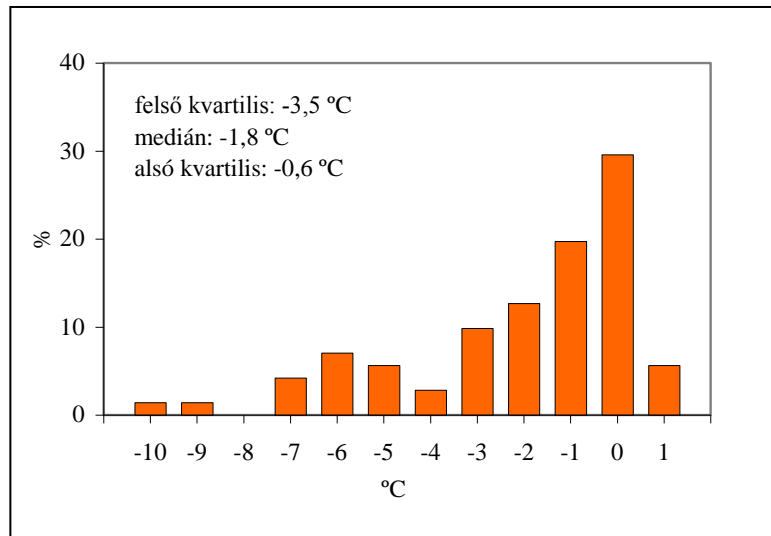
VIII. táblázat

A nagy havazásos esetek alatt az átlagos potenciális kihullható vízmennyiség havi átlagai és átlagos eltérései, valamint a havi klimatológiai átlagok (mm)

időszak	átlag	átlagos eltérés	klimat. átlag
50 év	11,6	1,7	
első 25 év	11,8	1,7	
második 25 év	11,4	1,6	
november	12,3	2,0	15
december	11,6	1,7	12,5
január	10,9	1,1	10
február	11,3	1,8	10
március	13,3	1,1	12,5

3.4.7. A 2 méteres szint átlaghőmérséklete

A nagy havazások alatt a 2 méteres szint átlaghőmérsékletének gyakoriság eloszlását mutatja be a **3.7. ábra**. Az esetek fele a 0 és a -2 °C közötti tartományba esett. Négy alkalommal volt pozitív átlaghőmérséklet. Érdekes a -6 °C körüli kis másodlagos maximum. A leghidegebb átlag -10 °C volt. A medián -1,8 °C, az átlag -2,5 °C. A két 25 év hasonlóan viselkedett (**IX. táblázat**), utóbb kissé nagyobb szórással. A havi menet a felső szintek hőmérsékletéhez hasonló. *Böhm (1975)* kutatásai szerint Bécsben a kiadós havazások átlaghőmérséklete leggyakrabban a 0 és -0,9 °C közötti intervallumba esik.



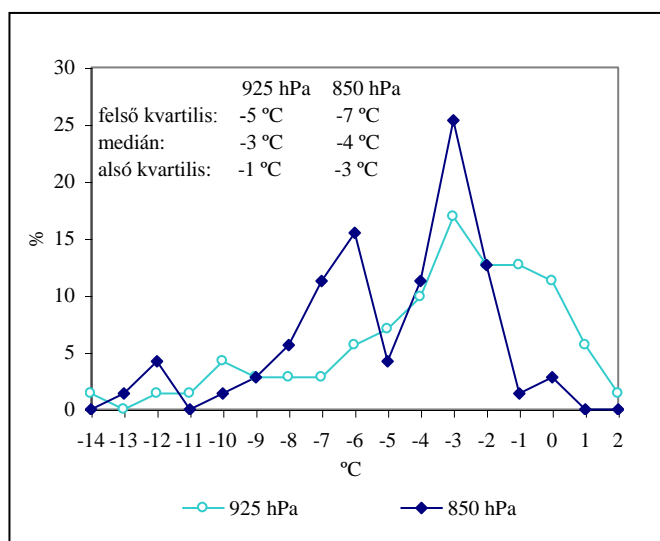
3.7. ábra
A nagy havazásos esetek alatt a 2 méteres átlaghőmérséklet gyakoriság eloszlása

IX. táblázat
A nagy havazásos esetek alatt a 2 méteres, valamint a 925 és a 850 hPa-os szintek átlaghőmérsékletének átlagai és átlagos eltérései (°C)

időszak	2 méter		925 hPa		850 hPa	
	átlag	átlagos eltérés	átlag	átlagos eltérés	átlag	átlagos eltérés
50 év	-2,5	2,0	-3,5	2,6	-4,9	2,3
első 25 év	-2,5	1,8	-3,2	2,2	-4,9	2,2
második 25 év	-2,6	2,2	-3,8	3,0	-5,0	2,5
november	-1,4	1,1	-2,6	1,8	-4,2	1,6
december	-2,5	1,9	-3,6	2,7	-4,9	2,5
január	-3,6	2,2	-4,6	3,4	-5,9	2,6
február	-2,9	2,4	-3,9	2,5	-5,1	2,1
március	-0,9	1,0	-1,2	1,8	-3,2	1,5

3.4.8. A 850 és 925 hPa-os szint átlaghőmérséklete

A NHE-ek alatt a 850 és a 925 hPa-os nyomási szintek átlaghőmérsékletének gyakoriság eloszlását mutatja be a **3.8. ábra**. Az esetek negyedén -3 °C volt a 850 hPa-os szint átlaghőmérséklete. Pozitív átlag nem fordult elő, 0 °C -os is csupán két alkalommal. A leghidegebb eset -13 °C -os volt. A medián -4 °C , az átlag -5 °C . Érdekes a gyakorisági görbe -6 °C -os másodlagos maximuma. A **IX. táblázat** tanúsága szerint a két 25 éves időszak nem különbözött egymástól. A januári átlaghőmérséklet volt a leghidegebb, aztán a február, a december, a november, majd a március következett.



3.8. ábra

A nagy havazásos esetek alatt a 850 és a 925 hPa-os szint átlaghőmérsékletének gyakoriság eloszlása

Ami a 925 hPa-os szintet illeti, a legmelegebb átlag 2 °C volt, 0 °C -os 850 hPa-os és $0,5\text{ °C}$ -os 2 méteres átlaghőmérsékletéhez társult egy ciklon előoldali erős melegadvekción helyzetben. A leghidegebb eset -14 °C -os átlaghőmérsékletű volt, -10 °C -os 2 méteres hőmérséklettel. A medián -3 °C , az átlag $-3,5\text{ °C}$. A második 25 év átlaga fél $°C$ -kal hidegebbnek bizonyult. A havi átlagok menete a 850 hPa-os szintéhez hasonlóan alakult.

4. BUDAPEST HÓVISZONYAI (1953–2003)

(a pestszentlőrinci állomás adatai alapján)

4.1. Bevezetés

A novembertől márciusig terjedő időszakban éghajlatunk fontos jellemzői a hóviszonyok. A hótakaróra vonatkozó éghajlati adatok gyakorlati fontosságát nem szükséges részletesen ecsetelni: közlekedési, mezőgazdasági, hidrológiai, építészeti, sportbeli jelentősége mindenki előtt ismeretes.

Azonban a hóviszonyok meteorológiai vonatkozásai sem kevésbé fontosak. Egy térség hóviszonyainak komplex klimatológiai ismerete – mint az éghajlatleírás általában – felvértez minket azzal a képességgel, hogy aktuális időjárási helyzetek, jelenségek átlagos voltát, szokatlanságát, netán rendkívüliségét tudományos megalapozottsággal ítélhessük meg. További, s talán egyre fontosabb aspektus, hogy a hóviszonyokat jellemző éghajlatjelzők indikátorai lehetnek a klíma esetleges változásainak.

Vizsgálataink az Országos Meteorológiai Szolgálat 1953 óta működő pestszentlőrinci szinoptikus főállomásának 06 UTC-s napi hóvastagság adatain alapulnak. Ez az állomás megfelelően reprezentálja a város síkvidéki részének hóviszonyait, a hóklíma magasság szerinti változásával nem foglalkoztunk. 50 évet vizsgáltunk: az 1953/54-es téltől a 2002/03-as télig. Munkánkban az a cél vezérelt, hogy minél aprólékosabban, minél több oldalról megközelítve adjunk képet a város hóviszonyairól, és az 50 évet két 25 éves – egyenként is klimatológiai normálnak tekinthető – részidőszakra felbontva megvizsgáljuk annak stabilitását.

4.2. Irodalmi áttekintés

A hóviszonyokkal foglalkozó szakirodalom vizsgálati módszere meglehetősen konvencionális, világszerte régóta ugyanazokkal a karakterisztikákkal dolgozik: hótakarós napok száma, küszöbszámokat elérő hóvastagságú napok száma, maximális és átlagos hóvastagság, leghosszabb hótakarós periódus, első és utolsó hótakarós napok stb. Ezek területi (földrajzi szélességi és hosszúsági illetve magassági) eloszlását és éves időbeli menetét vizsgálja átlagok, gyakoriságok, kvartilisek segítségével. *Fábiánics Ferenc (1940)* több mint fél évszázaddal ezelőtti, Budapest hóviszonyait bemutató, Magyarországon úttörő munkája és napjaink például amerikai hóklíma irodalma (pl. O'Hara *et al.* (2000)) csaknem ugyanazokkal a metódusokkal él.

Bár az éghajlati normál harminc év, a sürgető kényszer hatására, hogy Magyarország hóviszonyairól végre átfogó kép legyen, Kéri Menyhért

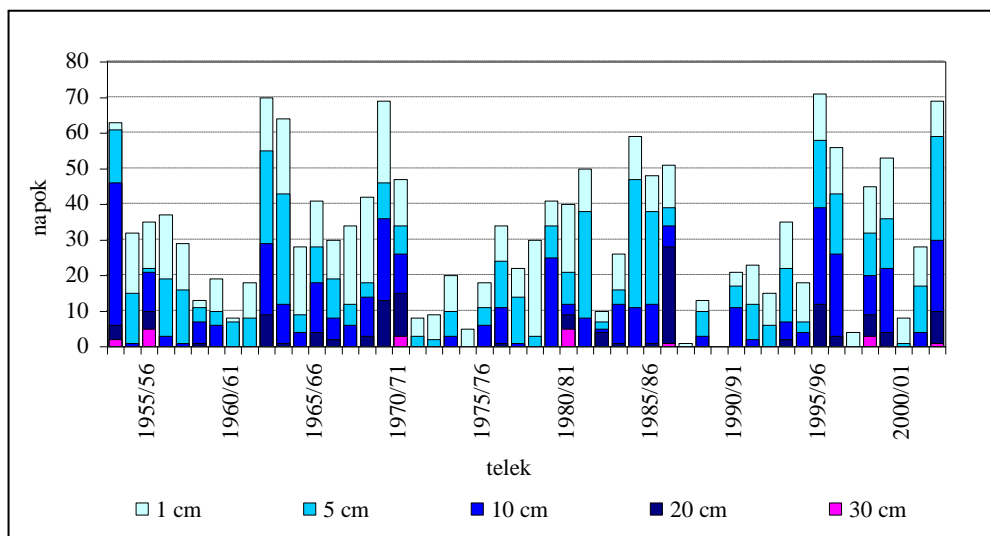
vezetésével az Országos Meteorológiai Intézet a második világháború után 68 állomás adatait felhasználva feldolgozta az 1929/30-as és az 1943/44-es évek közé eső 15 tél hóadatait (*Kéri Menyhért (1952)*). A megbízható és teljes 50 éves budapesti és néhány más megfigyelőhely 30 éves adatsorával összevetve, és egyéb eljárásokkal a szerző kimutatta, hogy a 15 éves adatsor (melyben a nálunk szokásos telek mindegyike szerepelt) bátran felhasználható éghajlati átlag számítására. *Hajósy Ferenc (1952)*, *Bacsó Nándor - Kakas József - Takács Lajos (1953)* további adalékkal szolgált hazánk hóviszonyairól. *Péczy György (1964 és 1966)* a hócsapadék mennyiségéről és gyakoriság eloszlások vizsgálatához már elégséges 32 tél adataival rendelkezve a hótakarós napok számáról, a telente előforduló maximális hó vastagságáról, a hótakaró vastagságáról, az első és utolsó hótakarós nap dátumáról készített statisztikákat.

4.3. A hótakaró vizsgálata

4.3.1. A hótakarós napok száma

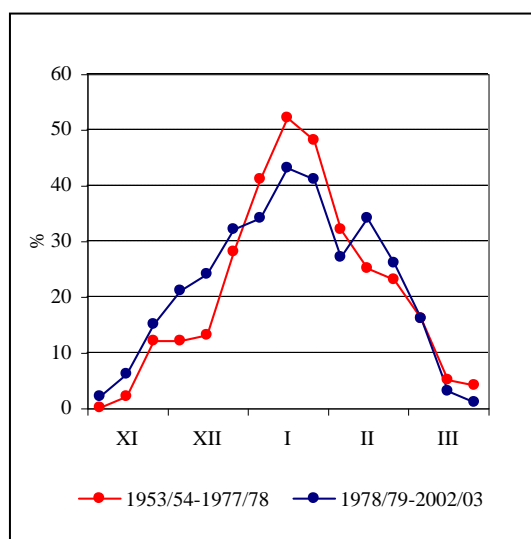
A tél hóviszonyainak legklasszikusabb éghajlatjelzője a hótakarós napok száma. Hótakarós napról beszélünk, ha a napi észlelés idején a talajt összefüggő, legalább fél cm-es hóréteg fedi (cm-re kerekítünk), tehát a foltokkal itt-ott betakart vagy lepellel borított talaj hórétegét nem számítjuk bele.

A vizsgált 50 tél közül négy olyan akadt, melynek 70 nap körül volt a hótakarós napjainak száma (**4.1. ábra**). Ez az érték tűnik tehát az éghajlati maximumnak. A csúcstartó az 1995/96-os tél, 71 hótakarós nappal. Érdekes, hogy ezeket a teleket minden alkalommal a környező telekhez képest hótakaróban gazdag év követte. A másik véglet: az 1989/90-es tél. Ekkor csupán négy hóleplel és egy hófoltos napot jegyeztek fel, hótakaró egyszer sem tudott kialakulni. A 2006/07-es hótakaró nélküli tél tehát ebből a szempontból nem példa nélküli.



4.1. ábra
Egyes hóvastagságokat elérő előfordulások (1953/54-2002/03)

A hótakarós napok relatív gyakoriságának átlagos téli menetét mutatja be az 1953/54-es téltől az 1977/78-as télig és az 1978/79-estől a 2002/03-asig tartó két 25 éves időszakra a 4.2. ábra.



4.2. ábra
Hótakarós nap relatív gyakorisága az adott dekád napjaiban

Az 50 év átlagában január közepéig a gyakoriság szigorúan monoton nő, csaknem eléri az 50 százalékot, majd szigorúan monoton csökken. A dekádközi növekedés november második dekádjáról a harmadikra, december második dekádjáról a harmadikra és január első dekádjáról a másodikra a

legnagyobb, eléri a 10 százalékot. Nagy csökkenés mutatkozik egyik dekádról a másikra január végéről február elejére (ez a legnagyobb téli változás) és március elejéről március közepére.

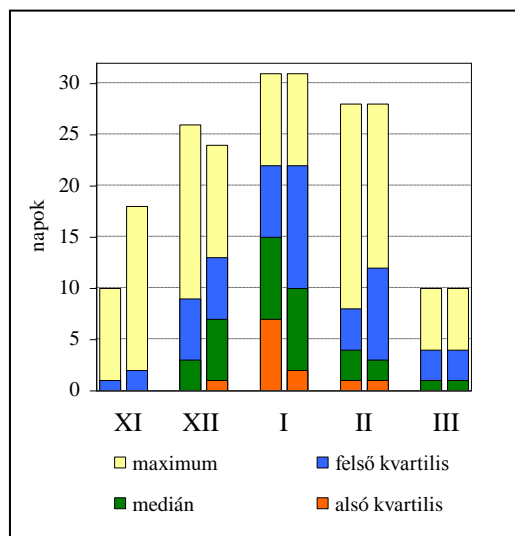
Az első 25 év átlagában november végétől december közepéig szinte nincs változás, majd nagy léptékű növekedés figyelhető meg, egészen az 50 százalék feletti gyakoriságot hozó január közepi dekádig. A januári harmadik dekádról a februári elsőre határozott, majd ezt követően fokozatos csökkenés mutatkozik.

A második 25 év átlagát szinte lineáris növekedés jellemzi január közepéig (42 százalékos maximum), amit az előző 25 évihez hasonló mértékű csökkenő tendencia vált fel a januári harmadik dekádtól. Ekkor azonban a trend megfordul, s a két időszak közötti egyik fontos különbségként átmenetileg ismét jelentősen megnő a hótakarós napok gyakorisága. Ami aztán fokozatosan lecseng. E fenti eltérés mellett figyelemreméltó, hogy november és december minden dekádjában gyakoribb volt a hótakaró az utóbbi 25 évben, mint az azt megelőzőben. Különösen igaz ez az első két decemberiben, amikor is a különbség a 10 százalékot is elérte. A január és az első februári dekád viszont a hótakarós napok számát illetően határozottan havasabb volt a korábbi időszakban.

A hótakarós napok számának 50 éves telenkénti átlaga 32 nap (az első 25 évben 32 nap, a második 25 évben 33 nap) volt. Az átlagtól való átlagos eltérés a második időperiódusban bizonyult nagyobbak: 18 nap volt, szemben a korábbi 15 nappal.

A hótakarós napok számának havonkénti kvartiliseit mutatja be a két 25 éves időszakra a **4.3. ábra**. Mindkét periódusban előfordult egyrészt egész hónapos hótakaró mind januárban, mind februárban (a többi hónapban viszont egyszer sem), másrészt teljesen hótakarómentes január és február is.

A januárra és a márciusra vonatkozó felső kvartilisek megegyeznek mindkét részidőszakban, a másik három hónapban az utóbbi magasabb értékeket mutat. Januárban átlagosan minden negyedik télen elérte a hótakarós napok száma a 22-t. A december és a február nagyon hasonlít egymásra, a március viszont havasabb, mint a november. Az egész télre vonatkozó felső kvartilis az elmúlt 50 évben 47 nap volt (az első 25 évben 41 nap, a második 25 évben 50 nap). Novemberben a telek többségében nem alakult ki hótakaró! Márciusban viszont igen. Érdekes, hogy minden márciusi kvartilis megegyezik a két részidőszakban. A medián decemberben 4 napos növekedést, míg januárban 5 napos, februárban pedig 1 napos csökkenést mutat. Az első 25 évben a telek felén decemberben a hótakarós napok száma elérte a 3 napot, februárban a 4 napot, a második 25 évben viszont decemberben már a 7 napot is, februárban viszont már csak a 3 napot. Ugyanígy összehasonlításban a január és a december közötti különbség 12 napról 3 napra csökkent! Az egész télre vonatkozó medián az elmúlt 50 évben 30 nap volt (megegyezett a két részidőszakban).



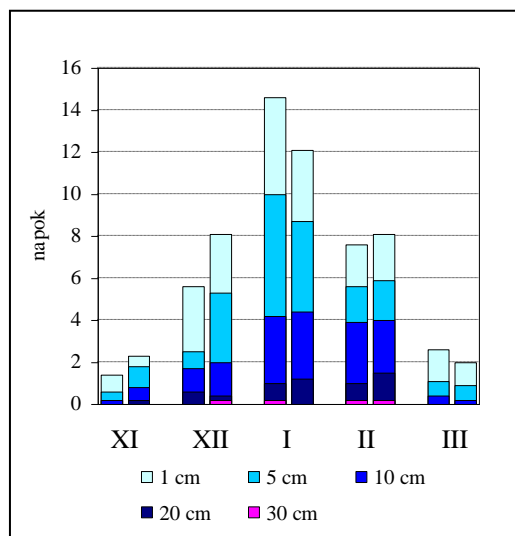
4.3. ábra

*A hótakarós napok számának havonkénti kvartilisei
(1953/54-1977/78, 1978/79-2002/03)*

A 75 százalékos valószínűségű előfordulást jelző alsó kvartilis komoly januári változásról tanúskodik: az első 25 év 7 hótakarós napjával szemben a másodikban mindössze 2 hótakarós napról. Így a januári érték az utóbbi időszakban mindössze egyetlen nappal haladta meg a decemberit és a februárit. Az egész télre vonatkozó alsó kvartilis az elmúlt 50 évben 18 nap volt (az első 25 évben 18 nap, a második 25 évben 15 nap).

A különböző hóvastagságokat elérő előfordulások vizsgálata természetesen jóval árnyaltabb képet ad egy tél havasságáról (4.1. ábra). Például az 1953/54-es télen a 63 hótakarós napból 61-en az 5 cm-t is elérte a hó vastagsága, míg az 1978/79-esen a 30-ból mindössze 3 napon. Négy olyan tél volt, melyen nem képződött 5 cm-nyi hóréteg. Az 50 év átlagában a telek 78 százalékán fordult elő 10 cm-t elérő hótakaró, míg ez legalább 10 napon 42 százalékukban állt fenn. A 20 cm-es rétegvastagság gyakorisága mindkét vizsgált negyedszázad telein 44 százalékos volt. Az emlékezetes 1987. januári nagy havazás, majd a beálló tartós hideg idő eredményezte, hogy azon a télen 28 napon át borította – egyvégtében – 20 cm-t elérő hótakaró a talajt. Hét tél 20 napján fordult elő 30 cm-es hó, 1956 februárjában állt fenn legtovább egyfolytában (öt napig) ilyen vastag hóréteg.

Az egyes hóvastagságokat elérő előfordulásoknak a két 25 éves időszakra vonatkozó havi átlagait mutatja be a 4.4. ábra. Novemberben minden vastagságot illetően több előfordulást találunk a második 25 éves periódusban, s decemberben a 20 cm-est leszámítva úgyszintén.



4.4. ábra
Egyes hóvastagságokat elérő előfordulások havi átlagai
(1953/54-1977/78, 1978/79-2002/03)

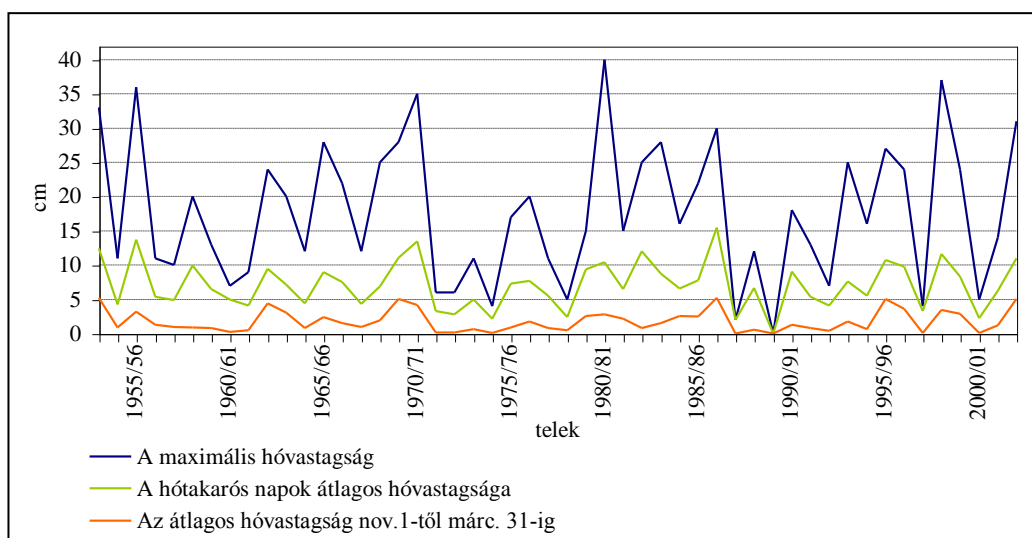
Különösen szembetűnő az 5 cm-t elérő hóvastagság látványos megszorodása. Januárban viszont a kisebb értékek tartományában kevesebb előfordulást találunk. A február hóban kismértékben gazdagabb lett, míg a március szegényebb. A két részdíszak telet hasonlítja össze az I. táblázat.

I. táblázat
Egyes hóvastagságokat elérő előfordulások téli átlagai

időszak	1 cm	5 cm	10 cm	20 cm	30 cm
	napok átlagos száma				
1953/54-1977/78	32	20	10	2,6	0,4
1978/79-2002/03	33	23	11	3,3	0,4
1953/54-2002/03	32	21	11	3,0	0,4

4.3.2. A maximális hóvastagság

Szintén igen elterjedt éghajlatjelző a telenkénti maximális hóvastagság. Ez a szám inkább az egyszerre lehullható hó mennyiségéről tudósít, semmint a hó hosszabb idejű felhalmozódási képességéről, amint azt az 4.5. ábra és a 4.11. ábra összehasonlításából láthatjuk.



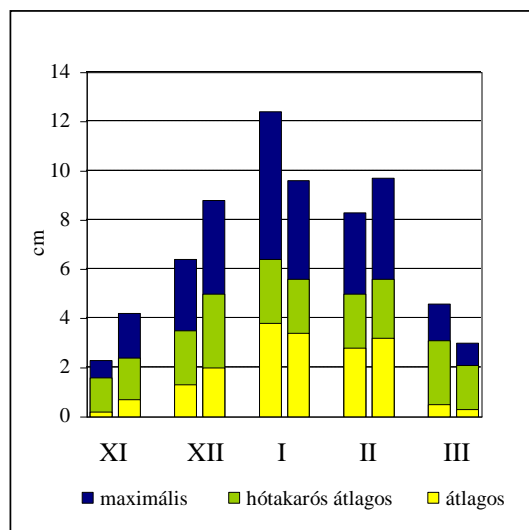
4.5. ábra
A hótakaró néhány jelzőszáma (1953/54-2002/03)

Az 50 éves abszolút maximum 40 cm volt, 1980. december 1-én mérték. A telenkénti maximális hótakaró nagyságrendenkénti előfordulásáról nem szólok külön, hiszen az benne foglaltatik a hótakarós napok alfejezetben az egyes hóvastagságokat elérő előfordulásokról leírtakban.

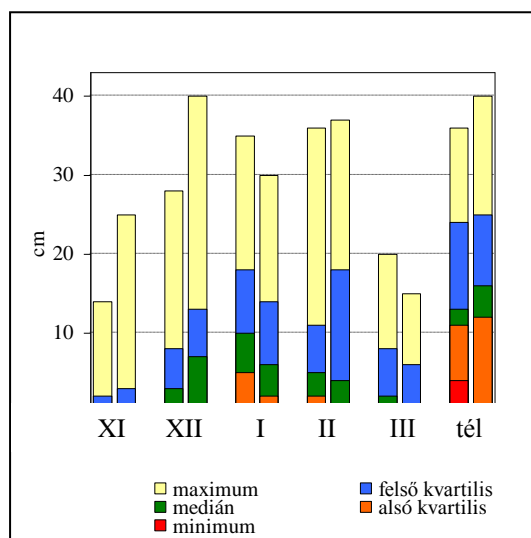
Az 50 évben az átlagos telenkénti legnagyobb hóvastagság 18 cm volt (az első 25 évben 17 cm, a második 25 évben 18 cm). Januárban szokott előfordulni a legvastagabb átlagos maximális hórétég (11 cm), amit a február (9 cm), majd a december (8 cm) követ.

A két részidőszakra vonatkozó átlagos maximális hóvastagság havonkénti alakulása látható a **4.6. ábrán**. Megállapítható, hogy az utóbbiban a novemberi, a decemberi és a februári értékek meghaladják, a januáriak és a márciusiak alulmúlják a korábbiakat. A maximális hóvastagság átlagtól való átlagos eltérése a második időperiódusban bizonyult kissé nagyobbak: 9 cm volt, szemben a korábbi 8 cm-rel.

A maximális hóvastagság havonkénti és téli kvartiliseit mutatja be a **4.7. ábra**.



4.6. ábra
 A maximális és az átlagos hóvastagságok havi átlagai
 (1953/54-1977/78, 1978/79-2002/03)



4.7. ábra
 A maximális hóvastagság kvartilisei
 (1953/54-1977/78, 1978/79-2002/03)

Az elmúlt 50 évben csak a három téli hónapban fordult elő 35 cm-es hótakaró, 20 cm-es viszont előfordult mind novemberben, mind márciusban. Novemberben, decemberben, februárban és az egész tél tekintetében az utóbbi 25 év, januárban és márciusban pedig az előző 25 év hozta el a legnagyobb értékeket.

Érdekes különbség a két 25 éves időszak között, hogy amíg az elsőben januárig nőtt a 25 százalékkal várható maximális hóvastagság, majd ezután csökkent, addig a másodikban februárig nőtt, s csak márciusban esett vissza. Novemberben, decemberben, februárban és a teljes télen a második 25 év magasabb értékeket produkált, mint az első, míg januárban és márciusban alacsonyabbakat. Különösen nagy a februári változás: 7 cm. Az 50 évre számított téli felső kvartilis 25 cm, a januári 17 cm, a februári 16 cm volt, azután a december, majd a március és végül a november következett.

A medián értéke – havonta csökkenő sorrendben – az első 25 évben: január 10 cm, február 5 cm, december 3 cm, március 2 cm, míg a második 25 évben: december 7 cm, január 6 cm, február 4 cm, március 1 cm volt. Tehát a december az utóbbi periódusban „az élre ugrott”. S bár a többi hónap viszont „visszaesett” a korábbi számokhoz képest, a téli összesítésben az utóbbi 25 év mediánja magasabbnak bizonyult. Az 50 évre számított téli medián 16 cm, a januári 8 cm, a decemberi 6 cm, a februári 5 cm, a márciusi 2 cm volt, a novemberi nem érte el az 1 cm-t.

A két időszak közül a második hozta a – minimálisan – nagyobb alsó kvartilist a teljes télre, noha mind a januári, mind a februári érték visszaesést mutat. Az 50 évre számított, 75 százalékos valószínűséggel bekövetkező maximális hóvastagság téli értéke 11 cm, a januári 3 cm, a februári 1 cm volt, a többi hónapban nem érte el az 1 cm-t.

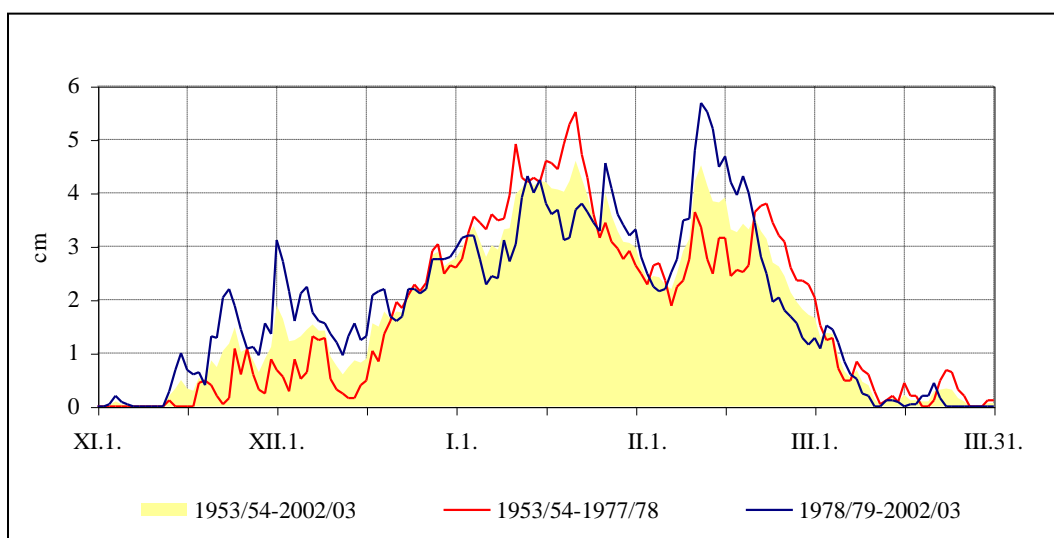
4.3.3. Az átlagos hóvastagság

Érdemes külön-külön is megvizsgálni a hótakarós napok és a november 1-től március 31-ig terjedő öt hónap átlagos hóvastagságát (4.5. és 4.6. ábra).

Ami a hótakarós napos átlagot illeti, a telek 24 százalékan (az első 25 évben 5-ször, a második 25 évben 7-szer) elérte a 10 cm-t, 26 százalékan viszont (az első 25 évben 7-szer, a második 25 évben 6-szor) még az 5 cm-t sem. A csúcstartó a már korábban is emlegetett 1986/87-es tél volt, 15 cm-rel. A hótakarós napok átlagos hóvastagsága a második 25 évben valamivel nagyobbak bizonyult: 7,3 cm volt, szemben a korábbi 6,9 cm-rel. Az átlagtól való átlagos eltérés is nagyobb volt utóbb: 3 cm, míg a korábbi 2,6 cm.

Az öt hónapra számított átlag 5 alkalommal éppen elérte az 5 cm-t. (A közöttük lévő különbség kisebb volt, mint két tized cm!) Ez lehet tehát az éghajlati maximum. Talán ez a kimutatás „fogja meg” legjobban az elmúlt 50 év leghavasabb teleit, melyek a következők voltak: az 1953/54-es, az 1969/70-es, az 1986/87-es, az 1995/96-os és a 2002/03-as. Az első 25 évben 11-szer, a második 25 évben 15-ször haladta meg az 1 cm-t az átlag. Az átlagos hóvastagság 1,7 cm illetve 1,9 cm volt a két részigidőszakban, míg az átlagos eltérés 1,3 cm illetve 1,4 cm.

Az öt hónap folyamán az átlagos hótakaró alakulását napi bontásban mutatja be a 4.8. ábra.



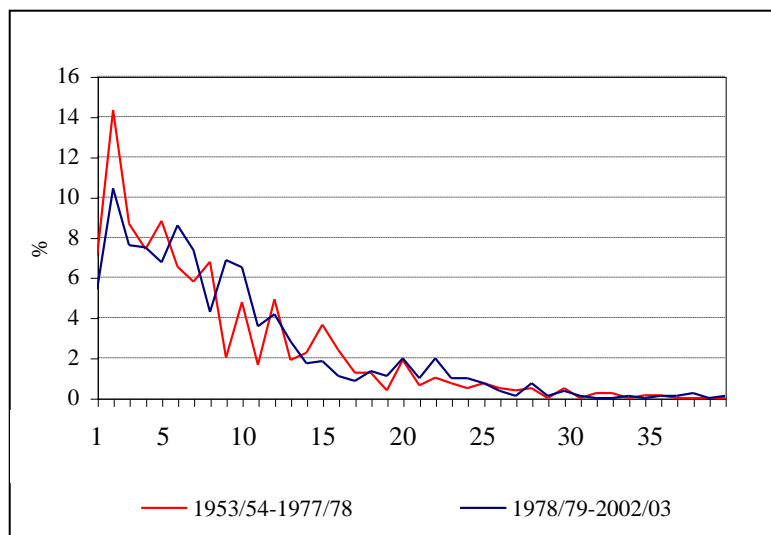
4.8. ábra
Az átlagos hótakaró

Tekintsük először az 50 éves átlag görbét! November 3-6-ig előfordult már időnként hótakaró, 13-tól pedig már minden napra esett legalább egy eset. A görbe fluktuálva emelkedik. December középso dekádjában figyelemreméltó, határozott átmeneti visszaesés következik be, majd egészen január közepéig tovább tart az emelkedő trend. December 23-án az átlag átlép a 2 cm-es, január 2-án pedig a 3 cm-es tartományba. A görbe az első – egyben abszolút - maximumát január 20-án éri el, a 4,6 cm-es értéket felvéve. Ezután erőteljes visszaesés következik: a február 5-i mélypontig felére – a december 24-i szintre – csökken le a hótakaró átlagos vastagsága! Ekkor meredek emelkedés kezdődik, s február 10-én 4,5 cm-rel már itt is második csúcs. Ezután gyors pusztulásnak indul a hótakaró: február 22-én kilép a 3 cm-es, 26-án a 2 cm-es és március 5-én az 1 cm-es tartományból. Március 27. az első nap, amikor egyszer sem mérték az elmúlt 50 évben 1 cm-es hótakarót.

A két 25 éves időszak átlagait összehasonlítva szignifikáns különbségeket fedezhetünk fel. December második dekádjának végéig az átlagos hótakaró határozottan vastagabb lett. Ezután szinte nem volt különbség, majd január elejétől 24-ig megvékonyodott a várható hóréteg. Ekkor fordult a trend, és egészen február utolsó dekádjának kezdetéig – néhány nap kivételével – ismét havasabbá vált az idő. Az utolsó februári dekad egyértelműen hóban szegényebb lett, mint ahogy összességében a március is, igaz az csak kis mértékben. Feltűnő a január végi-február eleji visszaesések hasonlósága a két periódusban, mint ahogy az utolsó februári dekadokbeli eséseké is. A legvastagabb várható hóréteg időpontja január 20-ról (5,5 cm) február 10-re (5,7 cm) tolódott ki.

4.3.4. A hótakaró vastagságának gyakoriság eloszlása

A hótakaró vastagságának centiméterenkénti relatív gyakoriságát szemlélteti a **4.9. ábra**.



4.9. ábra

Az egyes hóvastagságok relatív gyakorisága

Az 50 év átlagában 12 százalékkal a 2 cm-es hóvastagság a leggyakoribb érték. Fele ennyiszor mértek 1 cm-t, mely vastagságnál csak a 7 cm felettek fordultak elő ritkábban. A magyarázat kézenfekvő: az 1 cm-es vastagság hófolt- illetve hólepel-közelsége. Az egyes hóvastagság-intervallumokba esés százalékos gyakorisága olvasható ki a **II. táblázatból**.

II. táblázat.

Az egyes hóvastagság-intervallumokba esés relatív gyakorisága (%)

időszak	5 cm alatt	5-10 cm	11-20 cm	21-30 cm	30 cm felett
1953/54-1977/78	37	35	22	5,5	0,8
1978/79-2002/03	31	40	20	7,4	0,8
1953/54-2002/03	34	38	21	6,5	0,8

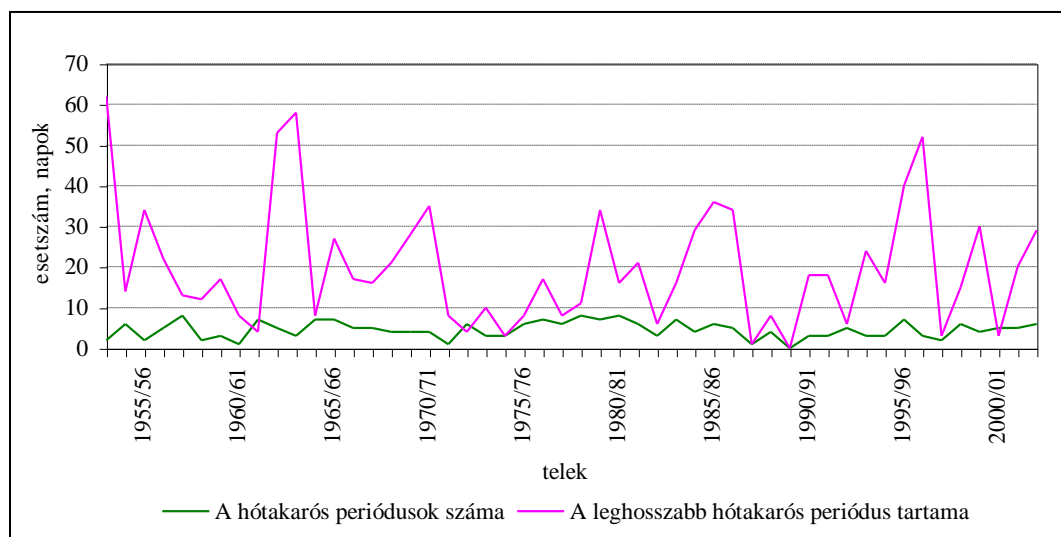
Jelentős különbség az első két intervallumban mutatkozik: az 5-10 cm-es érték előfordulása megszorozódott az 5 cm-t el nem érők rovására. A 20 cm feletti hótakaró gyakorisága is megnőtt.

Szólni kell e helyen a hó vastagságának mérésében régebben megmutatózó esetleges észlelői „felületességről”. Az első 25 év grafikonját szemlélve feltűnő az 5, 10, 15 és 20 cm-es értékeknek a környező értékek rovására megfigyelhető felülreprezentáltsága.

A második 25 évben viszont a 6 cm-es érték gyakori volta érdemel másfajta figyelmet.

4.3.5. A hótakarós periódusok

Érdekes éghajlatjelző a telenkénti leghosszabb hótakarós periódus időtartama és a hótakarós periódusok száma (4.10. ábra). Előbbi nagy értéke inkább a téli hideg idő tartosságáról, semmint gyakori havazásokról, utóbbi pedig a hó talajon való újbóli megjelenéseinek és eltűnéseinek gyakori előfordulását jelezve hőmérsékleti szempontból változékony, hócsapadéokban bővelkedő időjárásról tudósít. Klimatológiai szempontból a két jelzőszám nagyon stabilnak mondható.



4.10. ábra
A hótakarós periódusok jellemzői (1953/54-2002/03)

A leghosszabb hótakarós periódus időtartama négyszer haladta meg az 50 napot. A csúcstartó 62 nappal az 1953/54-es tél volt. 30 napon át a telek ötödén fedte a talajt egyfolytában összefüggő hótakaró, 20 napon át kétötödén. Viszont még a 10 napot sem érte el 30 százalékukon. A leghosszabb hótakarós periódusok időtartamának jellemzőit mutatja be a **III. táblázat**.

*III. táblázat.
A leghosszabb hótakarós periódusok időtartamának (nap) jellemzői*

időszak	leg-rövidebb	75 %-os vszg	50 %-os vszg	25 %-os vszg	leg-hosszabb	átlag	átlagos eltérés
1953/54-1977/78	3	8	16	27	62	20	13
1978/79-2002/03	0	8	18	29	52	19	11
1953/54-2002/03	0	8	17	29	62	20	12

Három ízben is előfordult, hogy a télen 8-szor újra és újra kialakult hótakaró: az 1957/58-as, az 1978/79-es és az 1980/81-es télen. A hótakarós periódusok számának jellemzőit mutatja be a **IV. táblázat**.

*IV. táblázat.
A hótakarós periódusok számának (nap) jellemzői*

időszak	leg-kevesebb	75 %-os vszg	50 %-os vszg	25 %-os vszg	legtöbb	átlag	átlagos eltérés
1953/54-1977/78	1	3	5	6	8	4,5	1,7
1978/79-2002/03	0	3	5	6	8	4,6	1,7
1953/54-2002/03	0	3	5	6	8	4,5	1,7

4.3.6. Az első és az utolsó hótakarós nap

A hótakaró határnapjainak jellemzőit mutatja be az **V. és a VI. táblázat**.

*V. táblázat.
Az első hótakarós nap jellemzői*

időszak	leg-korábbi	25 %-os vszg	50 %-os vszg	75 %-os vszg	leg-későbbi	átlag	átlagos eltérés
1953/54-1977/78	nov. 13.	nov. 27.	dec. 6.	dec. 23.	jan. 28.	dec. 11.	17
1978/79-2002/03	nov. 3.	nov. 22.	dec. 1.	dec. 17.	-	dec. 11.	22
1953/54-2002/03	nov. 3.	nov. 24.	dec. 4.	dec. 19.	-	dec. 11.	19

Mindkét vizsgált 25 évben átlagosan december 11-én alakult ki az első hótakaró. (Az 1989/90-es télen egyetlen napon sem mértek összefüggő hóréteget, így a hótakarónak határnapjai sem lehettek. Ez az év nagyban „lerontotta” a második 25 év átlagát: a nélküle számolt első és utolsó hótakarós nap átlagos dátuma dec. 6. illetve febr. 24. lett volna.) *Mohnl (1989)* vizsgálatai szerint az 1951 és az 1981 közötti telek Bécsben átlagosan december 10-én hozták meg az első hótakarót.

Az átlagoktól lényegesen jobb mutatók erre az éghajlatjelzőre nézve a kvartilisek.

A pestszentlőrinci állomáson az 50 év alatt a legkorábbi hótakarót november 3-án észlelték, 1980-ban. A telek negyedén november 24-re, felén december 4-re, háromnegyedén pedig december 19-re kialakult az első hótakaró. Az alsó és a felső kvartilis, valamint a medián is az utóbbi 25 évben mintegy 5 nappal hamarabb beköszöntő hóidényről tudósít. Az átlagos eltérés értéke csaknem harmadával nőtt.

Bár a 2003/04-es tél már nem tartozott bele a vizsgált időszakba, meg kell említeni, hogy új, nagy rekord született: 2003. október 23-án késő este az eső átment havazásba, s másnap reggelre 1 cm-es hótakaró alakult ki. Tehát ez a tél 10 nappal „megjavította” az eddigi rekordot! Sőt, megszületett a legkorábbi hóesés (az eddigi csúcs október 27. volt) új rekordja is (*Hirsch, Kalmár, Babolcsai (2003)*).

VI. táblázat.
Az utolsó hótakarós nap jellemzői

időszak	leg- korábbi	25 %-os vszg	50 %-os vszg	75 %-os vszg	leg- későbbi	átlag	átlagos eltérés
1953/54- 1977/78	nov. 30.	febr. 20.	márc. 4.	márc. 14.	márc. 31.	febr. 28.	18
1978/79- 2002/03	-	febr. 21.	márc. 1.	márc. 10.	márc. 22.	febr. 19.	23
1953/54- 2002/03	-	febr. 20.	márc. 4.	márc. 14.	márc. 31.	febr. 24.	21

Az 50 év alatt a legkésőbbi hótakarót március 31-én észlelték, 1977-ben. Átlagosan február 24-én tűnt el véglegesen a hó. A telek negyedén február 20-ra, felén március 4-re, háromnegyedén március 14-re. Az utóbbi 25 évben néhány nappal hamarabb búcsúzott el a hóidény. Az átlagos eltérés csaknem harmadával nőtt meg. *Mohnl* szerint Bécsben síkvidéken átlagosan március 1-én fordul elő utoljára hótakaró gyarapodást okozó havazás.

4.3.7. Fehér karácsonyok

Klimatológiai szempontból csekély jelentőséggel bír, de az emberek jelentős része számára egy tél havasságával kapcsolatban a legérdekfeszítőbb kérdés, hogy „Fehér lesz-e a karácsony?”. (És ez nemcsak nálunk van így. Nem véletlen, hogy az USA-ban készült havas témájú munkák majd' mindegyikében szerepel fehér karácsonyról szóló rész.) Nos, az elmúlt 50 évben 15 olyan karácsony volt, amikor a három ünnepnap közül legalább az egyikén volt hótakarós nap (**VII. táblázat**). Ezek közül 10-ben volt végig fehér a táj. December 24-ről 25-re mindössze háromszor esett 1-3 cm hó, 25-ről 26-ra hatszor 2-8 cm. Komoly hóesés (8 cm) tehát mindössze egy alkalommal fordult elő az elmúlt 50 év karácsonyain. Figyelemre méltó, hogy az utolsó évtized hóban gazdag volt, miközben 1971-től 10 éven keresztül nem volt egyetlen fehér karácsony sem.

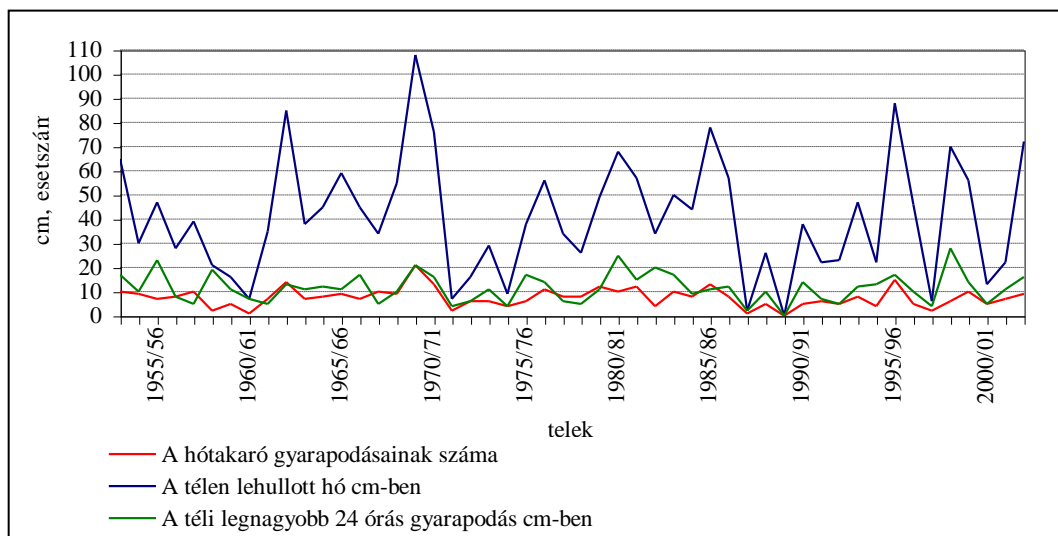
*VII. táblázat.
Karácsonyi hóvastagságok*

	'56	'62	'63	'66	'68	'69	'70	'81	'84	'91	'96	'98	'99	'01	'02
dec.24.	5	0	16	0	0	23	13	6	0	13	13	5	0	9	9
dec.25.	6	1	15	0	0	20	12	6	0	8	16	5	0	9	9
dec.26.	5	1	12	2	2	16	20	9	4	5	12	2	2	9	9

4.4. A hótakaró gyarapodásainak vizsgálata

4.4.1. A friss hó mennyisége

A telenként lehullott óról (pontosabban fogalmazva a hótakaró vastagsága mért napi növekedéseinek téli összegéről, hiszen a frissen kialakult hóréteg jelentősen meg is olvadhat az első megmértetéséig) is tudósít a **4.11. ábra**. A legtöbb hó az 1969/70-es télen esett le, amikor is több mint egy méternyi, egészen pontosan 108 cm-nyi hullott. Ez a szám a 75 cm-t a telek 10 százalékán, az 50 cm-t 32 százalékán, a 25 cm-t 72 százalékán érte el. Hat télen 10 cm-nyi hó sem esett. E paraméterek tekintetében a két részidőszak nagyon hasonlóknak bizonyult, mind az átlagot (41 cm), mind az attól való átlagos eltérést (19 cm illetve 20 cm) illetően.



4.11. ábra
A hótakaró gyarapodásának néhány jelzőszáma (1953/54-2002/03)

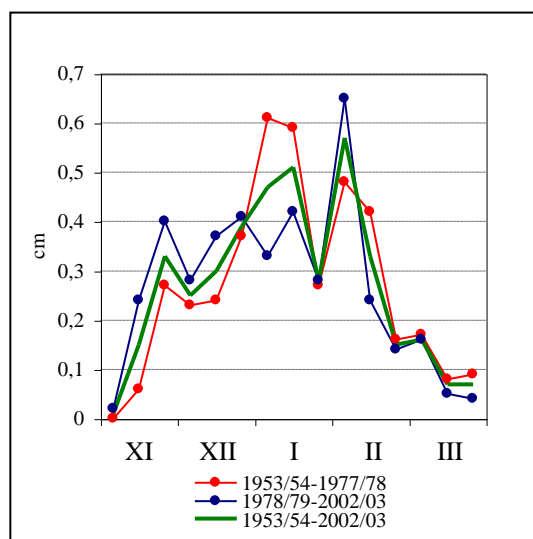
Érdekes, hogy a csúcstartó téltől kezdődően a legalább 70 cm-t produkáló teleket követő második tél mind ahányszor hóban igencsak ínségesre sikeredett.

A lehullott hó 25 éves havi átlagait is bemutatja a **VIII. táblázat**. Utóbb a tél kiegyensúlyozottabbá vált: a három téli hónapban egyaránt 10 cm körül volt a havi érték, szemben a korábbi idősakkal, amikor a január másfélszer több havat hozott, mint a két környező hónap. Figyelmet érdemlő a novemberi növekedés és a januári csökkenés.

VIII. táblázat
A lehullott hó és a hótakaró gyarapodásának néhány jellemzőjének átlaga

időszak	lehullott hó (cm)		napi gyarapodások (cm)		gyarapodások száma		max. napi gyarap. (cm)	
	1953/54-1977/78	1978/79-2002/03	1953/54-1977/78	1978/79-2002/03	1953/54-1977/78	1978/79-2002/03	1953/54-1977/78	1978/79-2002/03
	november	3	7	4,1	4,3	0,8	1,2	4,8
december	9	11	3,2	4,6	2,2	2,8	5,9	8,8
január	15	11	4,4	3,4	3,7	2,9	8,6	6,4
február	10	10	3,9	4,3	2,3	2	5,9	7,7
március	4	3	2,6	3,1	1,4	0,8	3,5	4
tél	41	41	3,5	3,7	10,3	9,6	11,3	11,7

A hótakaró gyarapodásának téli menetét mutatja be a **4.12. ábra**.



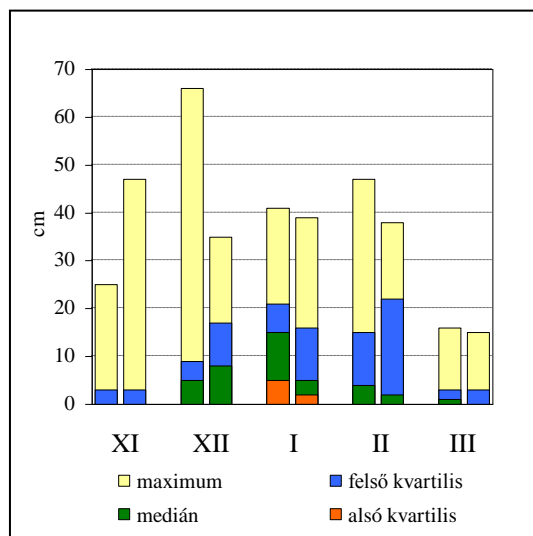
4.12. ábra

A hótakaró gyarapodásának dekádonkénti napi átlaga

Az 50 év átlagában a lehullott hó mennyisége a november utolsó, kiugró értékű dekádját leszámítva január második dekádjáig egyenletesen nőtt. Január harmadik dekádjában viszont drámai visszaesés következett be. Ezután azonban február első dekádjában kereken kétszer annyi hó hullott, mint egy dekáddal korábban! Ez a dekád egyben meghozta a téli csúcst is: naponta fél cm-nél több lehullott hóval. Ezután rohamosan csökkent a leesett hó mennyisége.

Összehasonlítva a két 25 éves időszakot a következő megállapításokat tehetjük. Az utóbbi negyedszázad átlagos telének valamennyi novemberi és decemberi dekádjában több hó hullott, mint az azt megelőzőkben. A legnagyobb növekedés november középső dekádjában mutatkozik. A görbék futása hasonló, mindkét időszakban december első 10 napjában átmeneti visszaesés következett be. Január első két dekádjában viszont utóbb lényegesen kevesebb hó hullott, mint korábban, amikor is ez az időszak hozta meg a tél legtöbb havát. A következő dekád az első 25 évben drámai visszaesést hozott: felére csökkent a lehullott hó mennyisége. Ez a visszaesés – szinte hajszálpontosan ugyanarra az értékre – a második 25 évben is bekövetkezett, de az esés kisebb mértékű volt. Ezután február első dekádja – különösen az utóbbi negyedszázadban, egyben téli csúcst felállítva – óriási, szignifikáns növekedést hozott. Később a görbék lecsengése hasonló, utóbb kevesebb hóval.

A lehullott hó havonkénti kvartiliseit mutatja be a két 25 éves időszakra a **4.13. ábra**.



4.13. ábra
*A hótakaró gyarapodásainak havonkénti kvartilisei
 (1953/54-1977/78, 1978/79-2002/03)*

A legtöbb havat hozó decembert, januárt, februárt és márciust az első periódus, november a második produkálta. Az 50 év leghavasabb hónapja 1969 decembere volt, 66 cm-nyi lehullott hóval.

Novemberben és márciusban a felső kvartilisek megegyeztek a két részidőszakban (3-3 cm). Míg korábban a telek negyedén a januárban lehullott hó elérte a 21 cm-t, 12 cm-rel többet, mint amennyit decemberben és 6 cm-rel többet, mint februárban elért, addig utóbb ez az érték februárban 22 cm, decemberben 17 cm, januárban 16 cm volt. Az egész télre vonatkozó felső kvartilis 56 cm volt (az első 25 évben 55 cm, a második 25 évben 57 cm)

Az első 25 évben a telek felén decemberben a lehullott hó mennyisége elérte az 5 cm-t, januárban a 15 cm-t, februárban a 4 cm-t. A második 25 évben viszont decemberben már a 8 cm-t is, januárban viszont már csak az 5 cm-t, februárban pedig csupán a 2 cm-t. Tehát a medián decemberben 3 cm-es növekedést, míg januárban 10 cm-es (!), februárban pedig 2 cm-es csökkenést mutat. Az egész télre vonatkozó medián 38 cm volt (az első 25 évben 38 cm, a második 25 évben 44 cm).

75 százalékos valószínűséggel 1 cm-t elérő friss hóréteg csak januárban alakult ki. Az így számolt lehullott hó mennyisége 5 cm illetve 2 cm volt a két részidőszakban. Az egész télre vonatkozó alsó kvartilis 22 cm volt (az első 25 évre 28 cm, a második 25 évre 22 cm).

Mindkét periódusban mind az 5 hónapra akadt példa teljesen hómentes esetre.

A VIII. táblázat szerint a tényleges napi gyarapodások átlaga az első részidőszakban 3,5 cm-es, a másodikban 3,7 cm-es volt. Az első 25 évben a január, a másodikban a december adta átlagosan a legnagyobb napi gyarapodást. A legkisebb gyarapodást okozó hóeséseket pedig mindkétszer a

március hozta el. Decemberben a napi gyarapodások mennyisége látványosan megnőtt, de nőtt novemberben, februárban és márciusban is. Csökkenés csupán januárban történt, igaz ez olyan mérvű volt, hogy így a januári érték megközelítette a márciusit.

Mohnl szerint Bécsben a múlt század második felére kis mértékben megnőtt a lehullott hó mennyisége, miközben a szórás nagymértékben növekedett. Beszámol róla, hogy előfordult, hogy 12 egymást követő napon mértek 1 cm-t elérő gyarapodást, s ekkor összességében 30 cm friss hó hullott le. 1969. december 4. és 9. között pedig mindennapi gyarapodással 75 cm hó esett.

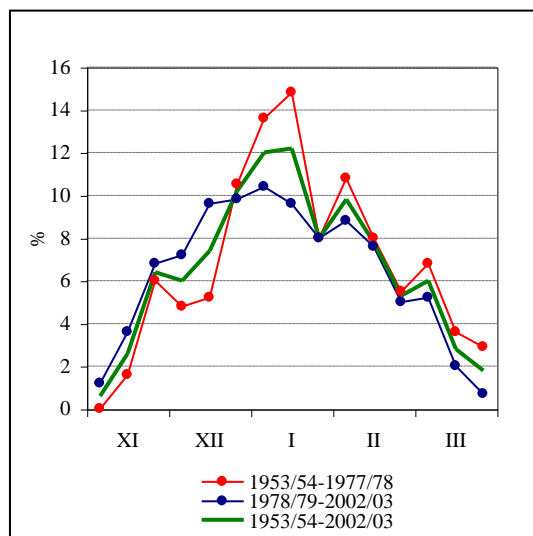
4.4.2. A hóréteg gyarapodásainak száma

A legalább 1 cm-es napi hótakaró gyarapodások telenkénti számát is szemlélteti a **4.11. ábra**. A legtöbb, szám szerint 29 alkalom az 1969/70-es télen adódott. A következő a sorban az 1995/96-os tél 25 esettel. Az 50 év alatt a felső kvartilis 14, a medián 11, az alsó kvartilis 7 eset volt. A két részüszak teljesen hasonlóan viselkedett. A gyarapodások 50 éves téli átlaga 11 alkalom (az első 25 évben 11,3, a második 25 évben 10,6). *Mohnl (1989)* – a magasság függvényében – Bécsre 10-30 alkalomról tesz említést.

5 cm-t elérő gyarapodások 50 éves átlaga 3 (3,1 illetve 2,9), a 10 cm-t elérőké 1 (0,9 illetve 1,1) alkalom volt. Kétszer fordult elő 8 alkalmat elérő 5 cm-es és 3 alkalmat elérő 10 cm-es gyarapodás. *Böhm (1975)* Bécs tekintetében évente átlagosan 5 alkalomról ír, amikor a hótakaró gyarapodása eléri az 5 cm-t. Az osztrák fővárosban az 1969/70-es télen 12 napon észleltek legalább 5 cm-nyi friss havat.

A gyarapodások számát a két 25 éves időszakban havi bontásban szemlélteti a **VIII. táblázat**. Legsűrűbben januárban szokott növekedni a hótakaró. Körülbelül fél tizeddel nőtt novemberben és decemberben, míg ugyanennyivel csökkent februárban és márciusban a növekedések száma. A januári érték komoly visszaesést mutat: 3,7-ről 2,9 alkalomra. A növekedések számát illetően november és március hasonlít egymásra, mintegy egy esettel. A január dominanciája utóbb megszűnt, a december csaknem utolérte, megelőzve a februárt is.

A hótakaró gyarapodása relatív gyakoriságának téli menetét mutatja be a **4.14. ábra**.



4.14. ábra
A hótakaró gyarapodásának relatív gyakorisága az adott dekád napjaiban

Az 50 év átlagában január közepéig a relatív gyakoriság – leszámítva a november utolsó dekádjának kiugró növekedését, amely egyben a téli maximális növekedés is – szinte egyenletesen nőtt. Január közepén a hótakaró gyarapodásának relatív gyakorisága 12 százalék körüli volt. Ezután a leggyorsabb téli gyakoriság-csökkenés következett, amit átmeneti növekedés követett. Február vége-március eleje 5 százalékos esélye után a valószínűség gyorsan elenyészett.

Az első 25 év átlagában is kiugró növekedés mutatkozott november utolsó tíz napjában. Ezután december első 20 napja kisebb gyakoriságokat hozott. A maximum január közepén adódott 15 százalék körüli értékkel, ami azután egyszeriben csaknem a felére esett vissza. Február, majd március első dekádjában átmeneti növekedés figyelhető meg. A legnagyobb növekedés december második felében, a legnagyobb csökkenés január második felében következett be.

A második 25 év átlagának görbéje sokkal simítottabb, mint a megelőzőé. December közepéig több hótakaró gyarapodást eredményező havazást hozott az utóbbi időszak – különösen december első kétharmadán –, ezután azonban – a február végi hasonló időszakot leszámítva – kevesebbet. Jelentős a különbség január első két dekádjában. A csúcsot ebben az időszakban január eleje hozta el, 10 százalékos meghaladó relatív gyakorisággal. A legnagyobb növekedés november első felében, a legnagyobb csökkenés március első felében mutatkozott.

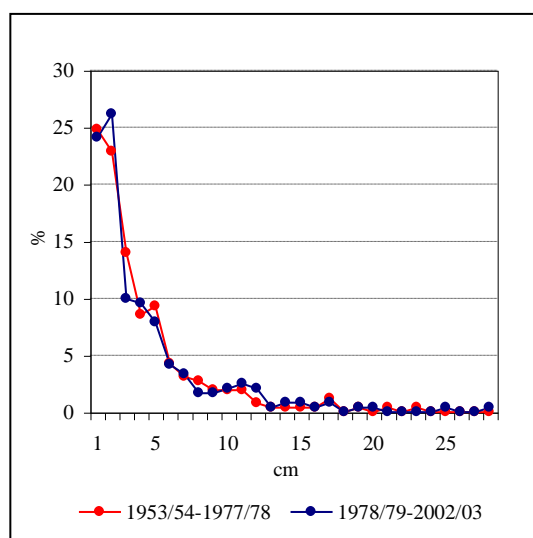
4.4.3. A legnagyobb napi hótakaró gyarapodás

A telenkénti legnagyobb 24 órás hótakaró gyarapodást is szemlélteti a **4.11. ábra**. Az 50 év legnagyobb napi növekedése 28 cm volt, 1999. február 10-én. A legnagyobb napi hótakaró gyarapodás a 20 cm-t a telek 10 százalékán, a 10 cm-t 66 százalékán érte el. A felső kvartilis 16 cm, a medián 11 cm, az alsó kvartilis 6 cm volt. Az átlag 12 cm, az átlagtól való átlagos eltérés 5 cm. Ami változott a fentebb felsoroltak közül a második 25 évre: az átlag és az átlagtól való átlagos eltérés is fél cm-t megnőtt. *Böhm* Bécsre 37 cm-es napi rekordról tudósít az 1934-1973-ig tartó 40 év tanulmányozása kapcsán.

Az átlagos havi maximális növekedéseket is láthatjuk a **VIII. táblázatban**. A novemberi, a decemberi és a februári érték jelentősen, a márciusi kis mértékben nőtt, a januári csökkent. Érdekes különbség, hogy míg az első 25 évben átlagosan a január kimagaslóan a legnagyobb napi hótakaró gyarapodásokat hozta el, addig a második 25 évben – a márciust leszámítva – a legkisebbeket!

4.4.4. A hótakaró gyarapodásainak vastagság szerinti gyakoriság eloszlása

A hótakaró gyarapodásainak vastagság szerinti gyakoriság eloszlását szemlélteti a két 25 éves időszakra **4.15. ábra**. Az 50 év alatt az 1 és a 2 cm-es gyarapodások esetszámra megegyeztek! 24,4- 24,4 százalékos részesedésük csaknem az esetek felét kitevte. A gyarapodás növekedésével az előfordulásának gyakorisága természetesen közel exponenciálisan csökkent. A két 25 éves időszakot összehasonlítva szignifikáns eltérést nem találunk, csupán a 2-3 cm-es tartományban látható jelentősebb különbség.



4.15. ábra
A hótakaró gyarapodásainak vastagság szerinti relatív gyakorisága

4.4.5. 10 éves periódusok vizsgálata

A **IX. táblázat** tanúsága szerint a legutolsó évtized kiemelkedően a vizsgált fél évszázad leghavasabbika volt.

IX. táblázat
Egyes teleket jellemző éghajlatjelzők tízéves átlagai

éghajlatjelző	1953/54- 1962/63	1963/64- 1972/73	1973/74- 1982/83	1983/84- 1992/93	1993/94- 2002/03
hótakarós napok száma	32	37	27	26	39
5 cm-t elérő napok száma	22	21	16	19	28
10 cm-t elérő napok száma	11	12	7	9	15
max. hóvastagság (cm)	17	19	16	15	21
hótakarós átl. hóvast. (cm)	7,6	7,0	6,9	6,6	7,6
átlagos hóvastagság (cm)	1,8	2,0	1,3	1,5	2,4
max. hótak. periódus (nap)	24	22	13	17	23
hótakarós periódusok száma	4,1	4,6	5,7	3,8	4,4
lehullott hó (cm)	37	48	40	34	44
gyarapodások száma	9,7	11,9	9,7	8,7	9,9
napi gyarapodások (cm)	3,6	3,6	3,8	3,0	4,0
max. napi gyarapodás (cm)	11,8	11,3	12,8	8,7	13,0

4.5. Összefoglalás

Bár a hórétég az időben és térben egyik legszeszélyesebb elem, a csapadék eredménye, és kialakulása, fennmaradása, illetve eltűnése gyakran tizedfokokon múlik, vizsgálata mégis eredményes, hasznos következtésekre vezet. A hóviszonyok részletes ismertetése során kimutattuk, hogy Budapesten az utóbbi negyedszázad telei minden szempontból kis mértékben havasabbak voltak, mint a megelőzőé. Továbbá bizonyos tendenciák, mint például a január havasságának csökkenése, a hóidény kezdetének korábbra tolódása, megfigyelhetők. Az évről évre roppant változékony éghajlatjelzőkre nézve azonban a változások összességükben oly kicsinyek, hogy mindez hóklímánk nagyfokú stabilitását mutatja.

5. IRODALOMJEGYZÉK

Ambrózy, P., Bartholy, J., Gulyás, O., 1983: Évszakos bontású makroszinoptikus típusok kialakítása cluster-analízissel az atlanti-európai térségre. Meteorológiai tanulmányok, No.39.

Babolcsai, Gy. és Hirsch, T., 2006: Characteristics and synoptic classification of heavy snowfall events in Budapest for the period 1953-2003, Part I. Időjárás, Vol. 110, No. 1, January-March 2006, pp. 1-13.

Babolcsai, Gy. és Hirsch, T., 2006a: Characteristics and synoptic classification of heavy snowfall events in Budapest for the period 1953-2003, Part II. Időjárás, Vol. 110, No. 2, April-June 2006, pp. 155-173.

Bacsó, N. - Kakas, J. - Takács, L., 1953: Magyarország éghajlata. Akadémiai Kiadó.

Bartholy, J. és Kaba, M., 1987: A Hess-Brezowsky-féle makroszinoptikus típusok meteorológiai statisztikai elemzése és korrekciója. Meteorológiai tanulmányok, No.57.

Baur, F., Hess, P., Nagel, H., 1944: Kalender der Grosswetterlagen Europas 1881-1939. Bad Homburg v. d. H.

Bălut, G., Dima, V., Jude, O., 1994: The comparative analysis of the snowstorms of november 1993 in the Carpatian Balkan Sink (Romanian Plain respectively). Annalen der Meteorologie, Nr.30. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie vom 5. bis 9. September 1994 in Lindau.

Bissoli, P. és Dittmann, E., 2001: The objective weather type classification of the German Weather Service and its possibilities of application to environmental and meteorological investigations. Meteorol. Zeitschrift, 10, pp. 253–260.

Bluestein, H.B., 1993: Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Vol II: Observations and Theory of Weather Systems. New York, Oxford University Press.

Bodolainé, J.E., 1983: Mennyiségi csapadékelőrejelzés a Duna és a Tisza vízgyűjtő területére a csapadékot létrehozó folyamatok találkozási modellje alapján. Kézirat, az OVH számára benyújtott Kutatási Jelentés.

Bonta, I., 1991: Nagy csapadékot adó rendszerek vizsgálata a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén. Doktori értekezés, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Böhm, R., 1975: Lufttemperaturen bei Schneefall von größerer Ergiebigkeit in Wien. *Wetter und Leben* 27, 133-137.

Busch, U. és Heimann, D., 2001: Statistical-dynamical extrapolation of a nested regional climate simulation. *Clim.Res.*, Vol.19, pp. 1-13.

Diday, E. és Simon J.C., 1976: "Clustering analysis," in *Digital Pattern Recognition*, K. S. Fu, Ed. Springer-Verlag, NY, 1976.

Fábiánics F., 1940: Budapesti havazások, 1900/01-1939/40. *Időjárás* 44. évf. júl.-aug..

Franch, F.S. és Sellés, C.G., 1994: Snowfall analysis in the Eastern Pyrenees. *Annalen der Meteorologie*, Nr. 30. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie vom 5. bis 9. September 1994 in Lindau.

Fukunga, K., 1972: Introduction to Statistical Pattern Recognition. Academic Press, New York and London.

Gerstengarbe, F. W., Werner, P. C., Busold, W., Rüge, U. and Wegener, K. O., 1993: : Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881-1992. 4. vollständig neu bearbeitete Auflage. Ber. Dt. Wetterd. 15 (113).

Goree, P. A. és Younkin, R. J., 1966: Synoptic climatology of heavy snowfall over the central and eastern United States. *Monthly Weather Review*, 94, pp. 663-668.

Gray, D.M. és Male, D.H., 1981: Handbook of snow: Principles, process, management and use. Pergamon Press, Oxford.

Hajósy, F., 1952: Magyarország csapadékviszonyai, 1901-1940.

Hess, P. és Brezowsky, H., 1952: Katalog der Grosswetterlagen Europas. Ber. Dt. Wetterd. in der US-Zone 33.

Hess, P. és Brezowsky, H., 1969: Katalog der Grosswetterlagen Europas. 2. neu bearb. u. erg. Aufl.. Ber. Dt. Wetterd. 15 (113).

Hess, P. és Brezowsky, H., 1977: Katalog der Grosswetterlagen Europas 1881-1976. 3. verb. u. erg. Aufl.. Ber. Dt. Wetterd. 15 (113).

Hirsch, T., 2000: Synoptic-climatological investigation of weather systems causing heavy precipitation in winter in Hungary. *Időjárás*, Vol. 104, No. 3, July-September 2000, pp. 173-196.

Hirsch, T., Kalmár, E., Babolcsai, Gy., 2003: Rendkívül korai hótakaró Magyarországon. *Légekör*, Vol.48, No.4, 2003, pp. 13-19.

Hirsch, T., 2005: Objective classification of weather systems causing heavy precipitation in winter in Hungary using ERA40 data. Proceedings of the 7th European Conference on Applications of Meteorology, ECAM 2005, 12-16 September 2005, Utrecht, Netherlands.

Horváth, Á., 1986: Az 1985. évi korai tél szinoptikus elemzése. *Légekör*, 31. évf., 1. szám.

Hromov, Sz. P., 1952: A szinoptikus meteorológia alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest.

Kéri, M., 1952: Magyarország hóviszonyai, 1929/30-1943/44. Az OMI Hivatalos Kiadványai, Magyarország éghajlata sorozat, 7. szám.

Kövé, Zs., 1998: Az új állomászámokról. *Légekör*, 43. évf., 4. szám, pp. 28-29.

Lauscher, F., 1972: 25 Jahre mit täglicher Klassifikation der Wetterlage in den Ostalpenländern. *Wetter und Leben*, 24.

Lauscher, F., 1981: Frühe Schneefälle 1980 in Wien - ohne Einfluß auf Verfärbung und Blattfall. *Wetter und Leben* 33, Heft 3.

Lauscher, F., 1985: Klimatologische Synoptik Österreichs mittels der ostalpinen Wetterlagen- klassifikation. Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Heft 64.

Maddox, R.A., 1979: A methodology for forecasting heavy convective precipitation and flash flooding. *National Weather Digest: Flood*. Vol.4, No.4

McNulty, R.P., 1991: Heavy Snow. DOC/NOAA/NWS Training Center, Kansas City, MO.

Mohnl, H. és Sobitschka, W., 1988: Die beiden Schneekatastrophen in Südösterreich zwischen 31. Januar und 10. Februar 1986. *Wetter und Leben* 40, Heft 3.

Mohnl, H., 1989: Neuschnee im Raum Wien. *Wetter und Leben* 41, pp. 269-278.

Mote, T.L., Gamble, D. W., Underwood, S. J., Benthley, M. L., 1997: Synoptic-scale features common to heavy snowstorms in the southeast United States. Weather and Forecasting, 12, pp. 5-22.

O'Hara, B. F. - Lance W. P., 2000: A Snow Cover Climatology for Fort Wayne, Indiana (1920-21 through 1998-99). Central Region Applied Research Papers No. 23, Kansas City, MO, NWS Central Region, 02-1-02-23.

Ozorai, Z., 1956: Az orografikus okklúzió a Kárpát-medencében. Időjárás, Vol. 60, No. 6, 1956. november - december, pp. 329-340.

Péczely, Gy., 1957: Großwetterlagen in Ungarn (Macrosynoptic Types for Hungary). Kleinere Veröff. Zentralanst. Meteorol. Budapest.

Péczely, Gy., 1964: A hócsapadék mennyisége Magyarország területén. Időjárás 68. évf.

Péczely, Gy., 1966: A hótakaró gyakorisága Magyarországon. Az OMI Hivatalos Kiadványai.

Péczely, Gy., 1983: Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa (1881-1983). Az Országos Meteorológiai Szolgálat kisebb kiadványai, 53.kötet.

Schalko, M., 1949: Grossschneefälle in Österreich. Ph.D.- Dissertation, Univ. Wien.

Schüepp, M., 1968: Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 - 1967 im zentralen Alpengebiet. Veröff. SMA Zürich, 11.

Spreitzhofer, G., 1999: Spatial, temporal and intensity characteristics of heavy snowfall events over Austria. Theoretical and Applied Climatology, 62, pp. 209-219.

Spreitzhofer, G., 1999a: Synoptic classification of severe snowstorms over Austria. Meteorol. Zeitschrift N.F.8, pp. 3-15.

Uppala, S.M., Kållberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Hólm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.-F., Morcrette, J.-J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch,

A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J., 2005: The ERA-40 re-analysis. Quart. J. R. Meteorol. Soc., 131, pp. 2961-3012.

van Beber, W.J., 1891: Die Zugstraßen der barometrischen Minima nach den Bahnenkarten der Deutschen Seewarte für den Zeitraum von 1875–1890. Meteorol. Zeitschrift. 8, pp. 361–366.

Wakonigg, H., 1991: Typen der Niederschlagsverteilung im österreichischem Alpenraum. Wetter und Leben 43, Heft 1-3.

Wild, R., O'Hare, G., Wilby, R., 1996: A historical record of blizzards/major snow events in the British Isles, 1880-1989. Weather, 51, pp. 81-90.

Younkin, R.J., 1968: Circulation patterns associated with heavy snowfall over the United States. Monthly Weather Review, 96, pp. 851-853.

Zsótér, E., 1997: A Kőrösökön 1995 decemberében kialakult rendkívüli árvíz meteorológiai vizsgálata. Szakdolgozat, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék.