



Ködös időjárási helyzetek nyomában

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Regionális
Fejlesztési Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Meteorológiai tájékoztatás

Éghajlati hatástanulmányok: eghajlat@met.hu

Éghajlati adatszolgáltatások, feldolgozások: klimaker@met.hu

Előrejelzés és egyéb szolgáltatások: service@met.hu

Központi elérhetőségek

Országos Meteorológiai Szolgálat

1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.

Tel.: (1) 346-4600

Fax: (1) 346-4669

e-mail: omsz@met.hu

Marczell György Főobszervatórium

1181 Budapest, Gillice tér 39.

Tel.: (1) 346-4600

Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központ

1181 Budapest, Gillice tér 39.

Tel.: (1) 346-4600

Siófoki Viharjelző Obszervatórium

8600 Siófok, Vitorlás utca 17.

Tel.: (84) 310-466

e-mail: siofok@met.hu

www.met.hu

legszenyezettseg.met.hu

aviation.met.hu

odp.met.hu



Ködös időjárási helyzetek nyomában

Bevezetés

Az informatika fellendülésével karöltve a meteorológia is folyamatosan fejlődik, és az utóbbi évtizedekben sokat javult az előrejelzések pontossága. A légkör kaotikus jellegéből, valamint a mérések hiányosságaiából adódóan azonban továbbra is távol állunk a tökéletes előrejelzések elkészítésétől. Természetesen vannak olyan időjárási helyzetek, amikor az előrejelzés jósági foka szinte megközelíti a 100%-ot, de az esetek többségében nem ez a jellemző. Az előrejelzés pontosságát ugyanis jelentősen befolyásolja, hogy milyen időjárási helyzetben és mely paramétert kell előrejelezni.

A látásromlás és a köd előrejelzése jelenleg is a szakma egyik legnagyobb kihívása, amely – a folyamat méretskálájából adódóan – jelentős bizonytalansággal terhelt (*Wantuch et al., 2010*). Céljaink között szerepelt, hogy a köd kialakulására, megmaradására, vagy éppen feloszlására vonatkozó prognózisok terén jelentős javulást érnünk el. Az előrejelzések javításához, pontosításához azonban szükség volt a köd kialakulását befolyásoló tényezők, körülmények széleskörű megismerésére. Erre nyújtott lehetőséget a „Légszennyezettség előrejelző rendszer kifejlesztése légköri víz-aeroszol kölcsönhatások figyelembevételével” című, GINOP-2.3.2-15-2016-00055 azonosító számú projekt. A pályázat során az elmúlt évek őszi, téli inverziós időjárási helyzetait tanulmányoztuk. Péczely György makrocirkulációs osztályozásának alapján csoportosítottuk a hosszabb ködös időszakokat, így képet kaptunk róla, hogy melyek azok a szinoptikai helyzetek, amik tartós, országos köd kialakulását támogatják. A ködperiódusok besorolását követően kiemelt figyelmet fordítottunk azokra a napokra, amelyek váratlan fordulatot hoztak, amikor nem az előrejelzéseknek megfelelően alakultak az események. Ahhoz, hogy meg-

értsük, mi okozza a modell-előrejelzés és a tényleges időjárási helyzet közötti eltérést, meg kellett vizsgálnunk még részletesebben az időjárási folyamatokat.

Az alábbiakban elsőként a ködperiódusok Péczely-féle csoportosítását ismertetjük, majd az elmúlt két év legszignifikánsabb ködös helyzeteinek elemzésére kerül sor. Ezek közül elsőként bemutatunk egy hosszú, heteken át tartó hidegpárnás időjárási helyzetet 2020 januárjából. Az áramszolgáltatásban is komoly fennakadásokat okozott a zúzmarás ködperiódus, a zúzmara súlya alatt leszakadó vezetékek miatt. Ezt követően két jellegzetes novemberi ködös napot mutatunk be. A radiációs és az advekción köd koncepcióját alkalmazva lépésről lépésre nyomon követjük a kiválasztott napok eseményeit a WRF-4 modell előrejelzésein keresztül. Néhány héttel később már egy ködmentes hidegpárnás helyzet felhőfizikai folyamatait tanulmányozhattuk. Ennek kapcsán december 14-e eseményeit követjük végig, hogyan változik napközben a felhőzet a szinoptikus skálájú folyamatok hatására. Végül néhány 2021-es ködös helyzet ismertetése következik, mely során három februári ködös nap sajátosságai kerülnek bemutatásra.

I. Ködperiódusok csoportosítása a Péczely-féle makrocirkulációs osztályozás alapján

Ködről akkor beszélünk, ha a vízgőz a földfelszín közelében kicsapódik, és a folyamat révén a látástávolság 1 km alá csökken. A ködképződés folyamatával, feloszlásával, típusaival és előrejelezhetőségével (*Wantuch et al., 2010; Hyvarinen et al., 2008; Nielsen et al., 2008*), továbbá

a hosszabb ideig fennálló hideg légpárnás időjárási helyzetek szinoptikus körülményeivel számos szakirodalom foglalkozik (*Bóna, 1986*). A köd természetének szélesebb körű megismerésére ködklimatológiai vizsgálatok a mai napig zajlanak (*Cséplő et al., 2019*).

Kiadványunk első fejezete a ködös napok szinoptikus hátterét vizsgálja. Kiemelt szerepet tulajdonítottunk a ködkeletkezés szinoptikus körülményeinek feltárásának, ugyanis – ahogy az már a Bevezetőben elhangzott – az előrejelzések javításához, pontosításához elengedhetetlen a ködképződés körülményeinek részletes megismerése. Az uralkodó nagytérségi cirkulációs folyamatok megismerését követően a ködperiódusokat csoportosítottuk. A csoportosítást a Péczy-féle módszertan (*Péczy, 1957*) alapján végeztük.

Módszertan

A kutatás alapját egy 148 ezer látástávolság adatot tartalmazó adatbázis képezi. Ez az adatbázis hazai szinoptikus állomások vizuális megfigyeléseit tartalmazza órás bontásban a 2007–2017-es időszakra vonatkozóan. Az adatbázisban azoknak a napoknak a megfigyelései szerepelnek, amikor valamely szinoptikus állomáson 1 km alatti látástávolságot figyeltek meg.

Jelen esetben nem az egyedi állomások adatait vizsgáltuk. Célunk az volt, hogy az adatbázisból azokat a ködös napokat válogassuk le, amikor országos szinten köd képződött. Definiálnunk kell tehát, mikor is beszélünk pontosan országos ködről. Jelen esetben akkor, ha a vízszintes látástávolság 1000 méter alá süllyed, továbbá teljesül az alábbi feltétel:

$$cf \geq \frac{st}{2} - 1$$

ahol *cf* (country fog) az országos köd tényét jelöli, amely akkor teljesül, ha a megfigyeléssel rendelkező állomásos (*st* (station)) számának felénél legalább eggyel kevesebb helyen érvényesül a köd megléte. Például abban az esetben, ha 15 állomásról van látástávolság információ és legalább 7 állomás ködöt jelent, akkor az már országos ködnek minősül.

A fenti definíciót alkalmazva a 2007–2017 időszakban 42 ködperiódust válogattunk le, majd ezt a későbbiekben további 13 esettel kiegészítettük, melynek megfigyelései a 2019/2020 őszi, téli ködös helyzetekből adódtak. Mind az 55 esetben teljesül tehát az országos köd feltétele. A továbbiakban, ezen ködös periódusokat szerettük volna csoportosítani annak függvényében, hogy az időszak előtt, illetve a ködös napok alatt, milyen nagytérségi folyamatok kormányozták a légkört.

A ködperiódusok besorolása Péczy György szubjektív makrocirkulációs osztályozása (*Péczy, 1957*) alapján történt. A nagytérségű időjárási helyzetek osztályozására a Kárpát-medencére vonatkoztatva Péczy 13 típust különböztet meg (7 db anticiklonális, 6 db ciklonális). Elnevezését az adott típusnak a nyomáscentrum Kárpát-medencéhez viszonyított helyzete alapján kapta. Az osztályok kialakításának alapját az 500 hPa-os geopotenciál magasság és a tengerszinti légnyomás értékek képezik (*Vaszkó, 2016*). Péczy osztályozásánál a nyomási értékek minden esetben 00 UTC-re vonatkoznak, a ciklonális és az anticiklonális helyzetek szétválasztásánál pedig az 1015 hPa jelenti a küszöbértéket. Péczy az osztályok kialakításánál a fenti paraméterek mellett vizsgálta a szélirányok gyakoriságát is, továbbá figyelembe vette azokat a speciális hatásokat is, amelyek a Kárpát-medence orográfiájából erednek. A ködperiódusok osztályozásához elsősorban magyar és német (DWD) frontanalízis térképeket, valamint az OMSZ

Napijelentés kiadvány leírásait használtuk. Fontos megemlíteni, hogy a besorolás a ködperiódus első, kezdőnapjára vonatkozik, vagyis a ködperiódus kezdetén fennálló szinoptikus helyzetet tükrözi.

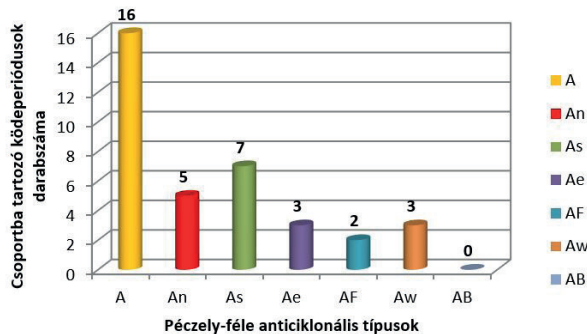
A Kárpát-medence időjárását alakító nagytérségi folyamatok mellett kiemelt figyelmet szenteltünk a ködös időszakot megelőző napok csapadékviszonyainak alakulására is, mivel a ködképződésben a talaj nedvességi viszonyainak, így közvetve a csapadékhullás tényének kiemelt szerepe van.

A ködös időszakok osztályozását és a csapadékviszonyok elemzését, az áramlási viszonyok vizsgálata követte. Részletesen vizsgáltuk a periódusok idején uralkodó felszínközeli advekción folyamatokat. Továbbá az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) analízise lehetőséget ad, hogy a légkör magasabb szintjein zajló folyamatokról is képet kapjunk. Így az analízis révén információhoz juthattunk arról, hogy a ködös napokban hideg- vagy épp melegadvekción dominált a légkör 850 hPa és 925 hPa nyomási szintjein.

Az alábbiakban részletesen is ismertetjük az egyes osztályokat, a hozzájuk tartozó ködös időszakok sajátosságait, kiemelt tekintettel az adott típusra jellemző advekción viszonyokra.

Anticiklonális helyzetek

A vizsgált 55 ködperiódus közül 36 esetben anticiklon alakította a Kárpát-medence időjárását. Péczely a magasnyomás centrumának elhelyezkedése alapján 7 típust különböztet meg. Az egyes csoportok főbb jellemzőire az alábbiakban részletesen is kitérünk. Az **1. ábra** szemlélteti a ködperiódusok megoszlását az anticiklonális típusok között.



1. ábra. Az egyes Péczely-típusok gyakorisága Magyarországon anticiklonban kialakuló ködperiódusok esetén (2007–2020).

A legnagyobb gyakorisággal abban az esetben alakult ki országos köd, amikor **a magasnyomás centruma a Kárpát-medence felett** helyezkedett el (**A**). Ez a helyzet kedvez leginkább a Kárpát-medencében tartós hidegpárnás helyzet kialakulásának, szám szerint az 55 ködperiódusból az esetek majdnem fele (44%) ide sorolható, így ez a legnépesebb csoport. Ami a légtömegek áramlási viszonyait illeti, ekkor az esetek több mint felében mind felszínközeli, mind a magasban melegadvekción zajlott. Az áramlás iránya jellemzően délies volt, mely túlnyomórészt gyenge vagy mérsékelt maradt. Ebben az időjárási helyzetben mindenhol egyformán jellemző volt a köd az országban.

Az anticiklonális periódusok közül további 15-20%-ot képviseltek azok a szinoptikus helyzetek, amikor tőlünk **északra (An)**, illetve **déle (As)** húzódtott az anticiklon középpontja. Az elsőként említett esetben hazánk a magasnyomás déli peremén helyezkedik el, így keleties áramlás a meghatározó. Bár a keleties helyzetekhez nagy gyakorisággal hidegadvekción társul, ebben az esetben ez nem jelenthető ki egyértelműen. Általában lassú lehűlési folyamatot tapasztaltunk az ide tartozó ködperiódusok idején, de a periódus valamely szakaszában

minden esetben melegadvekcio is jelen volt. Gyakori inverziós rétegződés jellemző, sűrű köddel, mely legkisebb gyakorisággal a nyugati tájakon alakult ki.

Hasonlóan magas a ködhajlam abban az esetben is, ha hazánktól délre, a Földközi-tenger vagy a Balkán térségében erősödik meg a magasnyomás. Ekkor a frontok általában az 50. szélességi körtől északra vonulnak, így hazánk időjárásának alakításában nem játszanak szerepet. Az anticiklon peremén mérsékelt délies légmozgás a meghatározó, mely a periódusok többségében a légkör alacsonyabb és magasabb szintjein is egyaránt meleg levegőt szállít a Kárpát-medencébe.

Kicsi a ködgyakoriság, ha **hazánktól keletre húzódik anticiklon (Ae)**, vagy épp **Skandinávia térségében terül el a magasnyomás (AF)**. Mindössze két-két ilyen helyzettel talákoztunk. A kevés esetszámot azzal magyarázhatjuk, hogy ilyen szinoptikus körülmények között keleti irányból hidegadvekcio a meghatározó mind a felszínközeli, mind a légkör magasabb szintjein (pl. 850 hPa, 925 hPa). A száraz, hideg levegő beáramlása pedig nem kedvez a ködképződéshez.

A **nyugatról benyúló anticiklon (Aw)** általában hidegfront átvonulását követően épül ki. Ekkor az azori térségből Nyugat-Európán át egészen a kontinensbelsőbe beékelődhet egy magasnyomás, az úgynevezett „azori orr”. Az általános jellemzések alapján ez egy kedvező időjárási helyzet ködképződés szempontjából, de csupán egy olyan esettel talákoztunk, ahol teljesült az országos köd ténye. A magyarázat a szélviszonyokban keresendő, mivel ilyenkor egy posztfonális helyzet jön létre, amikor még gyakran élénk az északias áramlás, ráadásul hidegadvekcio a meghatározó. Köd abban az esetben alakulhat ki, ha csillapodik a szél és nyugalomba jut a hideg légtömeg. Az általunk vizsgált esetben a felszínközeli már megindult a melegadvekcio.

Péczy utolsó csoportként említi azt a szinoptikus helyzetet, amikor a **Brit-szigetek térségében terjeszkedik a magasnyomás (AB)**. Általánosan elmondható, hogy nem túl gyakori időjárási helyzet. Ilyen időjárási körülmények között az őszi-téli időszakban bár jelentkezik némi ködhajlam, ennek mértéke nem ér fel a többi anticiklonális helyzettel. Vizsgálatunk során sem találtunk olyan periódust, ami ide sorolható, tehát országos köd brit magasnyomás esetén nem alakult ki az áttekintett 19 éves időintervallumban.

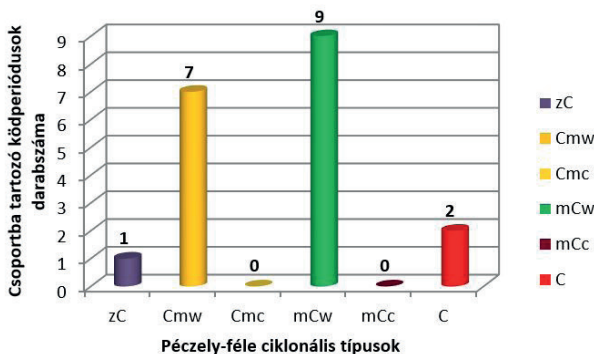
Összegezve a 36 anticiklonális helyzetben kialakult ködperiódus advekcio viszonyait az alábbi eredményre jutottunk (**2. ábra**): a periódusok többségénél felszínközeli egyértelműen melegadvekcio dominált (50%). Ezzel szemben a légkör magasabb szintjein (925 hPa, illetve 850 hPa) nem kaptunk ilyen egyértelmű eredményt, csoportonként gyakran eltérő volt az advekcio típusa.



2. ábra. Hazai ködperiódusok advekcio viszonyai felszínközeli, illetve a légkör magasabb (850 hPa és 925 hPa-os nyomásnak megfelelő) szintjein anticiklonális időjárási helyzetben (2007-2020).

Ciklonális helyzetek

A „maradék” 19 ködperiódus besorolásához további hat Péczy-típus áll a rendelkezésünkre. Az esetszámok megoszlása az egyes csoportok esetén a **3. ábra** szerint alakult.



3. ábra. Az egyes Péczy-típusok gyakorisága Magyarországon ciklonális időjárási helyzetben kialakuló ködperiódusok esetén (2007-2020).

Első típusként egy olyan időjárási helyzetet mutatunk be, amely egy klasszikus típusa a nyugat-kelet irányú áramlásnak (Vaszkó, 2016), a **zonális ciklon (zC)**. Ekkor Észak-Európában sorra követik egymást a ciklonok és frontjaik, melyek az óceán felől enyhe, nedves levegőt szállítanak. Az izobárok sűrűsödnek a skandináv, a balti térségben, valamint a középső szélességeken is, így nálunk is szeles időjárás a meghatározó. Ez utóbbi jelleg maga után vonja, hogy ez az időjárási helyzet sem a legkedvezőbb ködképződés szempontjából, és ez a csoportosítás során igazolódni látszott. Összesen egy periódust tudtunk ide besorolni, az is csupán rövid életű volt, mindössze két napig teljesült az országos köd ténye. A periódust megelőzően délről benyúló magasnyomás alakította az időjárást, majd frontokhoz kapcsolódóan a periódus

idején váltakozó nedvességtartalmú légtömegek érkeztek a Kárpát-medencébe, így számos helyről jelentettek esőt, havazást, ónos csapadékot. A ködös napok idején mind felszínközelsben, mind a magasabb légköri szinteken intenzív volt a melegadvekción.

A következő időjárási típus egy centrumhelyzet, amikor maga a **cikloncentrum a Kárpát-medence felett (C)** helyezkedik el. Előfordulhat, hogy egy hullámozó frontrendszer átvonulása kapcsán a hullámvetés mentén épül ki az alacsonynyomású központ, de nagyobb gyakorisággal mediterrán ciklon átvonulása idején jellemző, hogy a centrum térségünk felett tartózkodik. Az eltérő szélviszonyok miatt időjárási szempontból ekkor erősen megosztott az ország. A ciklon hátoldalán északias áramlás dominál, míg előoldalon déli szél a meghatározó, így jelentős hőmérsékleti kontraszt alakulhat ki pár száz kilométeres távolságon belül is. Felszínközelsben, továbbá a magasban is időről-időre változik az advekción típusa a képződemény áthelyeződésének függvényében. Eleinte meleg, nedves levegő érkezik, majd a hidegfront már száraz, hűvös levegőt hagy hátra. A képződemény maga után vonja az izobárok sűrűsödését, így szeles az idő. Mindössze két ködperiódus tartozik ehhez a csoporthoz.

A folytatásban azt a két ciklonális típust mutatjuk be, amelyekben legmagasabb a ködhajlam. **Mérsékelt övi ciklon (mCw)**, illetve **mediterrán ciklon előoldalán (Cmw)** melegadvekción helyzetben nagy gyakorisággal alakulhat ki országos köd.

Előbbi esetben (mCw) általában az atlanti térségben egy nagy kiterjedésű, kimélyült ciklon örvénylik, melynek frontálzónája Nyugat-Európa felett tartózkodik. A ciklon előoldalán, a melegszektorban, déli, délnyugati áramlással enyhe légtömeg advektálódik hazánkba. Gyakran nedvességet is szállít magával a Földközi-tenger irányából, ami tovább támogatja a ködképződést.

A felszínközeli vizsgált periódusok többségénél melegadvekción zajlott, míg a magasban hol hideg, hol melegadvekción figyelhetünk meg. Napközben gyakran élénk volt a szél, éjszakára azonban – ahogy az melegadvekción idején lenni szokott – gyorsan veszített erejéből a légmozgás és sűrű köd képződött az ország nagy részén.

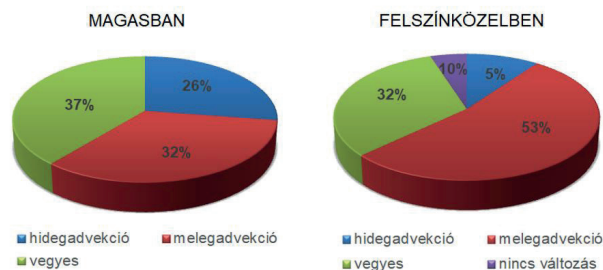
Második legnépesebb csoport a ciklonális helyzetek közül, mikor hazánk egy **mediterrán ciklon előoldali (Cmw)** áramlási rendszerében helyezkedik el. A felszínközeli egyértelműen a melegadvekción a meghatározó, a ciklon melegfrontja mögött délnyugati áramlással érkezik az enyhe levegő. Az analízis alapján, a magasabb szinteken is az esetek többségében meleg, nedves légtömeg volt jelen. A ködperiódusoknak gyakran a ciklon hidegfrontja mögött feltámadó északnyugati szél vetett véget.

A Péczy-féle csoportosítás alapján az egyik legritkább időjárási helyzet, a **mediterrán ciklon hátoldali áramlási rendszere (Cmc)**. Ekkor az ország délkeleti peremén egy mediterrán ciklon halad el, miközben délnyugat-északkelet irányítottágú pályán mozog. Kiadós esőzéssel járó folyamat, és az izobárok sűrűsödése révén szeles az idő (gyakran viharos), így kicsi a ködhajlam. A **Cmc** egy üreshalmaz, az 55 ködperiódus közül egy sem tartozik ide.

Nagyon hasonló körülményeket teremt egy **ciklon hátoldali áramlási rendszere (mCc)** is. A nagy bárikus gradiens miatt ekkor is gyakran viharos erejű a szél, így kicsi a ködhajlam. Nem találtunk olyan ködös helyzetet, amit ide tudtunk volna sorolni.

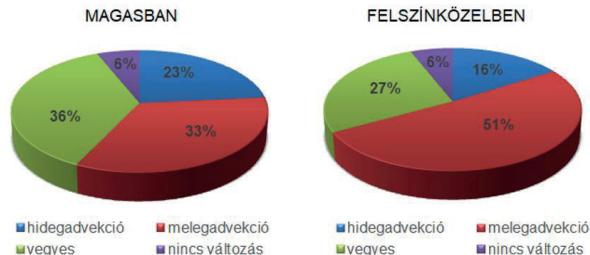
Együttesen tekintve a 19 ciklonális időszak advekción viszonyait a következő eredményeket kaptuk: ahogy azt az alábbi diagram (**4. ábra**) is szemlélteti, a légkör magasabb szintjén a ködös napok alatt meleg és hideg-

advekción egyaránt előfordult. Bár arányaiban kicsi a különbség, de valamelyest a tisztán melegadvekción helyzetek (amikor a periódus során végig csak meleg beáramlás volt megfigyelhető) kiemelkedtek. A felszínközeli ennél jóval egyértelműbb eredményre jutottunk. A légkör legalsó rétegében szinte elenyésző a hidegadvekción helyzetek száma, a melegadvekción dominált.



4. ábra. Hazai ködperiódusok advekción viszonyai felszínközeli, illetve a légkör magasabb (850 hPa és 925 hPa-os nyomásnak megfelelő) szintjein ciklonális időjárási helyzetben (2007-2020).

Ha együttesen tekintjük a 13 Péczy-típust, akkor az advekción diagram (**5. ábra**) a következőre módosul:



5. ábra. Az 55 hazai ködperiódus advekción viszonyainak megoszlása felszínközeli, illetve a légkör magasabb (850 hPa és 925 hPa-os nyomásnak megfelelő) szintjein (2007-2010).

A felszínközeli melegadvekción továbbra is 50% körül mozog, tehát egyértelműen kijelenthető, hogy a periódusok többségénél felszínközeli a melegadvekción dominált. A felsőbb légköri szinteken (850 hPa, 925 hPa) továbbra sem billen egyértelműen a meleg vagy a hideg irányába a mérleg, általában a periódus során váltakozott az advekción jellege, gyakran hideg és melegadvekción váltotta egymást.

A csapadék tekintetében egyértelműen kijelenthető, hogy a ködperiódusokat megelőző napokban az esetek többségében előfordult csapadéktechnikénység (95%-os gyakorisággal). Továbbá 2019/2020-as őszi, téli hidegpárnás helyzetek vizsgálata során kiderült: ha a periódus közben is volt csapadék-utánpótlás (pl. egy melegfront átvonulása során) az még tovább erősítette a ködhajlamot.

Összegzés

A ködperiódusok kétharmada anticiklonális időjárási helyzethez volt sorolható, ezek közül is legnagyobb gyakorisággal akkor alakult ki köd, mikor centrumával a Kárpát-medence felett helyezkedik el a magasnyomás. A ciklonális esetek közül a mérsékelt övi ciklon előoldálán, melegszeletorban legnagyobb a ködhajlam. Továbbá megállapítottuk, hogy a hátoldali helyzetek sem mediterrán, sem mérsékelt övi ciklon esetén nem támogatják a ködképződést, mindez pedig a bárikus gradiens indukálta szélre vezethető vissza.

A ködperiódusokat megelőzően szinte kivétel nélkül volt csapadéktechnikénység, továbbá a periódus során hullott csapadék elősegítette a további ködképződést.

Az áramlási viszonyok tekintetében kijelenthetjük, hogy felszínközeli a vizsgált esetek többségében döntően melegadvekción volt megfigyelhető, míg a magasban

meleg- és hidegadvekción nagyjából azonos arányban fordult elő. Összességében elmondható, hogy felszínközeli a melegadvekción nagy százalékban jellemző a ködperiódusok idején, és bár a magasban nem ennyire kiugróan magas a melegadvekción aránya, ha jelen van, az egyértelműen támogatja az országos köd kialakulását.

II. Esettanulmányok

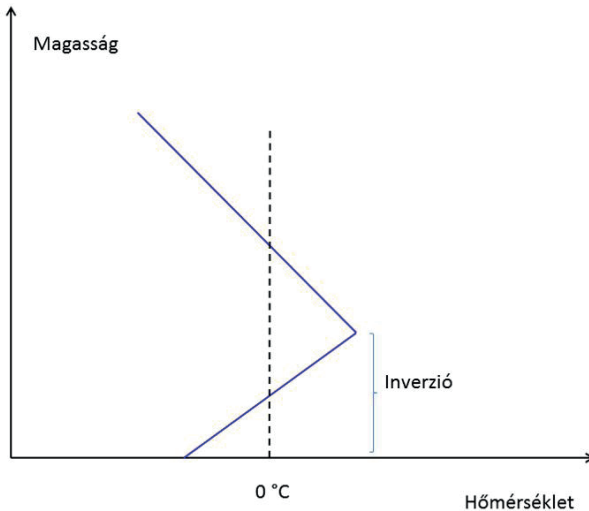
A továbbiakban esettanulmányokon keresztül mutatjuk be a jellemző hazai ködös helyzeteket és azok körülményeit. Kitérünk a köd kialakulására, az időjárási körülményekre, különös tekintettel a vertikális rétegződésre, illetve bemutatjuk a felszakadás folyamatát. Áttekintünk hosszan tartó periódusokat, tipikus sugárási és advektív ködös helyzeteket, illetve kitérünk a numerikus modell vizsgálatok eredményeire is.

A 2020. január 11-től 28-ig tartó ködös periódus részletes elemzése

2020. január első napjaiban hazánkban már részlegesen kialakult a hidegpárna jelensége, viszont akkor még nem volt hosszú életű, január 11-től azonban ismét a köd lett a meghatározó az országban, mely helyenként két héten át makacsul megmaradt. A fagyponnalatti hőmérsékleten a vezetőekre lerakódó zúzmara, az egyre vastagodó jégréteg komoly károkat okozott az ország területén mind a növényzetben, mind az áramszolgáltató rendszerében.

A hideglégpárnás időjárási helyzet kialakulásának mechanizmusa

Átlagosan véve a légkörben a hőmérséklet 100 méterenként 0,65 °C-ot csökken a magassággal. Ez azonban egy átlagos érték, ugyanis a hőmérséklet nem ilyen lineárisan változik, az időjárási helyzet függvényében előfordulnak ennél jóval alacsonyabb, illetve magasabb értékek is. Gyakran előfordul, hogy a hőmérsékleti görbe a magassággal emelkedést rajzol ki, ekkor beszélünk a hőmérsékleti inverzió jelenségéről (6. ábra).



6. ábra. A kisugárzási inverzió jelensége. A légkör alsóbb rétegeiben a magassággal emelkedik a hőmérséklet.

Az inverziós helyzetek speciális esete a hideglégpárna, amely a téli félévre jellemző és hazánk medence fekvése nagymértékben hozzájárul a kialakulásához. A hidegpárna általában anticiklonális helyzetekhez köthető. Ekkor magasnyomás húzódik térségünk fölé, szélcsendes, nyugodt az időjárás. Az anticiklon felhőszerző hatása révén derült vagy gyengén felhős időszakok

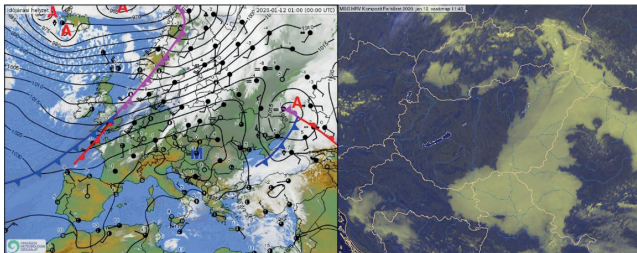
jellemzők. Derült, téli éjszakákon erős a kisugárzás, lehűl a talajfelszín és a vele szorosan érintkező levegő. Ahogy ez a hűlés egyre vastagabb légrétegre terjed ki, kialakul a kisugárzási inverzió. Ilyen stabil, több napon keresztül fennálló inverziós helyzetben a talaj közelében megreked – légátkeveredés hiányában akár több napig, néha hetekig is a medencében marad – az egyre hidegebbé váló, nyirkos légtömeg.

Az időjárási helyzet részletes elemzése

2020. január 11-én, szombaton hajnalban a tiszántúli területeken megindult a ködképződés, és mivel a minimum hőmérséklet fagypont alatt alakult, így a tereptárgyakon zúzmara is megjelent. Ugyanekkor kora reggel egy gyenge hidegfront érte el a Kárpát-medencét, mely lassan haladt kelet felé, de a Tiszántúltra érve már annyira legyengült, hogy nem tudta felszakítani a ködtakarót. Így a **keleti országrészben** egész nap makacsul megragadt a köd. A ködnaplan fölé napközben magas szintű felhőzet sodródott, mely további védelmet nyújtott a felszakadás ellen.

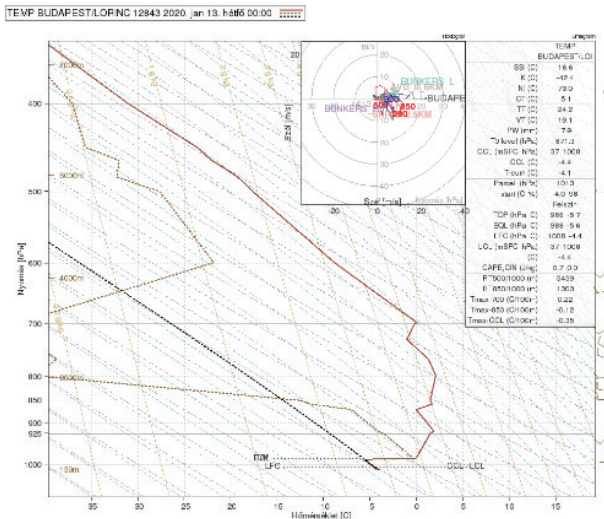
A következő napon az ország egyre inkább anticiklonális hatások alá került, így a folytatást is eseménytelen időjárás és egész napos, tartós köd jellemezte a **Tiszántúlon, a Körös-Maros között, valamint a déli országhatár mentén** (7. ábra). Ezekben a körzetekben napközben is fagyott, így egyre többfelé zúzmara jelent meg a növényzeten, tereptárgyakon. A megfigyelések alapján elmondható, hogy – főként az északkeleti körzetekben – szinte folyamatosan gyarapodott a zúzmara a növényzeten, vezetőkeken. Ekkor a Dunántúlon és a Duna-Tisza-koze döntő részén még derült, napos idő volt

a meghatározó, majd napnyugtát követően dél felől ismét terjeszkedni kezdett a ködtakaró. A hidegpárnás helyzet teljes intervalluma alatt – a hideg levegő konzerválódása révén – éjszakánként országos fagy volt jellemző. Általában -3 és -6 fok közé süllyedt a hőmérséklet, de a derült körzetekben ezen az éjszakán -8 – -10 fokos minimum is előfordult.



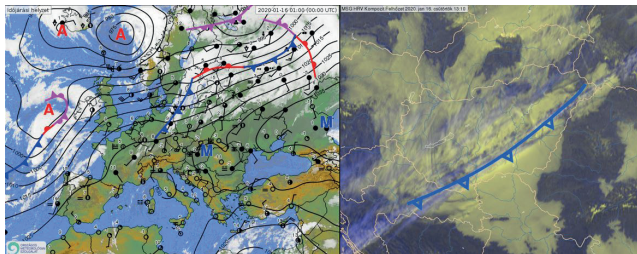
7. ábra. 2020.01.12-én egy nyugatról benyúló anticiklon alakította a Kárpát-medence időjárását, mely tovább erősítette a ködhajlamot (bal oldali ábra). A Tiszántúlon és a Kőrös-Maros közén napközben is makacsul tartotta magát a köd, míg a Dunántúlon és a Duna–Tisza közén derült, napsütéses volt az idő (jobb oldali ábra).

Január 13-án már **sűrű köd borította az ország nagy részét**, csak a magasabb hegyek (Mecsek, Bakony) és Sopron tágabb környezete lógott ki a ködtakaróból. A tiszántúli területeken napközben több alkalommal is jelentkezett ónos szitálás, megnehezítve ezzel a közlekedést, továbbá plusz terhet rótt a vezetékekre is. Az éjszéli budapesti rádiószondás felszálláson 450 méter környékén erőteljes (5-6 fokos) inverzió rajzolódik ki (**8. ábra**), mely a ködpaplan tetejét jelöli ki. A déli felszállással összehasonlítva azt láttuk, hogy az elmúlt 12 óra során az inverzió 150 méterrel magasabbra került. A következő napokban pedig tovább emelkedett az inverziós réteg (500 méter fölé), napról-napra **egyre vastagodott a hidegpárna, és nőtt az alsó, fagyos levegővel kitöltött légréteg vastagsága.**



8. ábra. Budapesti rádiószondás felszállás 2020.01.13-án hétfőn 00 UTC-kor. Az alsó néhány száz méteren a hőmérséklet emelkedik a magassággal és jelentős hőmérsékleti gradiens rajzolódik ki a felszín és a magasabb légköri szintek között. Felszín közelében fagypont alatt alakul a hőmérséklet, míg 925 hPa-on már 7-8 fokkal enyhébb az idő.

Január 14-én és 15-én is tartotta magát a köd, a rétegfelhőzet immár **az egész országot behálózta**. Ebben a két napban a tiszántúli szinoptikus állomások kisebb megszakításokkal, de mindvégig zúzmarás ködöt jelentettek (napi 19-21 órában). A Beregi- és a Szatmáriság kivételével fagypont alatt maradt a hőmérséklet és a gyenge légmozgás támogatta a zúzmaras lerakódást. A csapadékalakok közül – főként a Nyírségben – **ónos szitálás** is előfordult, ami **tovább növelte a vezetékek terhelését**, többfelé szakadást okozva ezzel. Napközben a megelégnélkül délkeleti szél először a Bakonyban, majd az északnyugati határszélen, a Kapos-völgyében, végül a délkeleti és északkeleti határ mentén is átmenetileg felszakította a rétegfelhőzet. Így rövid időre kisütött a nap, megszakítva ezzel a ködös időszakot. A késő délutáni



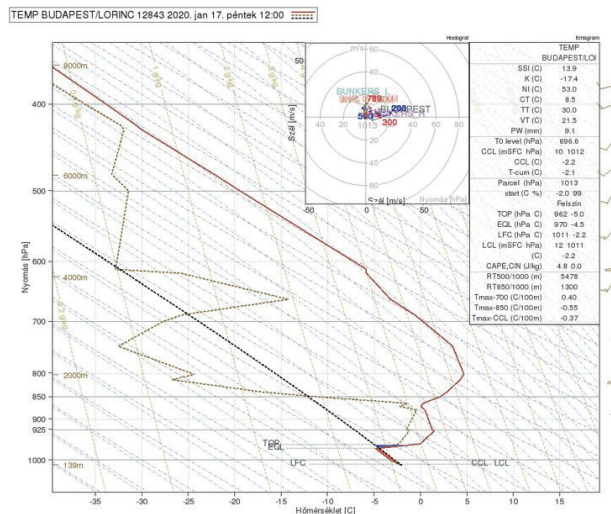
9. ábra. Az Országos Meteorológiai Szolgálat frontanalízis térképén láthatjuk, hogy 2020.01.16-án északnyugat felől egy hullámszó frontrendszer gyenge hidegfronti szakasza közelítette meg a Kárpát-medencét (bal oldali ábra). A műholdkép szépen szemlélteti, ahogy a front hatására nagy területen szétnyílt a felhőpaplan, megszűnt a köd.

óraktól azonban ismét mindenütt köd lett úrrá a tájon és estétől újra zúzmara képződött.

Január 16-án egy legyengült hidegfront vonult át az országon. A hőmérséklet alakulásában különösebb változást nem okozott, de ahogy azt a műholdfelvételen is láthatjuk (9. ábra), kissé megmozdította a hidegpárnát. Az ország északi, északnyugati felében napközben többfelé feloszlott a köd, elvékonyodott, felszakadozott a rétegfelhőzet, és a déli óráktól egészen estig a vezetékeken szünetelt a jégképződés. Ellenben az ország keleti, délkeleti tájegységein továbbra is tartotta magát a ködös, nyirkos idő, a Kiskunságról, valamint Békéscsaba környékéről pedig gyenge csapadékot is jelentettek.

A január 17-i éjfél felészállás az inverzió nagymértékű süllyedését (~260 méter) és a magassági szél keleti irányba való fordulását mutatta (10. ábra). Az inverzió erőssége 7-8 foknak mutatkozott, ennyivel volt melegebb 500–600 méteres magasságban, mint felszín közelben.

Napközben az északi vidékeken felszakadt a rétegfelhőzet és a ködöt többfelé felváltotta a párásság. Eközben az ország nagy részét továbbra is zúzmarás köd lepte el, így a vezetékek nem mentesültek a terhelés alól. A fagyos időben, a gyenge légmozgás mellett

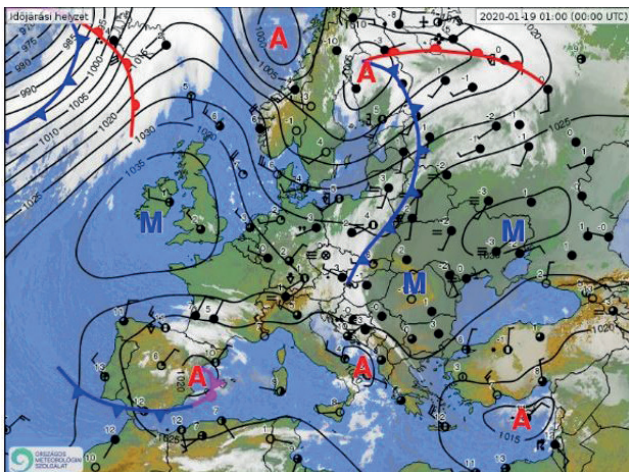
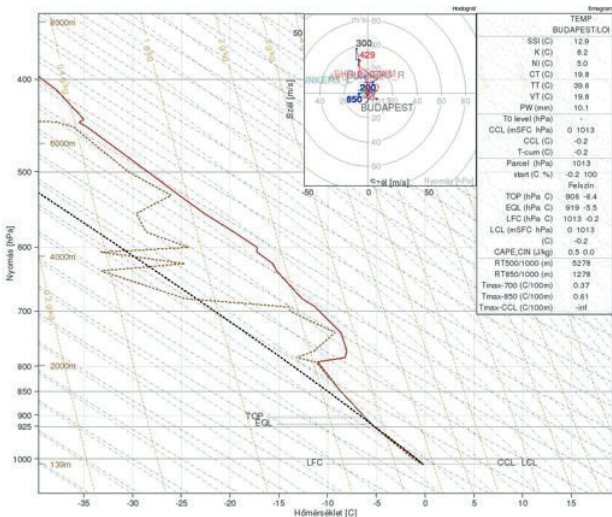


10. ábra. Budapesti rádiószondás felszállás 2020.01.17-én 00 UTC-kor. Az inverzió nagymértékben megsüllyedt (260 méter köré) és a magassági szél keleti irányba fordult.

a lerakódott zúzmara stabilan tartotta magát, de már csak kis mennyiségben gyarapodott. Mindemellett szórványos jelleggel ónos szitálás is kialakult. Zúzmaraképződés szempontjából ezek a napok tekinthetők a legkritikusabbnak, főként a délkeleti tájegységek szempontjából. A január 16. és 18. közötti időszakban napi 16-17 órán keresztül figyeltek meg zúzmarás ködöt (a békési térség volt nagyobb gyakorisággal érintett).

Másnap az anticiklont egy érintőleges hidegfront igyekezett megtörni, kevés sikerrel. Az Északi-középhegységben és az északnyugati országgrészben ugyan megemelkedett a köd, kisütött a nap, és javultak a látási viszonyok, másutt az országban különösebb változást nem okozott az időjárás jellegében. Folytatódott a már egy hete tartó borult, párás, többfelé tartósan ködös idő, hószállingózással, ónos szitálással. A maximumok jellemzően fagypont alatt alakultak, így a makacsul ködös körzetekben tovább gyarapodhatott a zúzmara.

TEMP BUDAPEST_LORINC 12843 2020. jan 19. vasárnap 12:00



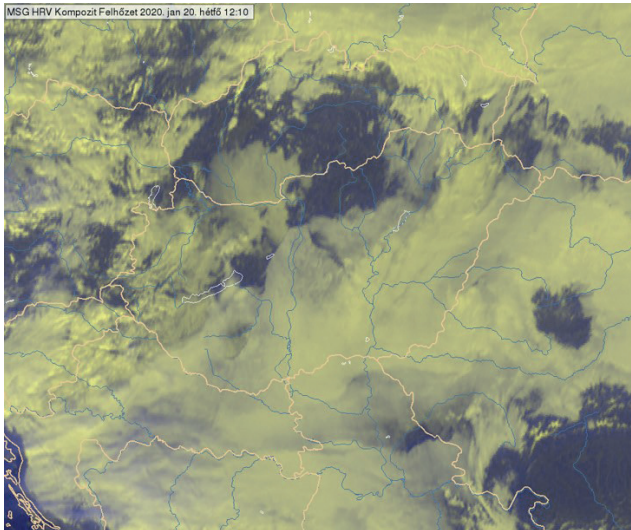
11. ábra. Budapesti rádiószondás felszállás (fent) és frontanalízis térkép (lent) 2020.01.19-én 00 UTC-kor. Az inverzió ekkor már csak a légkör keskeny rétegére korlátozódott, jelentősen lecsökkent az erőssége, miközben egy gyenge hidegfront érte el nyugat felől az országot.

A január 19-i éjfél felhárláson már látszik a változás kezdete. Az inverzió megemelkedett (~1500 méter) és 5 fok körülire csökkent az erőssége, miközben alatta

kiegyenesedett az állapotgörbe (**11. ábra**). A déli felszárláson az inverzió már 2000 méter fölött rajzolódott ki, miközben már csak két fokos eltérés mutatkozott a felszíni hőmérséklet és az inverziós könyök között. A változást egy gyenge hidegfront hozta el (**11. ábra**), mely a Duna vonaláig jutott, ezt követően feloszlott.

A fronthoz nyugaton eső, havas eső és hó is kapcsolódott, továbbá a megélénkülő szél Sopron környezetében felszakította a rétegfelhőzetet. A Duna–Tisza közén valamelyest javultak a látási viszonyok, nagy területen megszűnt a köd, de továbbra is maradt a párásság, valamint a köd nyomán képződő vastag rétegfelhőzet. Keleten reggel többfelé ónos szitálás jelentkezett, mindemellett a szél hiánya, valamint a tartós fagypont alatti hőmérséklet ezen a területen **tovább támogatta a zúzmara megmaradását.**

MSG HRV Kompozit Felhőzet 2020. jan 20. hétfő 12:10

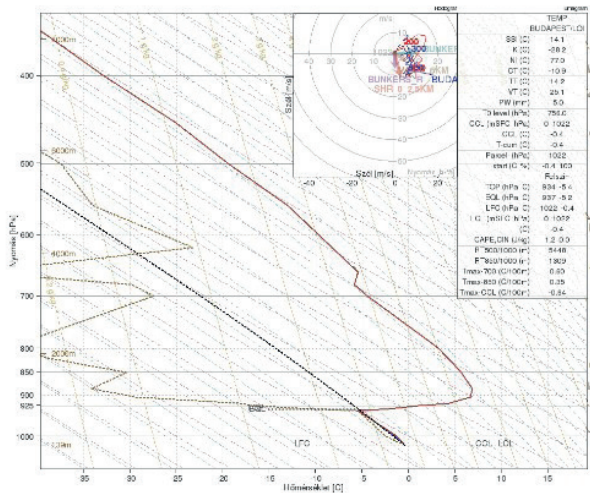


12. ábra. 2020.01.20-án az északnyugati szél hatására a köd engedett szorításából. Az ország északi harmadán megszűnt a hidegpárna és másutt is szakadozottabbá vált a köd nyomán képződő alacsony szintű rétegfelhőzet.

Január 20-án a feloszló hidegfront mögött pár fokos hidegadvekción ment végbe. A megélnékülöd északnyugati szél jóvoltából a köd engedett szorításából (**12. ábra**), nagy területen felszakadozott a rétegfelhöz, kisütött a nap, pozitív tartományba emelve a hőmérsékletet. Így a szél és a napsütés együttes hatására megkezdődött a zúzmara lekulása. Az ország délkeleti harmadában az elmúlt napokhoz képest már csak kisebb körzetekben tartotta magát a köd, a **borult időt már többnyire csak páráság kísértte.**

Január 21. reggelre legyengült a szél, így újra nagy területen sűrű, sokfelé zúzmara köd lepte el a tájat és helyenként szemcsés hó is hullott. Napközben a Győr–Szeged vonaltól délre feloszlott a köd, másutt viszont estig rosszak voltak a látási viszonyok. Áttörés az elmúlt napokhoz képest, hogy estétől végérvényesen megszűnt a zúzmara képződés, **a folytatásban zúzmara ködről már nem érkezett jelentés.**

TEMP BUDAPEST.LORNC 12843 2020_jan.22. szend. 00:00

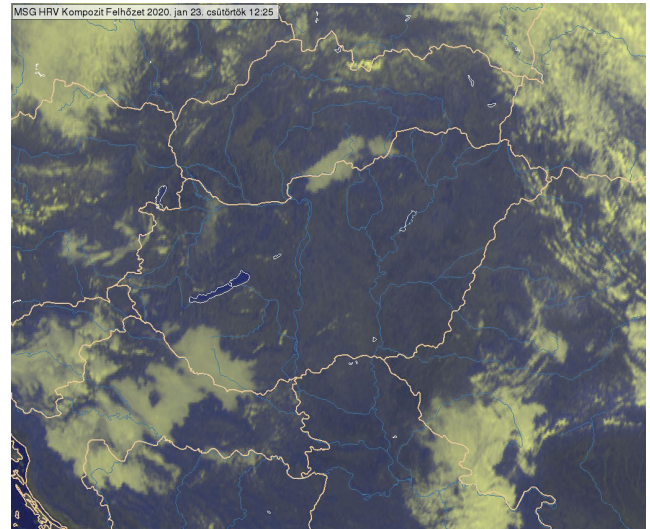


13. ábra. Budapesti rádiószondás felszállás 2020.01.22-én 00 UTC-kor. Az inverzió 800 méteres magasságban rajzolódik ki és az inverziós könyök alatti 100-200 méteren erőteljes melegedés zajlik.

A jobbára borult, párás idő még január 22-én is folytatódott, habár ködöt már egyik állomás sem jelentett. Az éjfél felzálláson láthatjuk, hogy kb. 800 méteren helyezkedik el az inverzió, és szembeütünk az is, hogy a légkör egy keskeny sávjában igen erős (11 fokos) melegedés mutatkozik (**13. ábra**). Ugyanis míg a záróréteg alatt az alsó pár száz méteren megrekedt a fagyos levegő, e fölött a magasban nyugatias áramlással erős melegadvekción zajlott egy hidegfront előterében.

Már a front érkezése előtt megtörtént a szélfordulás, a déli óráktól eleinte északon, majd egyre inkább a középső és déli ország részben is megélnékülöd, megerősödött az északnyugati szél. A hidegfront kora este vonult át az ország felett, és ekkor minden arra utalt, hogy vége szakadhat a hosszú, ködös periódusnak.

Január 23-án már túlnyomóan napos, derült idő volt, csak a délnyugati és északi határ mentén, kis területen maradt meg tartósan a köd (**14. ábra**).

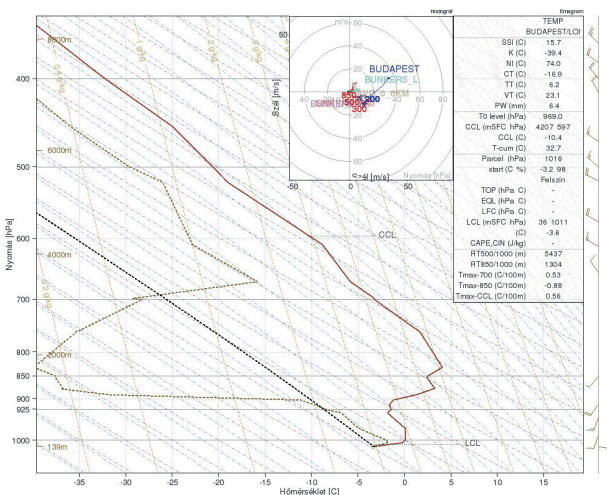


14. ábra. 2020.01.23-án már csak az északi és délnyugati határ mentén maradtak kisebb ködös területek.

Január 24-re virradóan a felhőtlen idő támogatva az erős kisugárzást, így a talajszint gyors hűlése miatt ismét ködképződést figyelhettünk meg. Reggelre az ország nyugati részén, nagyobb dunántúli tavainknál és Budapest tágabb környezetében sűrű, zúzmarás köd lepte el a tájat. Mindössze a légkör alsó 150 métere telítődött, felette nagymértékű kiszáradás és melegadvekción volt megfigyelhető, mindezt jól szemlélteti az éjféle budapesti rádiószondás felszállás is (15. ábra). Itt kell megemlíteni a nagyobb tavaink közvetlen környezetükre gyakorolt hatását is, ugyanis elegendő nedvességet biztosítottak a légkörnek a ködképződéshez. Ha ez nem így lett volna, akkor feltételezzük, hogy a Balaton környékén nem alakult volna ki ködtakaró.

A folytatásban három nap erejéig ismét beborította az országot a hidegpárna, borult, párás, többfelé tartósan ködös volt az idő. A stratus felett időnként némi közép- és

TEMP BUDAPEST.LORINC 12843 2020. jan 24. péntek 00:00



15. ábra. Budapesti rádiószondás felszállás 2020.01.24-én 00 UTC-kor. A kisugárzás hatására markáns inverzió rajzolódik ki a legalsó rétegekben.

magasszintű felhőzet is feltűnt, akadályozva ezzel a köd-felhőzet felszakadását, melyből elszórt jelleggel szitálás, ónos szitálás is előfordult. Január 28-án már valamelyest látszott a változás előszele, a magasban erőteljes melegadvekción volt megfigyelhető. Nyugat-Európában január utolsó napjaiban egy frontrendszer húzódtott. Előterében intenzív délnyugati áramlás volt jellemző, olyannyira, hogy az inverzió fölött erős, időnként viharos szelek fújtak. A melegfronti jellegnek köszönhetően nálunk eleinte borult volt az ég és sokfelé jelentkezett eső, szitálás, az északi megyékben kevés hó is hullott. Majd napközben délnyugatra felől egyre nagyobb területen felszakadozott, végül eltűnt a ködfelhőzet. **Az esti órákban nyugat felől érkezett meg végül a hullámzó frontrendszer hidegfrontja, amely zivatarok kíséretében vonult át az egész országon, véget vetve a hosszan tartó ködös periódusnak.**

Összefoglalva elmondható, hogy a vizsgált időszak a hosszan elnyúló ködös periódus és a zúzmarára lerakódás szempontjából egy rendkívüli időjárási helyzet volt, amelyre az elmúlt évtizedben ritkán volt példa. A növényzetre és a vezetékekre lerakódó jégtömeg egyértelműen nagy károkat okozott.

A sugárzási és advekción köd esete 2020 novemberében

2020 novemberében gyakran párás, nagy területen napközben is tartósan ködös volt az idő. A Kárpát-medencét beborító stratusból többször előfordult szitálás, éjszaka ónos szitálás is. Az első őszi, tartósabban hideglépgárnás időjárási helyzetet november 9-17. között egy hétig tartó anticiklon alakította ki, amelyet végül egy hidegfront tört meg. A magasban 8-10 fokkal hűvösebb levegőt hozott a front, és bár a felszínközeli

nem okozott ilyen mértékű lehűlést, néhány napon át csökkentette a ködös területek kiterjedését.

November 22-én egy újabb magasnyomású zóna húzódott centrumával hazánk fölé, erősítve a ködhajlamot. Hajnalban délen, délkeleten zúzmarás köd képződött, és a stratus napközben nem várt módon tovább terjeszkedett, advektálódott észak felé. Két nappal később november 24-én pedig a nagy területen megmaradó sugárzási köd okozott meglepetést. Az alábbiakban mindkét nap történései részletesen is bemutatásra kerülnek, de mindezek előtt meghatározzuk, hogy mit értünk ebben az esetben kisugárzási köd és advekción köd fogalma alatt.

Radiációs vagy más néven kisugárzási ködről beszélünk, ha derült vagy gyengén felhős időben, gyenge légmozgás mellett, általában az éjszaka folyamán a talajközeli levegő a hosszúhullámú kisugárzás következtében oly módon lehűl, hogy bekövetkezik a kondenzáció.

Esetünkben az advekción ködként definiált stratus is kezdetben radiációs köd, de az erőteljes kisugárzás révén képződő ködpaplan idővel elmozdul. Ehhez mérsekelt (10-20 km/h-s) légmozgás a legkedvezőbb, ami egyrészt megfelelő átkeveredést biztosít, másrészt lehetővé teszi a ködréteg horizontális elmozdulását.

2020.11.22. Advekción köd

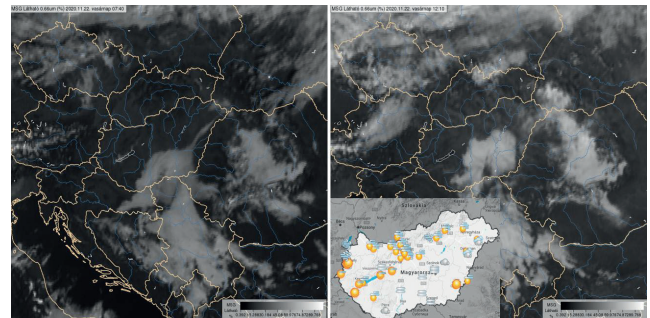
A vizsgált napon egy hullámzó frontrendszer mögött magasnyomású képződmény húzódott az ország fölé. A front átvonulását követően, a magasban melegadvekción kezdődött, a magasban zajló melegedés pedig erősítette a ködhajlamot. Az ország döntő részén 22-re virradóan derült volt az ég, és a szélcsendes időben az erős éjszakai kisugárzás révén hajnalra országsszerte -1 és -10 fok közé süllyedt a hőmérséklet. Az éjszaka második felében

a Vajdaság irányából úszott be a köd a Dél-Alföldre, így több helyen a fagypont alatti hőmérsékleten zúzmarás köd alakult ki reggelre. Az advektálódó ködöt a szegedi felhőkamera is megörökítette. Negyed óra leforgása alatt sűrű ködbe burkolózott a város, Szeged térségéből már hajnali 2-kor zárt ködöt jelentettek (**16. ábra**). Másutt a Dél-Alföldön csak reggelre lepte el köd a tájat.



16. ábra. A Vajdaság irányából terjeszkedő ködpaplan negyed óra alatt behálózta a szegedi Dóm teret (2020.11.22. 00:30 és 00:45 UTC).

Az időjárás előrejelzések a pára- és a köd feloszlását követően több órás napsütéssel számoltak, a várakozásokkal ellentétben azonban nem mindenhol sütött ki a nap. A ködfelhőzet napközben észak felé terjeszkedett

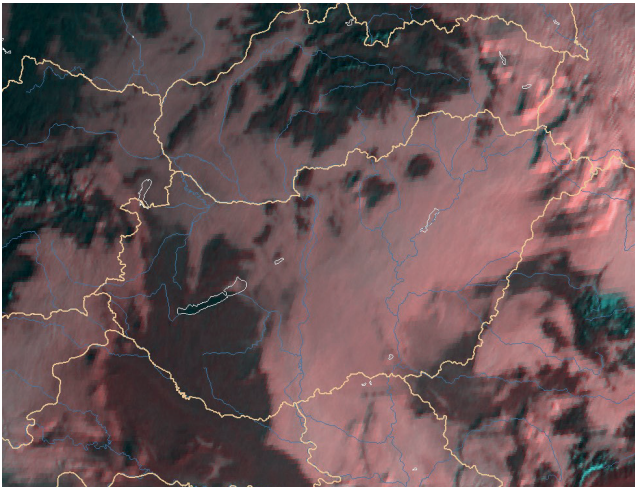


17. ábra. 2020.11.22-én a Vajdaság irányából beúszó ködpaplan napközben észak felé advektálódott. A köd kora délután megemelkedett, valamelyest javultak a látási viszonyok, de a nyomában képződő rétegfelhőzet beborította csaknem a teljes Alföldet.

(**17. ábra**) a déli széllel, miközben horizontális kiterjedése nem sokat változott. A déli órákra az Alföld több, mint felét már köd borította. Az észlelések alátámasztják, hogy a köd az Alföld nagy részén délután már megemelkedett, így javultak a látási viszonyok (jellemzően 1500-3000 méter), de továbbra is maradt a zárt felhőtakaró. Délután pedig a továbbra is délies áramlással sodródó rétegfelhőzet a korábban még napsütötte Észak-Alföldet, valamint a főváros környezetét is idővel beborította.

2020.11.24. Egy újabb hideglégpárnás időjárási helyzet kezdete

2020.11.24-én napközben egy melegfront határozta meg időjárásunkat, amit közvetlenül a késő délutáni, kora esti órákban már egy hidegfront követett. A gyengülő hidegfront érkezését a fokozatosan északnyugatira forduló szél és a felszíni légnyomás lassú emelkedése



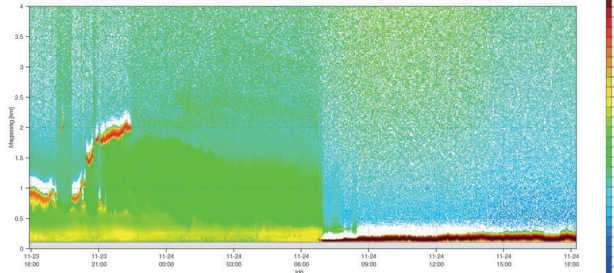
18. ábra. 2020.11.24-re virradóan a vártnál nagyobb területen (a nyugati, délnyugati megyék kivételével) képződött köd, amely napközben makacsul tartotta magát.

jelezte. A felszín közelében közvetlenül a front mögött eleinte gyenge vagy mérsékelt maradt a légmozgás, csupán a magasabban fekvő hegyvidéki területek jeleztek a magassági szél megerősödését, a hidegadvekción jelenlétét (pl. Kab-hegy, János-hegy ~40-45 km/h). Az éjfél óráig gyenge hidegadvekción (-3; -4 fok) volt jelen (főként a 850 hPa-os nyomási szint felett), majd az éjszaka második felében a magasabb légköri szinteken már melegedés vette kezdetét (másnap délig ~1,5-3 fok). A hidegadvekción idején, még éjféltáján kisebb körzetekben – ahol lekeveredett a magassági szél – előfordult átmeneti szélélénkülés (Duna mente), majd hamarosan leállt a szél és a front mögött hajnalra országszerte kitisztult az ég.

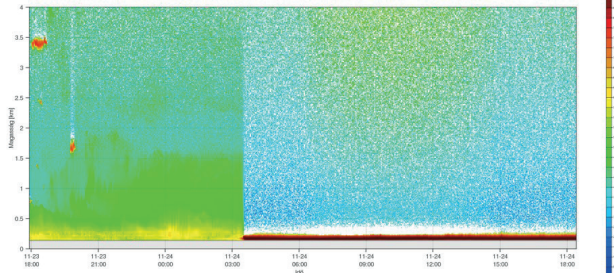
Úgy tekintettünk erre a napra, mint a hidegpárnás időjárási helyzet 0. napja. Az előrejelzők azt várták, hogy az ország északkeleti harmadán a hajnaltáján képződő köd tartósan megmarad, másutt viszont még a napsütés lesz túlsúlyban, ahogy azt az előrejelző modellek többsége is várta. Az időjárás azonban másként alakult. A vártnál jóval nagyobb területen alakult ki másnap reggelre radiációs köd (**18. ábra**). Éjszaka is már nagy területről jelentettek párásságot, de a ködképződés 5 óra előtt csupán kisebb körzetekben kezdődött meg. A Mosonmagyaróvár-Paks vonaltól keletre reggelre gyorsan, váratlanul sűrű köd jelent meg, a fagypont közeli hőmérsékleten néhol zúzmarás köd is kialakult.

A sugárzási köd hirtelen alakult ki, ezt az OMSZ felhőalap mérő műszerei (ceilométerek) mérései is alátámasztják (**19. ábra**). A felhőalapmérőn határozottan kirajzolódik, hogy a ködképződést megelőzően mindkét állomáson órákon át tiszta, felhőmentes idő volt. Budapest környékén hajnaltáján indult a ködképződés, míg a siófoki felhőalapmérő csupán 07 UTC környékén detektálta a ködöt. A siófoki mérésen szembetűnő, hogy a stratus kora

CLOUDBASE-SIOFOK LogBeta-raw Siofok (18.04146.9104) 2020. nov. 24. kedd 18:10



CLOUDBASE-BUDAPEST LogBeta-raw Budapest (19.182447.4289) 2020. nov. 24. kedd 18:21

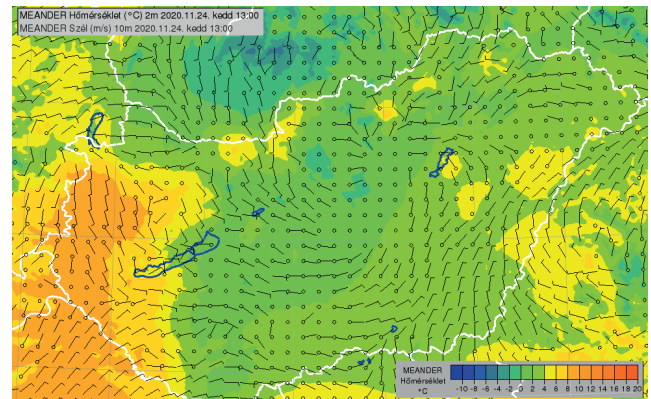


19. ábra. A siófoki és a budapesti felhőalpmérőn is látható, hogy a ködképződést megelőzően hosszú órákon át derült volt az ég, majd hirtelen alakult ki a sugárzási kód (2020.11.24.).

délelőtt fokozatosan vastagodott, egyre nagyobb vertikális kiterjedésre tett szert, viszont nem emelkedett meg, a ködpaplan egész nap makacsul megmaradt felszínközelsben.

Napközben a kód nyugat felé terjeszkedett, a Dél-Dunántúlon egyre nagyobb területet betakart. Ellepte a Balatonnál eleinte a keleti, majd a középső medencét, a Kapos-völgyét is teljes terjedelmében behálózta, és Baranya megyében is idővel már csak a Mecsek csúcsai emelkedtek ki. Míg az ország jelentős részét ködtakaró fedte, addig a nyugati, délnyugati megyékben mindvégig napos idő volt. A napsütéses körzetekben 7-10 fokig emelkedett a hőmérséklet, az ország tartósan borult, ködös tájait azonban csak 2-3 fokos maximumok jellemezték (**20. ábra**). A hőmérséklet-különbség kialakulását a MEANDER rendszer segítségével is nyomon követhetjük. A Dunántúl nyugati, délnyugati körzetei mellett a stra-

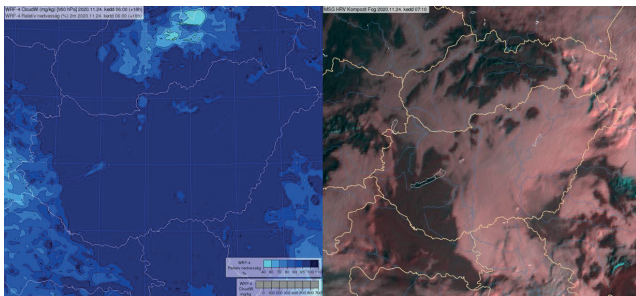
tusból kiemelkedő hegycsúcsokon volt legenyhébb az idő. Reggel, kora délelőtt a ködpaplan 300 méter körüli felhőtetővel rendelkezett. Ekkor még a Budai-hegység magasabb hegycsúcsai (pl. Normafa) kiemelkedtek a ködpaplanból, majd a déli órákra megemelkedett a stratus, így délután már csak a Gerecse, a Dobogó-kő és a Kékes lógott ki a ködtengerből. Mindemellett a hőmérséklet alakulásból az is kirajzolódik, hogy az eleinte tartósan ködös Tiszántúlon délután valamelyest elvékonyodhatott a rétegfelhőzet, így kisebb körzetekben pár fokot emelkedett a hőmérséklet a környezetéhez képest.



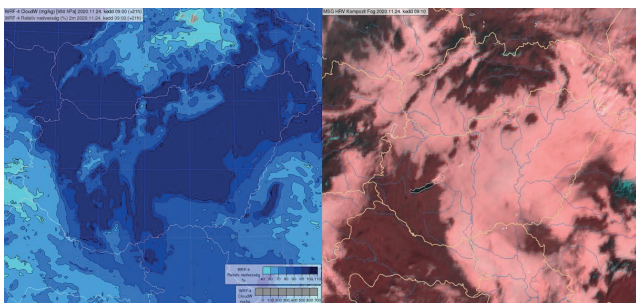
20. ábra. A ködmentes és a köddel borított tájegységek között jelentős hőmérsékleti kontraszt alakult ki (MEANDER, 2020.11.24. 13:00 UTC).

Modellszámítások alakulása

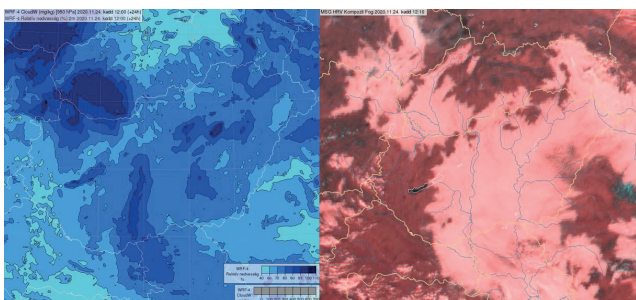
Az ECMWF globális modell futásai már jó néhány nappal az esetet megelőzően azt a forgatókönyvet vázolták, miszerint a front mögött országszerte kitisztul az ég, de a gyengén szeles időben november 24-re virradóan még csak kisebb körzetekben képződik köd. A modell elsősorban az ország északkeleti harmadán és a Kisalföldön várta ködfoltok kialakulását. A prognózis szerint bár ezek a ködfoltok napközben zsugorodnak, északkeleten



21/a. ábra. A WRF-4 11.23. 12 UTC-s futása 11.24. 06 UTC-re vonatkozóan (bal oldal) kiterjedt ködképződéssel számolt. A valóság a HRV Kompozit műholdfelvétel alapján (jobb oldal) jól közelíti az előrejelzést, habár láthatjuk a műholdképen, hogy a Dunántúlon nagyobb a ködmentes területek kiterjedése, mint a modell előrejelzésben.



21/b. ábra. A WRF-4 11.23. 12 UTC-s futása 11.24. 09 UTC-re vonatkozóan (bal oldal) és az aktuális HRV Kompozit műholdkép (jobb oldal). A modell az alsó két méteren elkezdte csökkenteni a relatív nedvességet, a délelőtt folyamán azonban nem hogy csökkent a köd kiterjedése, elkezdett advektálódni nyugat felé.



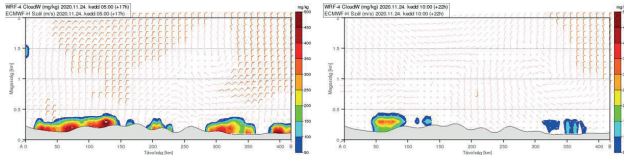
21/c. ábra. A WRF-4 11.23. 12 UTC-s futása 11.24. 12 UTC-re vonatkozóan (bal oldal) és az aktuális HRV Kompozit műholdkép (jobb oldal). A kora délutáni órákra a modell teljesen kiszárította a léggözt, feloszlatta a ködöt, ellenben az ország közel 70%-án tartósan megmaradt.

akár tartósan borongós, páras időt okozhatnak, míg másutt ragyogóan naps, tiszta idő valószínű. A hidegpárna kialakulását csak egy nappal későbbre prognosztizálta a modell, akárcsak az AROME regionális modell, ami nagyon hasonló forgatókönyvet vázolt fel. Ezzel szemben a lengyel UM modell szinte országos, egész nap megmaradó ködöt jelzett előre november 24-re. A folytatásban a Siófokon futtatott WRF-4 nem hidrosztatikus modell előrejelzéseit taglaljuk részletesebben.

Azt, hogy reggel nagy területen terjeszkedni fog a köd, a WRF-4 november 23-i 12 UTC-s futása is támogatta. Az alábbiakban a WRF-4 relatív nedvesség előrejelzését (**21/a; b; c ábrák bal oldala**) láthatjuk, valamint az ugyanarra az időpontra vonatkozó műholdfelvételeken a ténylegesen köddel borított területeket (**21/a,b,c ábrák jobb oldala**). A modell kezdetben – a délnyugati országrész kivételével – telített légállapotot jelez előre (**21/a. ábra**), majd a délelőtt folyamán egyre többfelé csökkenti a légköri nedvességet (**21/b ábra**), végül kora délutánra kiszárítja a léggözt, mindenütt feloszlítja a ködöt (**21/c ábra**). A reggeli műholdképen (**21/a ábra**) a köd területi lefedettsége még jól közelíti az előrejelzést, a folytatásban azonban a modellfutás és a valóság jelentős eltérést mutat. Míg a modell idejekorán kiszárítja a léggör alsó szintjeit, a valóságban makacsul beragadt a köd.

A WRF-4 11.24-i 00 UTC-s futása is nagyon hasonlóképpen fest. Készítettünk egy hurokfilmet a nedvességi mező vertikális metszetéből. Ezen megfigyeltük, hogy délelőtt a köd meglétét a keleti irányból advektálódó nedvesség segítette elő, azonban a déli órákra ezt megszüntette a modell és ezzel egyidejűleg a ködöt is felszámolta.

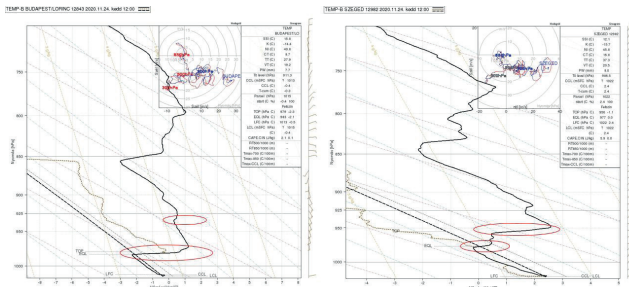
A folytatásban a felhővíz (CLW) mennyiségének alakulását vizsgáltuk a Szombathely-Nyíregyháza képzeletbeli szakasz mentén. A HAWK-ban készített metszeten láthatjuk (**22. ábra**), hogy a modellben 05 UTC-tól kezdve



22. ábra. A felhővíz mennyiségének alakulása a délelőtti folyamán a WRF-4 előrejelzése alapján. Hajnalban (2020.11.24. 05 UTC) teljes telítettség jellemzi a légkör alsó szintjeit, míg 10 UTC-től a modell jelentősen csökkenti a felhővíz mennyiségét, így a feltételek sem kedveznek a nap hátralévő részében a köd megmaradásának.

jelentős emelkedést mutat a felhővíz mennyisége, és az előrejelzés szerint a CLW egész délelőtti támogatja a köd meglétét. A modell 10 UTC-től kezdi jelentősen csökkenteni a felhővíz mennyiségét, így a feltételek sem kedvezők már a továbbiakban a köd tartós megmaradásához.

Hogy még részletesebben megismerhessük az aktuális időjárási helyzetet, rádiószondás mérések adatait is felhasználtuk (**23. ábra**). A 12 UTC-kor felengetett budapesti és szegedi rádiószondás felszállás nagyon hasonló képet fest. Láthatjuk, hogy minkét esetben a 800 hPa alatti nyomási szinteken nedves a légkör, míg felette markáns kiszáradás mutatkozik. Továbbá lát-

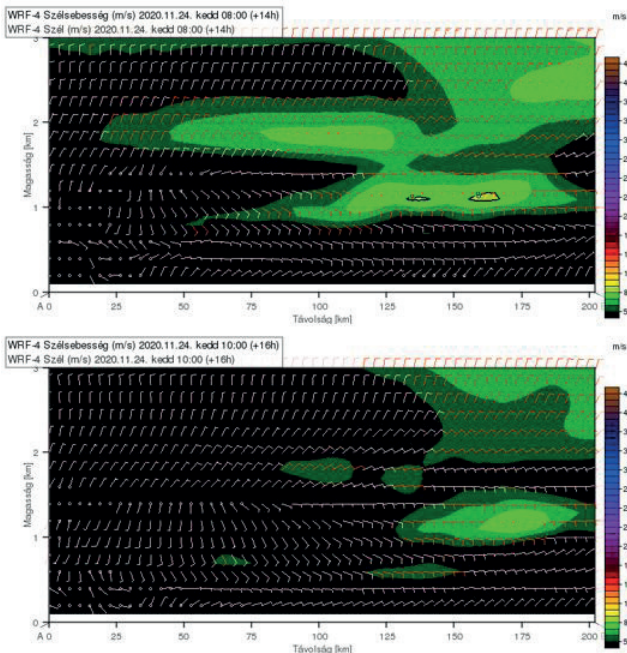


23. ábra. A budapesti és a szegedi rádiószondás felszálláson (2020.11.24. 12 UTC) több szinten inverzió rajzolódik ki. Továbbá a szélvektorok egy szűk rétegben szélélénkülésről is tanúskodnak.

ható, hogy két jól elkülöníthető, viszonylag markáns inverzió épült ki az alsó, 900 hPa alatti légrétegben; az egyik 980-970 hPa között, míg a másik 960-920 hPa között. A hőmérséklet-különbség az alacsonyabban lévő inverzió alja és teteje között (inverziós könyök) Szeged esetén 2,0, Budapest esetén 3,5 foknak mutatkozik. A délelőtti folyamán a köd néhol az Alföldön megemelkedett és rétegfelhőzetté alakult (szegedi felszállás), Budapesten azonban még 12 UTC-kor is köd volt. A felhőtetőt a felszállásokon a felszínhez közelebbi inverzió teteje jelöli ki. A felszállásokról továbbá az is leolvasható, hogy a felszín közeli rétegekben jellemzően gyenge vagy mérsékelt volt a légmozgás, de Szeged felett egy szűk, pár száz méteres rétegben, 960 és 890 hPa között kialakult egy szélcsatorna, amiben élénk, 20-35 km/h-s keleti szél fújt, ami elősegítette a köd megemelkedését.

Az említett szélélénkülés a WRF-4 november 23-i 18 UTC-s futásában is megfigyelhető. A Budapest-Szeged szakaszra vonatkozó szélprofil vertikális metszetén (**24. ábra**) láthatjuk, hogy a modell kb. 900 méter felett élénk széllel számol a délelőtti órákban, majd a felszállás idejére (12 UTC) a modellben lecseng a magassági szél és már csak mérsékelt szelet jelez előre a vizsgált légrétegben. Eközben a szegedi szonda kora délután 10 m/s-os szelet mért a 950 hPa-os nyomási szint környékén, így összevetve a mérést a modell előrejelzéssel elmondható, hogy a modell hamarabb mérsékelt a magassági szelet, mintsem az a légkörben bekövetkezett volna.

A szél – a műholdfelvételek alapján – főként a középső országrészben mozgatta meg a köd nyomán keletkezett rétegfelhőzetet, mely a magassági áramlás révén más ködös vidékek fölé sodródott. Az áthelyeződő rétegfelhőzet meggátolta, hogy a rövidhullámú sugárzás földet érjen, így ezeken a duplán „stratus-födte” tájakon egész nap megmaradhatott a köd.



24. ábra. A WRF-4 vertikális szélprofil metszete a Budapest-Szeged szakaszra vonatkozólag 2020.11.24. 08, illetve 10 UTC-kor. A felső metszeten látható, hogy míg az alsó pár száz méteren gyenge vagy mérsékelt a légmozgás, addig közel 1 km-es magasságban délelőtt kisebb szélélénkületet jelez előre a modell keleti irányból. A déli órákban (alsó ábra) azonban már lecsengő tendenciát mutat a magassági szél.

A modellek összességében támogatták azt a forgatókönyvet, miszerint éjszaka kelet felől nedvesség érkezik (pl. ECMWF által előrejelzett ködképződés az északkeleti országrészben), és ez a nedvesség a WRF4 előrejelzéseinek megfelelően nagy területen kedvezett a ködképződésnek. A modellek azonban nem vették figyelembe azt a forgatókönyvet, miszerint néhol megemelkedik a köd, és a rétegfelhőzetet az élénkülő magassági szél más ködös vidékek fölé sodorja. Így habár 920 hPa (kb. 700 méter) fölött tiszta, ragyogóan napos volt az idő, a nap sugarai nem tudtak keresztüljutni a stratuson,

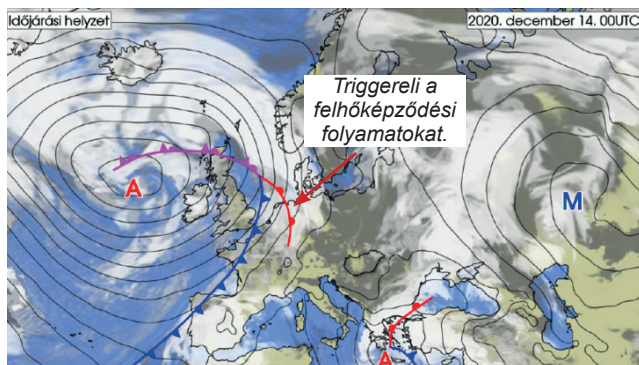
el párologtatni a felszín közeli nedvességet, így főként a középső országrészben napközben is (a számításokkal ellentétben) tartósan megmaradt a köd.

2020. decemberi ködmentes hidegpárna felszakadásának dinamikája

2020 decemberében – az előző hónaphoz nagyon hasonlóan – a Kárpát-medence időjárásának alakítója meghatározóan egy anticiklon volt. Nem volt ez másként december 14-re virradóan sem (**25. ábra**).

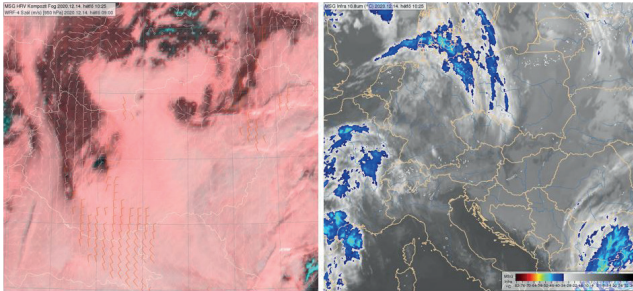
Az ország nagy részén borult idő volt, általában 300–600 méter közötti felhőalapokkal, de viszonylag jó látási viszonyokkal. Hajnaltájt a tiszántúli állomások jelentettek csupán ködöt, valamint az Északi-középhegységben észleltek páráságot, másutt 3000 méter fölött alakult a látástávolság.

December 14-re virradóan míg felszínközelen gyenge vagy mérsékelt, északias (ÉNy, É, ÉK) légmozgás



25. ábra. Időjárási helyzetkép Európában 2020. december 14-én 00 UTC-kor. A Kárpát-medence kezdetben egy nyugati ciklon előoldalán helyezkedett el. Napközben ennek az örvénynek a melegfronti felhősávja érintette térségünket, így az általa keltett légköri hullámmozgások triggerelték a felhőképződési folyamatokat.

volt a meghatározó, a magasabb légköri szinteken (~950 hPa) többfelé előfordult szélélénkülés. A dunántúli szélcsatornában és az ország északkeleti harmadán élénk (ált. 25-30 km/h, néhol 35-50 km/h) északnyugati szél fújt, a Dunától keletre viszont javarészt keleti, északkeleti szélirány dominált (5-20 km/h). Napfelkelte idején - ahogy megkezdődött a légkör átkeveredése - mérséklődni kezdett a magassági szél, de azokban a körzetekben, ahol továbbra is északi szélirány volt a meghatározó, a mérsékelt (15-20 km/h) északi szél elfújta a rétegfelhőzetet, így a Kisalföldön és a Balaton környezetében is átmenetileg naposra fordult az idő (**26. ábra**).



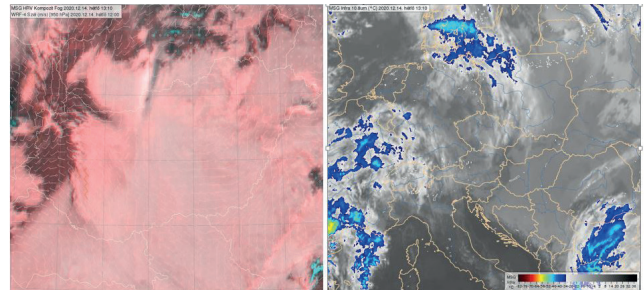
26. ábra. Az MSG HRV Kompozit műholdfelvételen (bal ábra) látható, hogy a Dunántúl északnyugati részén és az Észak-Magyarországi régióban délelőtt (2020.12.14. 10:25 UTC) átmeneti jelleggel szétnyílt a felhőzet, miközben nyugat felől egy melegfront felhősávja közeledett (MSG Infra műholdkép; jobb ábra).

Az északnyugati országrész mellett egy másik felhőmentes övezet is kialakult az észak-magyarországi és az észak-alföldi régió határán (**26. ábra**). A műholdfelvételen jól kivehető ez a szélcsendes, felhőmentes terület, amelynek környezetében a szélvektorok anticiklonális forgásiránynak megfelelően rendeződnek. Ettől a derült övezettől északkeletre, a Zempléni-hegység környezetében, továbbá a Taktaközben is szétnyílt a felhőzet. Ez utóbbi tájakon a felszínközelségben a modell előrejelzéseknek megfelelően reggel, kora délelőtt gyengén szeles, néhol pedig teljesen szélcsendes idő volt. Ugyanitt

a 950 hPa-os nyomási szinten mérsékelt, időnként élénk északkeleti szél fújt, majd a déli óráktól, amint veszített erejéből a magassági szél, újra záródott a felhőtakaró.

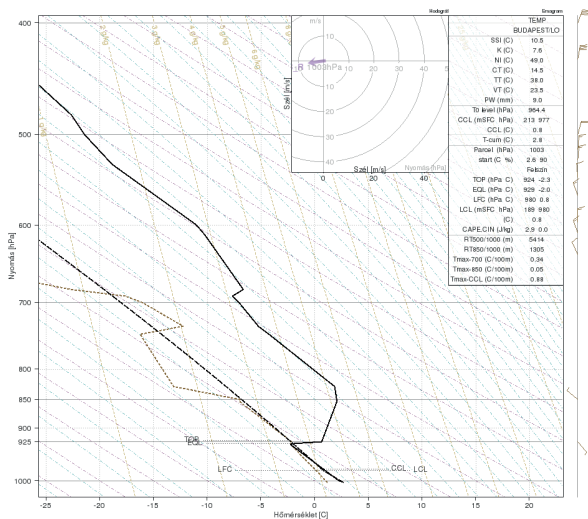
Az MSG infravörös műholdfelvételen (**26. és 27. ábra jobb oldal**) szembejön egy melegfront felhőzete tőlünk északra, a német-lengyel határ mentén, ami egy Nagy-Britannia felett örvénylő ciklonhoz kapcsolódik. A melegfront késő délelőtt északnyugat felől közelítette meg a Dunántúlt. A szinoptikus skálájú folyamatok ekkor hullámmozgást gerjesztettek a légkörben, aminek következményeként behullámozott a Kárpát-medence felett kiépült inverzió teteje (lásd budapesti felszállás (**28. ábra**)). A hullámmozgás következtében, mivel továbbra is megfelelő mennyiségű nedvesség állt rendelkezésre a légkörben, megtörtént a kondenzáció, beindultak ismét a felhőképződésért felelős folyamatok. Így késő délelőtt mihelyt lecsengett az északnyugatira forduló magassági szél, ismét egyre nagyobb körzetet hódított meg a stratocumulusok (**27. ábra**).

Ekkor a nyugati megyékben mutatott változást az időjárás jellege. Délig borult idő volt és gyenge északnyugati szél fújt. Dél körül az egyre nagyobb



27. ábra. Az MSG HRV Kompozit műholdfelvételen (bal ábra) látható, hogy az északi megyékben, továbbá a Balatontól északra ismét záródik a felhőtakaró, míg az eleinte borult Alpoknálán a délnyugatira forduló áramlás felszakítja a felhőzetet. A felhőképződési folyamatokért az érintő melegfront a felelős, melynek aktuális állapotát az MSG Infra műholdképen (jobb ábra) láthatjuk 2020.12.14. 13:10 UTC-s időpontban.

TEMP BUDAPEST/LORINC 12843 2020.12.14. h06 12:00



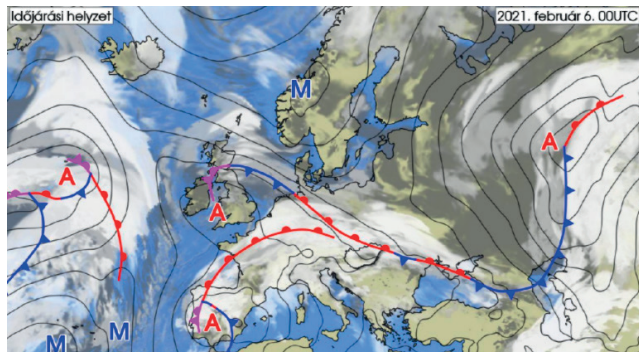
28. ábra. Budapesti rádiószondás felszállás 2020.12.14-én 12:00 UTC-kor. A 925 hPa és 850 hPa nyomási szint között éles inverzió figyelhető meg. Az érkező melegfront hullámzógást gerjesztett az inverzió tetején, beindítva ezzel a felhőképződési folyamatokat.

területen nyugatira, délnyugatira fordul és a magasban mérsékeltté váló szél „kitakarította a rétegfelhőzetet” és kitisztult az ég (**27. ábra**).

Ködös, esős időjárási helyzet 2021. február első hétvégéjén

2021. február első hétvégéjén alig, legfeljebb csak a déli megyékben pillanthatunk meg rövidebb időre a napot. Ekkor Európa nagy részét egy hullámozó fronttálczóna szelte keresztül kelet-nyugati irányba, amely a Fekete-tengertől az Északkeleti-Kárpátokon, majd Cseh- és Németországon át egészen a Brit-szigetekig húzott (**29. ábra**). Tőle északra igazi hideg, téli idő volt, míg tőle délre már inkább kora tavaszias (10–20 °C) értékeket mértek a délutáni órákban. A Kárpát-medence

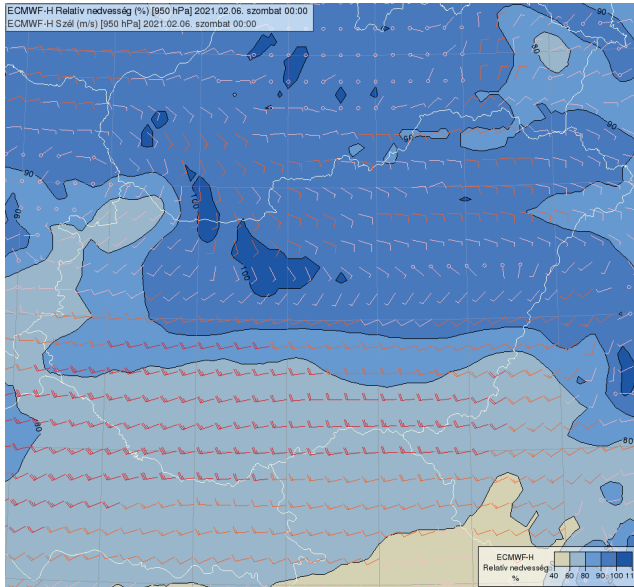
lényegében ennek a két légtömegnek az ütközőzónájában volt napokon keresztül, így napközben országon belül is jelentős hőmérsékleti kontraszt alakult ki, továbbá a hulló csapadék fajtája is széles palettán változott (eső, zápor, szitálás, ónos eső, havas eső, hó).



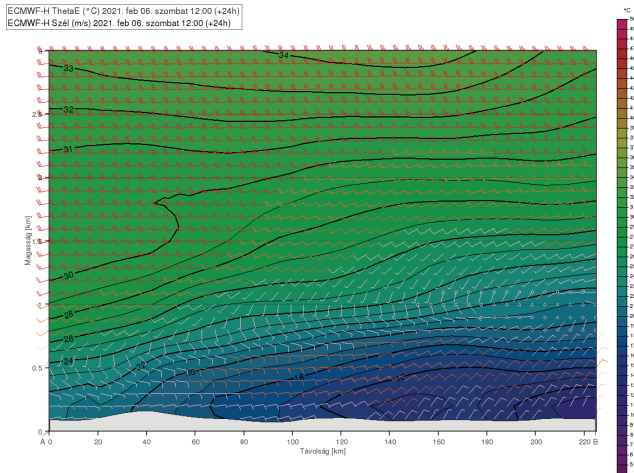
29. ábra. Időjárási helyzetkép Európában 2021. február 6-án 00 UTC-kor. A kontinenst egy hosszan elnyúló frontrendszer szelte keresztül, így nagy területen felhős, csapadékos volt az idő. Az északi hideg és a déli meleg légtömegek ütközőzónájában helyezkedett el a Kárpát-medence ezen a hétvégén.

Február 6-a, szombatra virradóan az ország nagy részén köd vagy alacsony szintű rétegfelhőzet képződött. Az ehhez szükséges inverziós rétegződés kialakulásában a legnagyobb szerepe az alacsony szintű hidegadvékciónak volt, míg a magasabb szinteken történő melegadvékciónak, továbbá a kisugárzás szerepe most elenyészőbb volt.

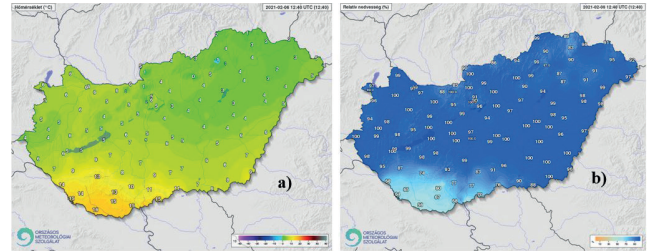
Az alsó kb. 500 méteres rétegben a becsorgó hideg levegő hatására péntek estétől egyre többfelé északkeleti irányba fordult a szél, miközben a magasabb légköri szinteken délnyugati, nyugati áramlás dominált. A szél északkeleti, keleti irányba fordulásával az alsó szinteken a relatív nedvesség is növekedésnek indult (**30. ábra**). Az alsó hidegebb és a felette levő melegebb légtömeg jól elkülöníthető az ekvivalens potenciális hőmérséklet vertikális metszetén is (**31. ábra**), ahogy a szélfordulás is kijelöli a két légtömeg határát.



30. ábra. Relatív nedvesség és szél a 950 hPa-os nyomási szinten 2021. február 6-án 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A szél keleti, északkeleti irányba fordulásával az ország északi felét nedvesebb léghullámok árasztották el.



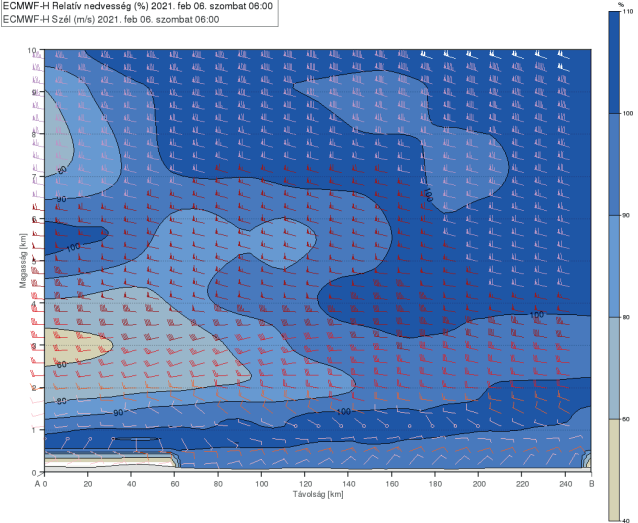
31. ábra. Szél és ekvivalens potenciális hőmérséklet vertikális térbeli metszete az ECMWF modell előrejelzése alapján a Budapest–Nyíregyháza vonal mentén 2021. február 6-án 12 UTC-kor. A metszeten élesen elkülönül az alul beszivárgó hideg levegő a felette elhelyezkedő enyhébb légtömegtől.



32. ábra. 2021.02.06. 12 UTC-kor a hőmérséklet (32/a. ábra) és a relatív nedvesség (32/b. ábra) alakulása. A déli ködmentes területek egyértelműen kirajzolódnak a hőmérsékleti és a nedvességi mezőn egyaránt.

A szombatira virradóan (február 6.) képződő alacsony szintű rétegfelhőzet a délnyugati tájak kivételével napközben sem oszlott fel. A ködös, páras területeken 7 fok alatt maradt a hőmérséklet, míg a délnyugati, ködmentes országrészben a 16 fokot is elérte a hőmérsékleti maximum. Jól kirajolja a köd kiterjedését, a nedvességi viszonyok alakulását a **32. ábra**.

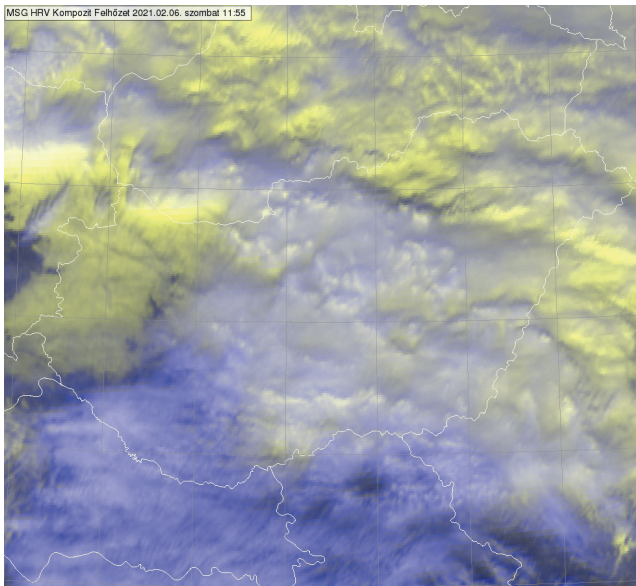
ECMWF-H Relatív nedvesség (%) 2021. feb 06. szombat 06:00
ECMWF-H Szél (m/s) 2021. feb 06. szombat 06:00



33. ábra. Relatív nedvesség és szél vertikális térbeli metszete a Budapest – Nyíregyháza vonal mentén az ECMWF analízise alapján 2021. február 6-án 6 UTC-kor. Nem csak a légkör alsó szintjei telítődtek nedvességgel, a magasban felhőzet akadályozta a köd feloszlását.

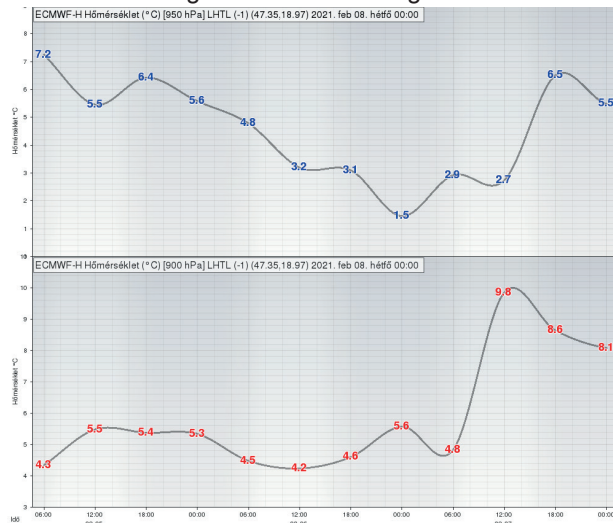
A magasabb szinteken is volt felhőzet, ami jól látható a **33. ábrán**, a relatív nedvességi metszeten, továbbá a műholdképen (**34. ábra**) is. Ez megakadályozta, hogy a besugárzás hatására meginduljon a rétegfelhőzet feloszlása, miközben a felszín közelében folytatódott a hidegadvekcio északkelet felől.

Szombaton napközben a hidegadvekcio vertikálisan tovább terjeszkedett, ezt a magassággal egyre többfelé északkeletre forduló szél jelezte. Általában a légkör alsó, néhány száz méteres szintjére korlátozódott a hidegadvekcio, de pl. északkeleten 1 km-es magasságban is megtörtént a szélfordulás, északkeleti szél jelezte a hideg jelenlétét. Változás késő este következett be, ekkor egy mediterrán ciklon közeledtével kb. 300 méteren már melegadvekcio kezdődött (**35. ábra**). Láthatjuk, hogy



34. ábra. MSG HVR Kompozit Felhőzet 2021.02.06-án 11:55 UTC-kor. A déli órákban az ország döntő részét vastag felhőzet borította. A rövidhullámú sugárzás nem tudott eljutni a felszín közeli rétegekbe, így a felhőzet elsődleges szerepet játszott abban, hogy tartósan megmaradt a köd.

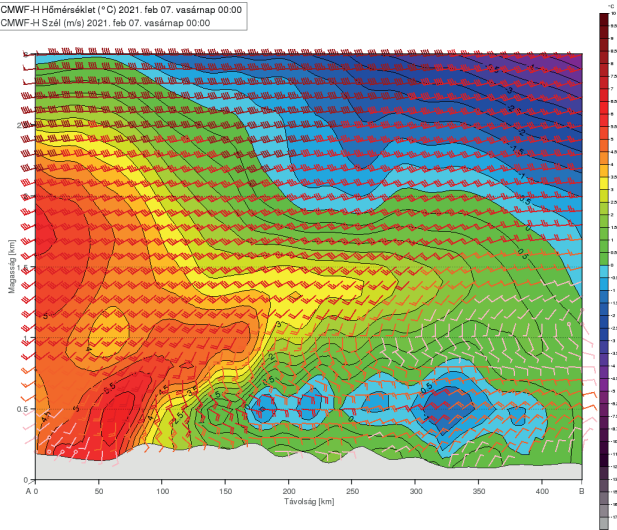
míg napközben 6 fokot csökkent a 950 hPa-os nyomási szint hőmérséklete, éjfélől lassú, majd másnap déltől határozottabb emelkedés ment végbe. A melegadvekcio 900 hPa-on még élesebben kirajzolódik, vasárnap délelőtt 5 fokot melegedett az említett légköri szint.



35. ábra. A 950 hPa-os és a 900 hPa-os nyomási szint hőmérsékletének időbeli menete az ECMWF modell analízise alapján egy Budapesthez közeli rácspontban, 2021. február 5. 06 UTC és 2021. február 8. 00 UTC között.

A fentiekben vázolt hatások összességében az ország középső részén egyre markánsabb inverziók, ezzel együtt pedig tartós köd kialakulásához vezettek, mindent pedig az alábbi Szombathely–Nyíregyháza szakasz mentén készített vertikális metszet is láthatóan alátámasztja (**36. ábra**). A metszet bal oldalán szembeűnik, hogy délnyugati áramlással már felszín közelben megindult a meleg levegő beáramlása. Ez viszont a vizsgált időpontban (2021. február 7. 00 UTC) még csak a nyugati országhatár közelében valósult meg. Másutt a melegadvekcio ekkor még csak a magasabb légköri szinteket hódította meg (kb. 1 km felett), alul megrekedt a hideg levegő, miközben keleti, északkeleti szél dominált.

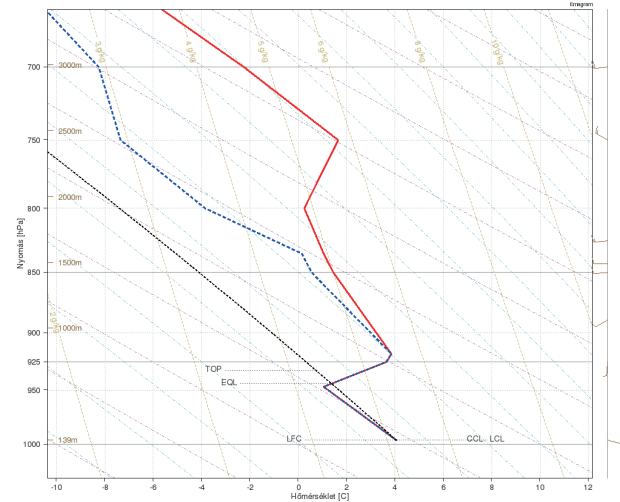
ECMWF-H Hőmérséklet (°C) 2021. feb 07. vasárnap 00:00
ECMWF-H Szél (m/s) 2021. feb 07. vasárnap 00:00



36. ábra. Hőmérséklet és szél vertikális térbeli metszete a légkör alsó 2,5 km-es rétegére vonatkozóan a Szombathely – Nyíregyháza vonalban. Az ECMWF analízise látható 2021. február 7-én 00 UTC-kor.

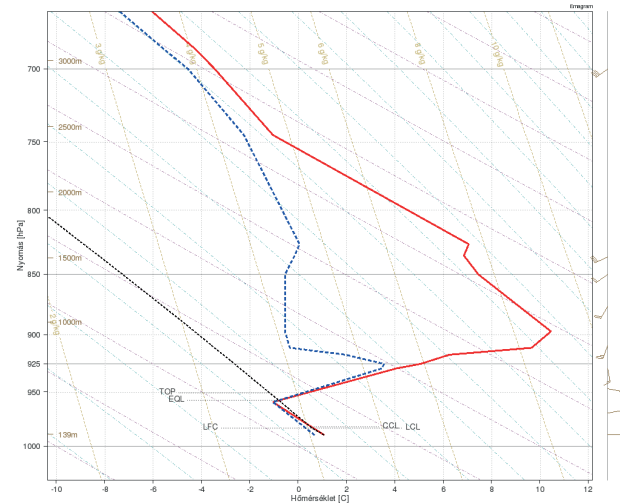
Végül két rádiószondás felszállást mutatunk be. A szombati 12 UTC-s budapesti felszállásból is arra következtethetünk (**37. ábra**), hogy kezdetben az inverzió kialakulásában még a felszínközeli hidegadvekció játszott döntő szerepet. Szombaton délre 3 fokos inverzió alakult ki a 950 és 925 hPa-os szint között a hidegadvekció eredményeként. Estétől azonban – ahogy a fentiekben már utaltunk rá – megkezdődött a meleg levegő beáramlása és vasárnap is a magasabb légköri szinteken a melegadvekció volt a meghatározó. Ez tartós ködöt eredményezett, mi több, az előző naphoz képest tovább vastagodott a stratus felhőzet. Vasárnap délre az inverzió mértéke jelentősen megugrott (**38. ábra**), a 950 és 900 hPa-os szintek között ekkorra már 11 fokos hőmérsékleti kontraszt alakult ki (a 900 hPa-os nyomási szint javára), ami már egyértelműen a mediterrán ciklon közeledte miatti melegadvekció hatása.

TEMP BUDAPESTLORINC 12843 2021. feb 06. szombat 12:00



37. ábra. Rádiószondás felszállás Budapest–Lőrincen 2021. február 6-án 12 UTC-kor. Ekkor az inverzió még csak kisebb méreteket öltött, 3 fokos eltérés mutatkozott csupán a 925 és 950 hPa-os nyomási szint hőmérséklete között.

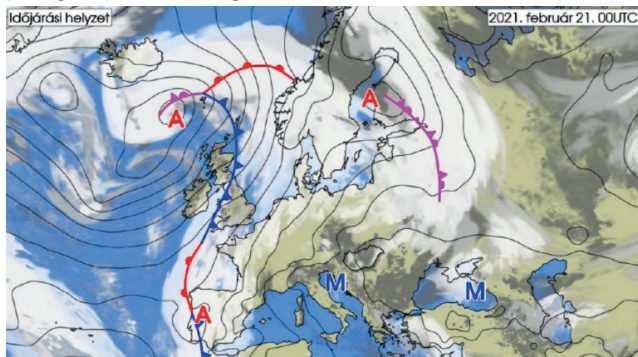
TEMP BUDAPESTLORINC 12843 2021. feb 07. vasárnap 12:00



38. ábra. Rádiószondás felszállás Budapest–Lőrincen 2021. február 7-én 12 UTC-kor. Vasárnapra tovább erősödött az inverzió, ekkor már 11 fokos hőmérséklet-különbség mutatkozott a 900 és 950 hPa-os nyomási szintek között.

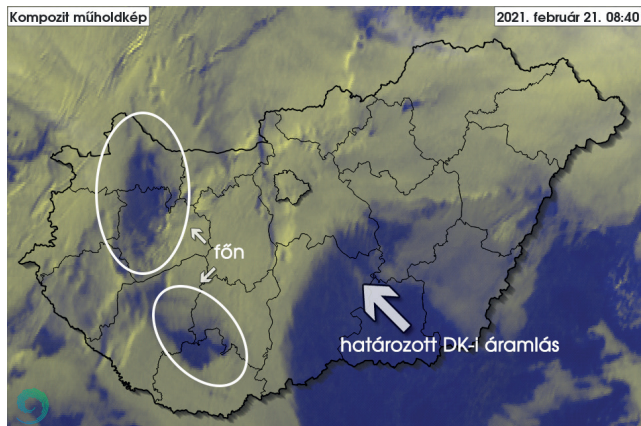
A köd, a napsütés és a délkeleti szél harca: 2021.02.21.

Az utolsó általunk vizsgált váratlan ködös időjárás helyzet február 21-re esett. Az európai helyzetképről látszik, hogy Nyugat-Európában egy hullámzó frontrendszer okoz változékony időjárást, tőle keletebbre Közép- illetve Délkelet-Európában azonban már egy anticiklon hatására nyugodt az idő (**39. ábra**). Ez utóbbi területeken éjszakánként többfelé terjeszkedik a köd, napközben pedig napos és rétegfelhős területek váltakoznak.



39. ábra. Európai időjárás helyzet 2021.02.21-én 00 UTC-kor. Hazánkban, továbbá Dél- és Délkelet-Európában anticiklonális hatások támogatják az éjszakai ködképződést. Napközben Európa ezen részén napos és ködös tájak egyaránt előfordulnak.

Február 20-án, szombaton záródott felettünk a hidegpárna. Napközben csak nagyon lassan zsugorodott a köd, többfelé egész nap makacsul megmaradt, majd vasárnap már valamelyest megmozdult a levegő, így ezt a napot inkább már a köd és a napsütés harca jellemezte. A Fekete-tenger felett húzóóó anticiklon peremén délkeleti szélirány dominált. Az alsó pár száz méteren megélenkülő délkeleti szél elkezdte az Alföldről kisépenni a felszínközlelben felgyülemllett nedvességet, így ott már kora délelőtt kisütött a nap, megszüntetve a kezdeti szürkeséget. A következő műholdképen (**40. ábra**) láthatjuk



40. ábra. 2021.02.21-én reggel a megélenkülő délkeleti szél a Dél-Alföldön feloszlatta a ködöt, továbbá a Dunántúlon is a fön hatás következtében a Mecsek és a Bakony előterében naposra fordult az idő.

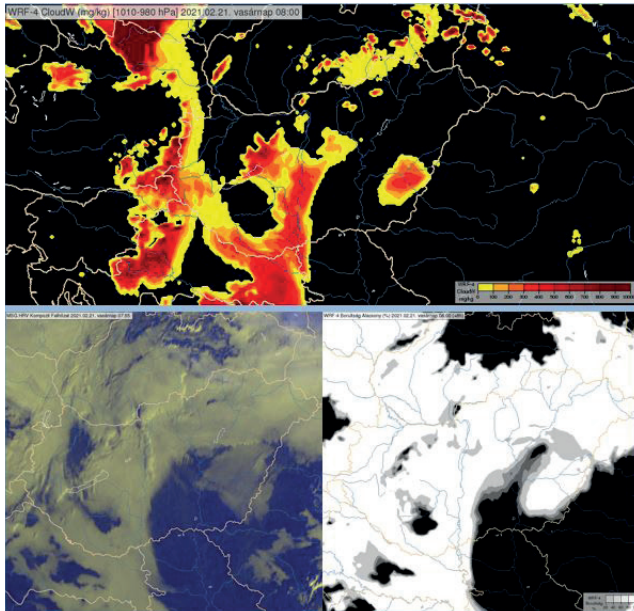
mindezt, továbbá egy érdekesség is megfigyelhető: a Dunántúlon látható két nagyobb, felhőmentes terület a Mecsek és a Bakony északnyugati oldalán. Ezekben a körzetekben érvényesül a fön hatás, miszerint a hegyek lee oldalán felemelkedő levegő miközben hűl, elveszti nedvessége jó részét, a hegygerincen áterve kiszárad, és az átbukó száraz szél felhősztató hatású.

A folytatásban nézzük meg mennyire követte az időjárás helyzet a WRF-4 február 21-re vonatkozó előrejelzéseit. A soron következő ábrákon felül mindig a felhővíz mennyiségének előrejelzését figyelhetjük meg, míg a bal alsó ábra az aktuális HRV kompozit műholdképet, a jobb alsó pedig az alacsony szintű felhőzet előrejelzést jeleníti meg. Mind az előrejelzések, mind az aktuális műholdkép ugyanarra az időpontra vonatkozik.

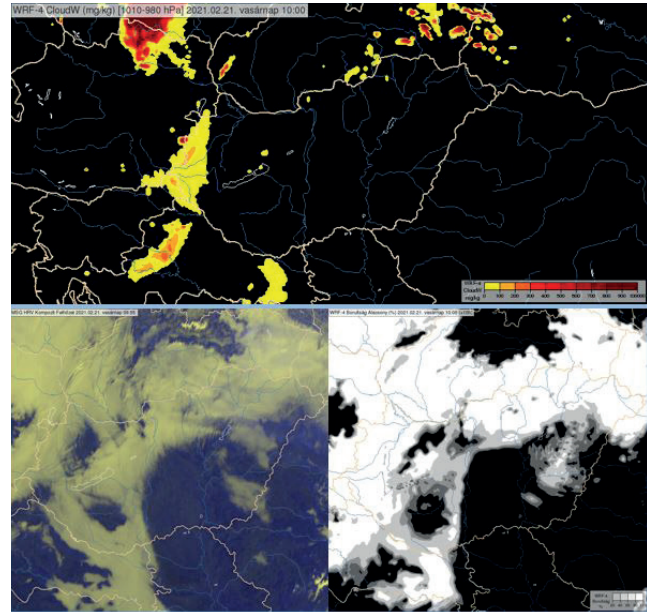
A reggeli műholdfelvételen szépen kirajzolódik, hogy a megélenkülő délkeleti szél jóvoltából a Duna-Tisza-öke déli felén, Csongrád-Csanád megyében, továbbá a dunántúli hegyek északi oldalán megindult a köd zsugorodása (**41. ábra**). A modell a reggeli órákban (08 UTC)

az alacsonyabb légköri szinteken még jelentős folyékony víztartalommal számol, egyértelműen támogatja a köd tartós fennállását azokon a tájakon, amelyeket a reggeli órákban ténylegesen stratus borít. Az alacsonyszintű felhőzet előrejelzés pedig szinte tökéletes egyezést mutat a műholdképpel.

Délelőtt délkeleti irányból folytatódott a felhőzet felszakadozása (**42. ábra**). Az Alföld egészén javultak a látási viszonyok, továbbá a Dunántúlon is a hegyvidéki körzetek előterében egyre nagyon felhőmentes területek rajzolódtak ki. A modellben ugrásszerűen csökkent felszínközeli a felhővíz mennyisége, míg a valóságban lassabban ment végbe a köd zsugorodása.



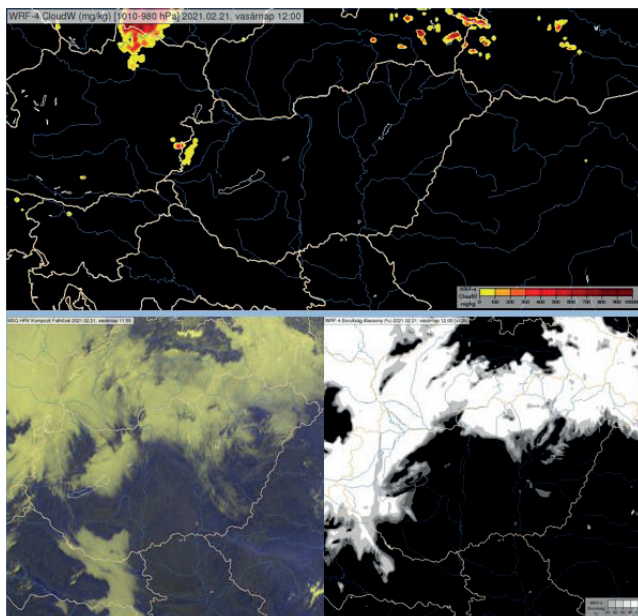
41. ábra. WRF-4 előrejelzése 2021.02.21. 08 UTC-re vonatkozólag. A felhővíz mennyiség előrejelzésből kiolvasható, hogy a modell nagy területen ködöt prognosztizál (felső ábra). Ennek megfelelően láthatjuk is, hogy az aktuális műholdképen (bal alsó ábra) az ország nagy részét stratus borítja, s a valóság szinte tökéletes egyezést mutat a WRF-4 alacsonyszintű felhőzet előrejelzésével (jobb alsó ábra).



42. ábra. 2021.02.21-én délelőtt (10 UTC) délkelet felől egyre nagyobb területen tisztult az idő. A WRF-4 felhővíz előrejelzése (felső ábra) idővel elrugaszkodik a valóságtól és kiszárítja a légkört, míg az alacsonyszintű felhőzet előrejelzés (jobb alsó ábra) szinte továbbra is tökéletesen egybevág a valós állapottal, a műholdfelvétellel (bal alsó ábra) egyezést mutat.

Az előrejelzés délelőtt már csak a nyugati megyékben, és néhol az északi tájakon támogatja a tartós ködöt, ezzel szemben a 10 UTC-re vonatkozó észlelések megerősítik, hogy nem csak az Alpokalján, hanem ekkor még a Balaton tágabb környezetében, a Dráva mentén, a főváros környékén, továbbá foltokban a keleti országrészben is tartotta magát a köd. Habár a felhővíz mennyiségének térbeli előrejelzése és a ténylegesen köddel borított tájak között az idő előrehaladtával egyre nagyobb eltérés mutatkozott, az alacsonyszintű felhőzet előrejelzése a +10 órás időlépcsőben is igen jól közelíti a valóságot.

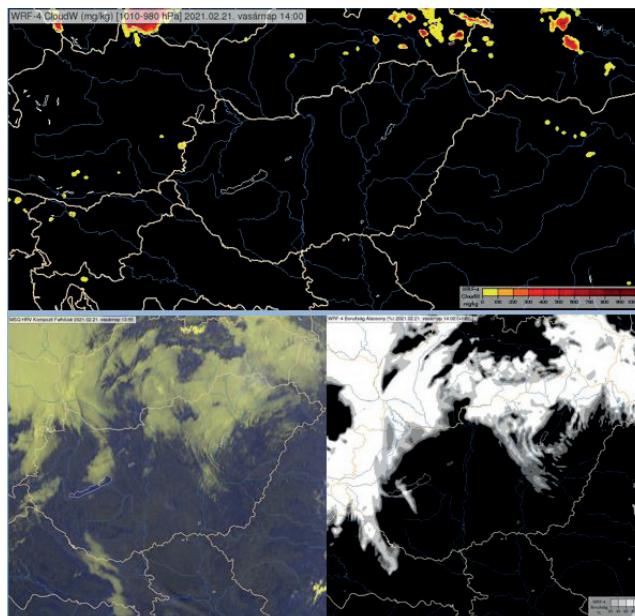
Délre jelentősen csökkent a köd területi kiterjedése. Látható a műholdképen, hogy a Balatontól délre nagy területen feloszlott a köd, valamint a főváros térségében



43. ábra. 2021.02.21-én délre a várakozásoknak megfelelően nagy területen felszállt a köd, habár az előrejelzésektől eltérően a Dunántúli-középhegységben és a déli határ mentén továbbra is 1 km alatt maradt a látástávolság. Az alacsonyszintű felhőzet előrejelzés (jobb alsó ábra) és a műholdfelvétel (bal alsó ábra) az említett „eltéréseket” leszámítva jól illeszkedik, míg a felszín közeli folyékony víztartalomnak a déli órákra már nyoma sincs a modellben.

is javultak a látási viszonyok (**43. ábra**). A 12 UTC-re vonatkozó modellfutások felszín közelben szinte teljesen kiszárították a léggömböt, az előrejelzés alapján ekkor már csak legfeljebb a nyugati határ mentén maradhattak volna köddel borított területek. A WRF-4 habár felszín közelben teljesen eltünteti a nedvességet, előrevetíti, hogy a köd nyomán képződő rétegfelhőzet az északnyugati, északi megyékben továbbra is tartja magát. Ez a forgatókönyv viszonylag jól is közelíti a valóságot, annyi eltéréssel, hogy a Dunántúli-középhegységben és Baranya megye déli részén a várnál tovább megmaradt a köd.

Délután az ország nagy részén megszűnt a köd és helyét párásság váltotta fel. A köd nyomán képződő réteg-

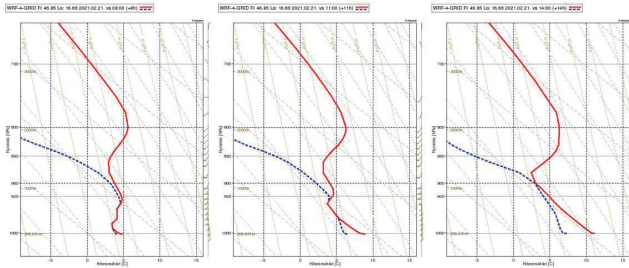


44. ábra. 2021.02.21-én a déli órákra csaknem mindenütt megszűnt a köd, de a nyomában képződő rétegfelhőzet főként az ország északi felén továbbra is eltakarta napot. A modell ezt az állapotot az Észak-Magyarországi régióban viszonylag pontosan, míg a Dunántúlon kisebb térbeli eltérésekkel jelezte előre.

felhőzetet a modell a +14 órás időlépcsőben a Dunától keletre szinte tökéletesen prognosztizálja, nyugaton azonban kisebb eltérések jelentkeznek az előrejelzett és a tényleges állapot között (**44. ábra**).

Láthatjuk tehát, hogy a ködnaplan megemelkedése révén képződő alacsony szintű rétegfelhőzetet a modell mind térben, mind időben viszonylag pontosan előrejelzi. A folyékony víztartalom előrejelzése kapcsán merülnek fel a problémák. A modell az idő előrehaladtával jelentősen csökkenti a felszínközeli felhővíz mennyiségét, idejekorán kiszárítja az alsó légköri szinteket.

Az alsó néhány száz méteres légréteg kiszáradását a pszeidotempeken is szemügyre vehetjük (**45. ábra**). Balról jobbra haladva láthatjuk a légrétegződés



45. ábra. Hőmérsékleti profil előrejelzés 2021.02.21. 08 UTC, 11 UTC és 14 UTC-re.

alakulását a nap folyamán a 08:00, 11:00 és 14:00 UTC-s időpontokban. Az idő előrehaladtával a hőmérsékleti és a harmatponti görbe fokozatos távolodását vehetjük észre a felszín közelben, az alsó légréteget tehát kiszárítja a modell. Délután közel 1 kilométeres magasságban még összesimul a két görbe, jelezvén, hogy a köd nem tűnik el nyomtalanul, a megemelkedése során képződő rétegfelhőzet továbbra is többfelé eredményezhet borongós időjárást.

III. Konklúzió

A tanulmányban bemutatott szinoptikus vizsgálatok alapján a Péczely-féle osztályozás felhasználásával elmondható, hogy a ködperiódusok kétharmada anticiklonális időjárási helyzethez kapcsolódik. A legnagyobb eséllyel az anticiklon centrumához közeli helyzetben alakulnak ki a hosszabb, stabil ködös időszakok. Ciklonális esetekben kizárólag a meleg szektorban találkozhatunk köddel. Fontos megállapítás, hogy a ködperiódusokat megelőzően mindig volt csapadék, ami a talajnedvesség szerepét mutatja. Kijelenthető, hogy felszín közelben melegadvekciónak jellemző az országos ködperiódusok idején.

Az esettanulmányok segítségével megvizsgáltuk a tipikus hazai ködperiódusok lefolyását így a kisugárzási és advekciónak helyzeteket, valamint a zúzmarás ködös helyzeteket. Áttekintettük a tipikus vertikális profileket és az inverzió szerepét. Ugyancsak bemutattuk, hogy az áramlás és az orográfia együttesen miként tudja befolyásolni a köd térbeli eloszlását. Az esettanulmányokból látható volt a köd felszakadásának és újramegkezdésének folyamata.

Nagy felbontású numerikus modell segítségével vizsgáltuk a köd diagnosztizálásának és előrejelezhetőségének kérdését, felvázolva a bizonytalanságokat. A tanulmányban leírtak alapján képet kaphatunk a hazai ködös időjárási helyzetek körülményeiről, lefolyásáról és előrejelezhetőségük korlátairól.

Irodalomjegyzék

- Bóna M.*, 1986: Hideg-légpárnák aeroszinoptikai vizsgálata. OMSZ Meteorológiai Tanulmányok 54.
- Cséplő, A., Sarkadi, N., Horváth, Á., Schmeller, G., Lemler, T.*, 2019: Fog climatology in Hungary. *Időjárás* 123, 241–264.
- Hyvarinen, O., Julkunen, J., Nietosvaara, V.*, 2008: Climatological tools for low visibility forecasting .In COST Action 722-Earth System and Environmental Management –Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds. ISBN 978-92-898-0038-9
- Nielsen, N.W., Petersen, C.*, 2008: Operational visibility and fog forecasting at the Danish Meteorological Institute. In COST Action 722-Earth System and Environmental Management –Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds. ISBN 978-92-898-0038-9
- Péczely Gy.*, 1957: Áramlási helyzetek Magyarországon különböző makroszinoptikus helyzetekben. *Időjárás* 61, 408–419.
- Sallai.M., Wantuch F.*, 1997: First experiences with the subjective evaluation system of ALADIN at HMS. PROCEEDING-Third RC LACE/ALADIN workshop on the use of ALADIN products in forecasting practice and verification matter Budapest, Hungary.
- Vaszkó A.I.*, 2016: A Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek objektív osztályozásának alapjai. Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Wantuch F., Bottyán Zs., Deák B.*, 2010: A látótávolság és a köd rövidtávú előrejelzésének lehetőségei. Repüléstudományi Konferencia, Konferencia Kiadvány, Szolnok, 2010/2.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
I. Ködperiódusok csoportosítása a Péczy-féle makrocirkulációs osztályozás alapján	2
Módszertan	3
Anticiklonális helyzetek	4
Ciklonális helyzetek	6
Összegzés	8
II. Esettanulmányok	8
A 2020. január 11-től 28-ig tartó ködös periódus részletes elemzése	8
A hideglégréteg időjárási helyzet kialakulásának mechanizmusa	9
Az időjárási helyzet részletes elemzése	9
A sugárzási és advekción köd esete 2020 novemberében	14
2020.11.22. Advekción köd	15
2020.11.24. Egy újabb hideglégréteg időjárási helyzet kezdete	16
Modellszámítások alakulása	17
2020. decemberi ködmentes hideglégréteg felszakadásának dinamikája	20
Ködös, esős időjárási helyzet február első hétvégéjén	22
A köd, a napsütés és a délkeleti szél harca: 2021.02.21.	26
III. Konklúzió	29
Irodalomjegyzék	30



© 2021 Országos Meteorológiai Szolgálat

Kiadja: az Országos Meteorológiai Szolgálat
1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.

Kiadásért felel: Dr. Radics Kornélia, az OMSZ elnöke
Írta: Szilágyi Eszter, Lemler Tünde, Horváth Ákos
Grafika: Szabó Dorottya

**A közlemény megjelenését a GINOP-2.3.2-15-2016-00055 sz. projekt keretében
a Pénzügyminisztérium támogatta.**

