



Foto: Németh Ákos

A 2024. szeptemberi rendkívüli dunai árvíz meteorológiai háttere

Horváth Ákos, Kurcsics Máté

HungaroMet Nonprofit Zrt. Siófoki Viharjelző Observatórium, horvath.a@met.hu

DOI: 10.56474/légkor.2024.4.1

2024 szeptemberének közepén a Boris névre keresztelt ciklon hatására nagy mennyiségű csapadék hullott a Duna felső vízgyűjtőjére, amely rendkívüli folyami árvizet okozott a Dunán és mellékfolyóin. A közel hét napon keresztül tartó esőzésben sokfelé 200 mm-t meghaladó csapadék esett, Alsó- és Felső-Ausztriában pedig nagyobb területen 300 mm fölötti csapadékmennyiséget is regisztráltak. Magyarországon a Nyugat-Dunántúlon hullott a legtöbb, helyenként 100 mm-t is meghaladó csapadék. A Boris ciklon hátoldalán a Balaton térségében 100 km/h-t meghaladó szélökések okoztak viharokot. A légörvény hatására markánsan csökkent a hőmérséklet: 30 fokról 10 fok közelébe. A madárvonulás idején jött hirtelen lehűlés tömeges madárpusztulást okozott, elsősorban a fecskék körében.

The meteorological background of the extraordinary Danube flood in September 2024

In mid-September 2024, Cyclone Boris caused heavy rainfall in the upper Danube catchment, causing extreme river flooding on the Danube and its tributaries. During almost a week, precipitation amount exceeded 200 mm in many areas with amount of over 300 mm recorded in large areas of Lower and Upper Austria. In Hungary, Western Transdanubia received the most precipitation exceeding 100 mm in some places. On the backside of Cyclone Boris, wind gusts exceeding 100 km/h caused storm damage in the area of Lake Balaton. Temperatures dropped sharply from 30 degrees Celsius to around 10 degrees Celsius. The sudden cooling during the bird migration period caused mass bird mortality, especially among swallows.

A ciklon okozta rendkívüli csapadék

A Boris ciklon legjelentősebb hatása a rendkívül nagy csapadék volt. A ciklon előtt már átvonult egy csapadékrendszer Közép-Európa felett, amelyből elsősorban a Rába és a Lajta vízgyűjtőjén esett sok eső szeptember 10-én reggelig. A következő napra ez a csapadékhullám a Déli-Kárpátok térségébe helyeződött át, a Kárpátokon túli román területeken villámárvizeket is okozott, de

a Duna felső vízgyűjtőjén ekkor jelentősebb eső nem volt. A nyugatról érkező hidegfront hatására szeptember 12-én reggelig főként osztrák területen már többfelé 20 mm-t meghaladó eső esett 24 óra alatt, azonban ez önmagában még nem okozott volna folyami árvizet.

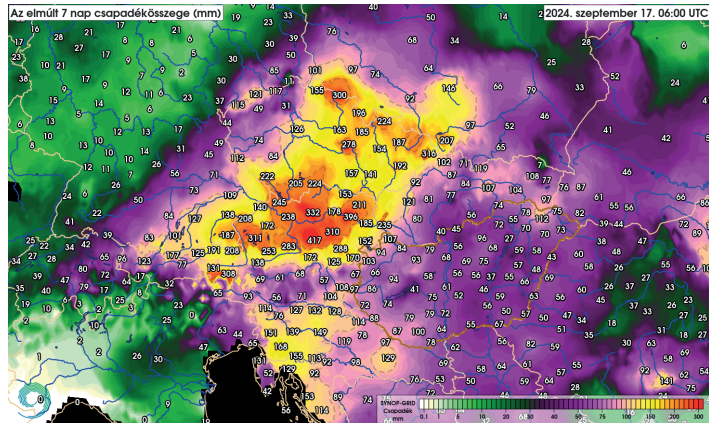
Szeptember 12-én azonban az Alpok délkeleti oldalán mélyülő ciklon már nagyon sok csapadékot hozott elsősorban Tiroiban és Szlovéniában, az utóbbi területen többfelé 100 mm fölötti értékeket produkálva

szeptember 13-án reggelig. Magyar területen, a Dunántúl nyugati peremén 40 mm-t mértek, a Dunától keletre pedig még alig hullott csapadék. A következő napon a már kimélyült légörvény felhőrendszere osztrák és cseh területek felett okozott rendkívüli csapadékot, szeptember 14-én reggelig az osztrák-cseh határ közelében helyenként 100 mm-nél is több eső esett 24 óra alatt. Magyarországon kiadós eső volt az egész országban. Az eddig lehullott csapadék már kritikus árvízi helyzetet váltott ki, Ausztriában és Csehországban a felső szakaszokon sokfelé kiléptek a folyók a medrükből, jelentős, épületeket és infrastruktúrát sújtó árvízi eseményekről érkeztek jelentések.

A ciklon azonban még mindig nem mozdult a térség fölül, és szeptember 15-én reggelig főleg Alsó- és Felső-Ausztriában, továbbá Lengyelország délnyugati területein esett rendkívüli mennyiségű, nagyobb területen 150 mm-t meghaladó eső 24 óra alatt, eddig soha nem tapasztalt árvízi helyzetet előidézve. Magyar területen ugyancsak jelentős csapadék hullott ismét, a Dunántúlon helyenként 40 mm-t is mértek. Szeptember 16-án reggelig csak Alsó-Ausztriában mértek kritikus mennyiségű, helyenként 60 mm-t is meghaladó csapadékot, de a Duna teljes felső vízgyűjtőjében is jellemzően 20 mm-t meghaladó eső esett 24 óra alatt. A ciklon továbbra sem mozdult a térség fölül, és szeptember 17-én reggelig az osztrák vízgyűjtőn nagy területen ismét 40 mm eső esett, minden eddiginél kritikusabb helyzetet teremtve úgy a helyi vízfolyásokon, mint a Duna egész felső szakaszán. Szeptember 17-én megkezdődött a ciklon feloszlása, és napközben már csak minimális csapadék hullott a Duna vízgyűjtőjén.

A Boris ciklon által produkált összes csapadékot tekintve megállapítható, hogy a ciklon 7 napja alatt a legtöbb eső Felső-Ausztriában esett, ahol nagyobb területen 200 mm feletti értékeket mértek, de hasonlóan rendkívül nagy csapadékos területek Csehországban, illetve Lengyelország déli körzeteiben is voltak. Nagy területen hullott 100 mm feletti csapadék a fenti térségen kívül még Szlovéniában, illetve Horvátországban is. Magyarországon a Nyugat-Dunántúlon esett 100 mm feletti csapadék a ciklonból, a legtöbb Mosonmagyaróváron: 107 mm. A térségben a Balatonnál esett a legkevesebb eső, aminek később részletezett, a térségre jellemző áramlástanai okai voltak. A ciklon okozta csapadékmennyiség eloszlását az 1. ábra mutatja.

A Magyarország területén lehullott csapadék önmagában nem okozott rendkívüli helyzetet. Ennek egyik oka a rendkívül száraz talaj volt, ami a csapadékot könnyen fel tudta venni. A másik ok a csapadék intenzitása: villámárvizeket okozó heves zivatarok helyett



1. ábra. A Boris ciklonhoz köthető 7 nap csapadékösszege 2024.09.17. 06:00 UTC-kor.

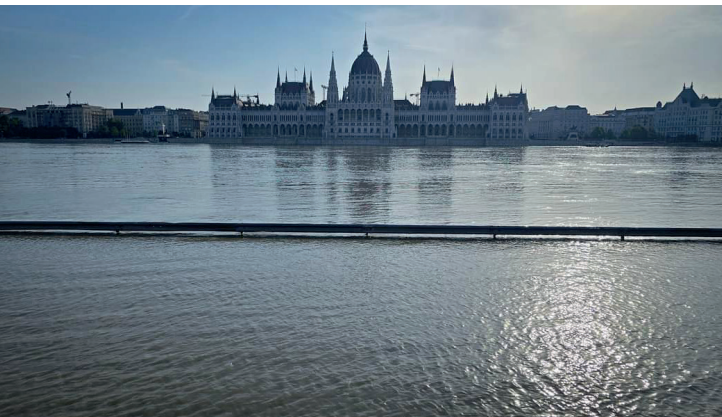
jellemzően hosszabb időszakra eloszló eső áztatta a talajt, így a lehullott csapadéknak volt ideje beszivárogni a földbe. Az országra zúduló árvíz alapvetően nyugatról érkezett, az arrafelé hulló rendkívüli mennyiségű csapadék hatására először a Lajtán alakult ki kritikus helyzet (2. ábra), majd a Dunán levonuló árvíz miatt volt szükség rendkívüli védekezésre (3. ábra).



2. ábra. Az áradó Lajta Mosonmagyaróvárnál (Baradics Bálint felvétele).

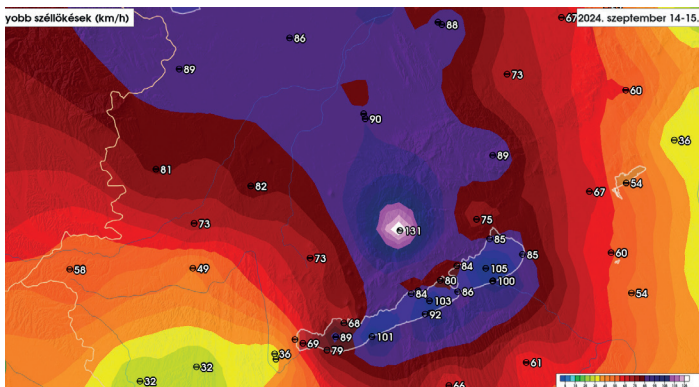
Viharos szél a ciklon hátoldalán

A Boris ciklon okozta rendkívüli csapadék mellett jóval kisebb súlya volt a légörvénnyel járó szélnek. Jelentősebb szélvihar az észak-dunántúli területeken és a Balaton térségében alakult ki, amikor az ország nyugati része a ciklon hátoldalára került, amelyben jelentős légnyomáskülönbésg jött létre. Szeptember 14-én és



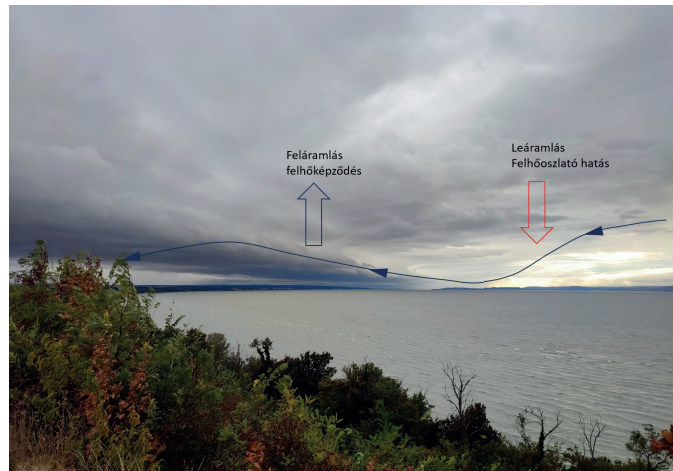
3. ábra. Az áradó Duna Budapestnél (Tölgyesi László felvétele).

15-én megközelítőleg a Fertő tó – Pápa – Balaton sávban létrejött egy szélszatórna, amelyben többfelé 90 km/h körüli széllökések alakultak ki. A legerősebb széllökéseket a magasabban fekvő állomások mérték: Kab-hegyen 131 km/h volt a maximális széllökés, amivel megdőlt a napi országos szélrekord. A Balatonnál többfelé 100-105 km/h-s széllökések fordultak elő (4. ábra).



4. ábra. A legerősebb széllökések eloszlása 2024.09.14-15-én a Balaton térségében.

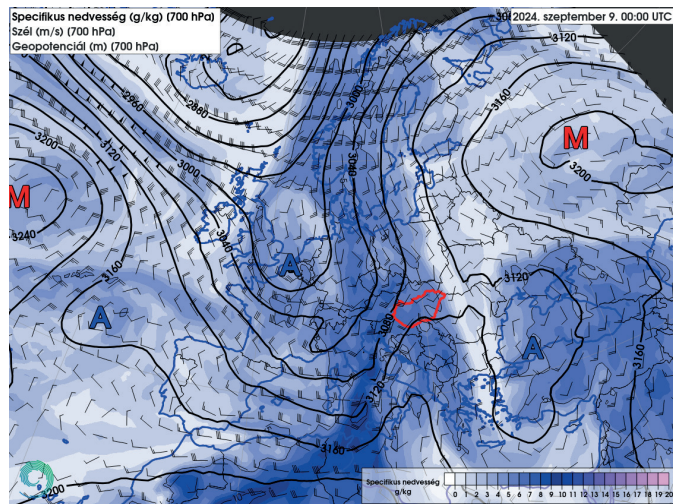
Az ilyen típusú időjárási helyzetekben gyakran kialakul a Balatonnál egy hosszan tartó álló léghullám, amely a bórához hasonló, a Balatonnál élő emberek által régebben "főszélnek" nevezett jelenség megnyilvánulása az égbépen [1][2][3]. A 5. ábrán megfigyelhető a Balaton északi partja felett álló keskenyebb felhőzet, amelyen még a nap sugarai is átszűrődnek, illetve a déli parttal párhuzamos markánsabb felhősáv. A Balaton feletti kevesebb felhő a hullám leszálló ágát jelzi, míg a déli parttal párhuzamos felhősáv a felszínről "visszapattanó" és emelkedő légáramlás hatására jön létre, azaz a léghullám emelkedő sávjában. Az a tény, hogy a ciklon csapadékösszege a Balatonnál alacsonyabb volt (1. ábra), ugyancsak ennek a bukószélnek tudható be. A leáramlás kiszárító hatása, illetve a főnös helyzet több napon keresztül fennállt, ezzel csökkentve a csapadék mennyiségét.



5. ábra. A Balaton fölött kialakuló állóhullám felhőzete a keleti partról nézve.

A ciklon kialakulásának meteorológiai háttere

A Boris ciklon kialakulását három időjárási körülmény egyszerre támogatta. Az első a nagy hőmérsékleti kontraszt volt, amely az északnyugatról jövő gyorsan mozgó hidegfront mögötti hűvösebb és a mediterrán térséget kitöltő rendkívül meleg légtömeg között alakult ki. Az így keletkezett jelentős baroklin instabilitás önmagában is kedvezett a fronton létrejövő



6. ábra. A 700 hPa specifikus nedvessége (színezett területek), a szint magassága (folytonos vonalak) és szélviszonyai 2024.09.09. 00:00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján.

hullám kialakulásához. A másik tényező az Alpok hatása, amely az északnyugati hidegfrontok esetén kedvez az ún. lee-oldali ciklogenezisnek. A mediterrán ciklonok, illetve elsősorban az ún. genovai ciklonok jórészt ennek hatására jönnek létre. Ezúttal volt egy harmadik tényező is, a levegő magas nedvességtartalma, amely a fejlődő ciklon feláramlási rendszerében kondenzálódva jelentős látens hőfelszabadulással támogatta a légörvény fejlődését és egyúttal a rendkívül nagy csapadékot is okozta.

A ciklon kialakulását megelőzően a nyugati áramlási övből mélyen délre lenyúló léghullám hatására a trópusi területekről a Nyugat-Szahara felett áthaladó nedves szállítószalag számottevő vízgőzt szállított magával (6. ábra). A rendkívül meleg sivatagi és mediterrán levegőben áramló vízgőz telítetlenül maradvra jutott el Közép-Európa fölé.

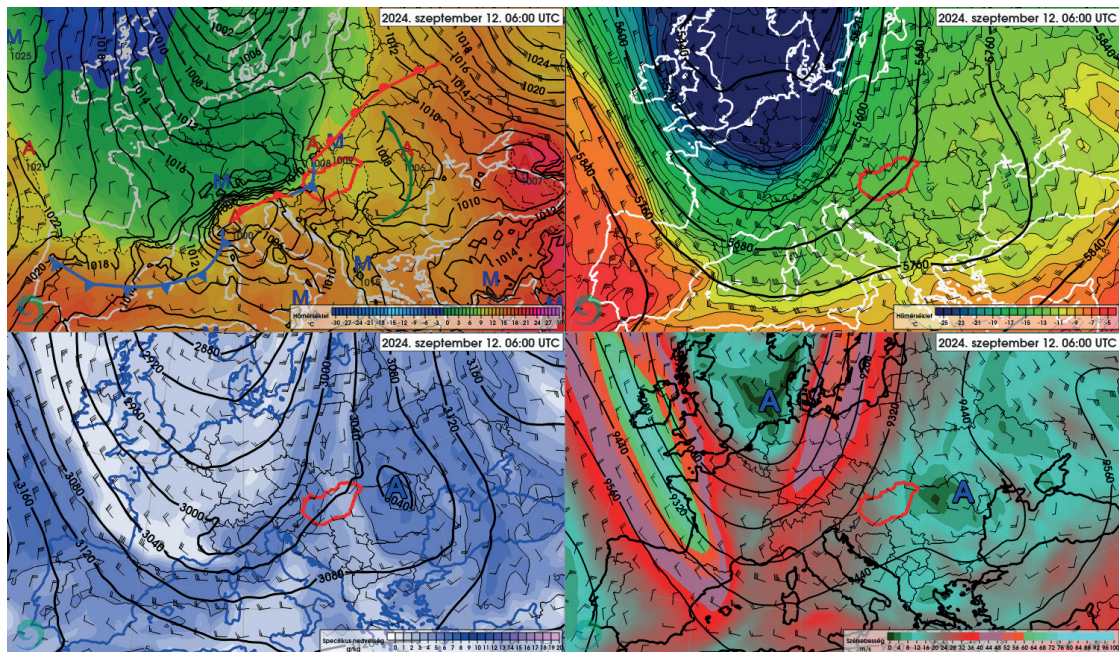
A Boris ciklon kialakulását a térségbe szeptember 11-én érkező hidegfront előzte meg. A front előtt torlódó nedves levegő, a front mögött jövő magassági hideg, illetve a hozzá tartozó jet stream egy „szokásos”, markáns hidegfront betörés kezdetét mutatták. Az Alpokhoz érve a hegység déli oldalán szeptember 12-én intenzív lee-oldali ciklogenezis indult meg, maga a front lelas-

sult, a magassági hidegmag utolérte a frontot és megkezdődött a már említett intenzív csapadék hullás az osztrák, szlovén és észak-olasz területeken (7. ábra).

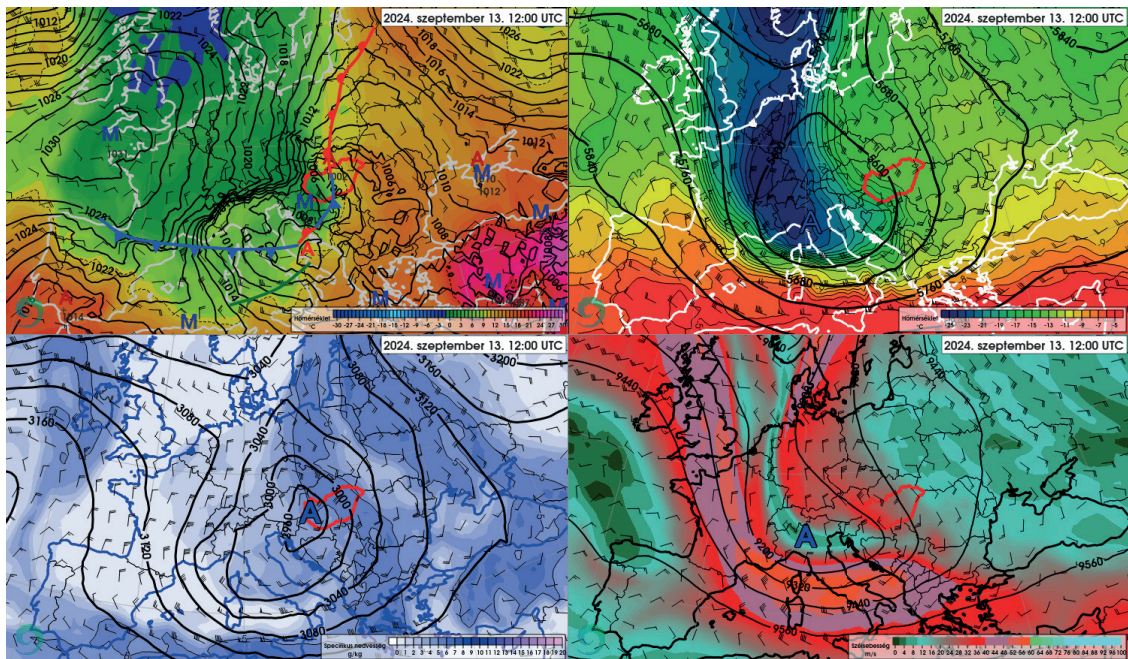
A következő napokban a front már nem haladt tovább, rajta több hullám is keletkezett és kialakult a Boris névre keresztelt légörvény, amely rövidesen már a jet stream magasságában (kb. 300 hPa) is zárt áramlási képet mutatott (8. ábra). Ezt követően a ciklon alig mozdult, viszont tovább mélyült. A ciklon felcsavarodó karjaiban kicsapódó nedvesség folyamatosan biztosította a csapadékot, amely legintenzívebben a légörvény északnyugati részén hullott, ahol az áramlást az Alpok is megemelte. Szeptember 17-én megindult a ciklon feltöltődése, illetve a magassági hidegörvény Észak-Olaszország fölé húzódott és ott még jelentős csapadékot és súlyos árvízi helyzetet okozott.

Következtetések

A Boris nevű közép-európai ciklon rendkívül sok csapadékot produkált a Duna felső vízgyűjtőjében. A ciklon 7 napja alatt többfelé mértek 300 mm-t is meghaladó csapadékot, amely először Szlovéniában, majd főleg Ausztriában és Csehországban, illetve



7. ábra. Időjárási helyzet 2024.09.12. 06:00 UTC-kor az ECMWF analízis alapján. Bal felső ábra: tengerszintű légnyomás (folytonos vonalak), a 850 hPa nyomási szint (kb. 1500 m magasság) hőmérséklete (színezett terület) és a 925 hPa nyomási szint szélviszonyai; jobb felső ábra: 500 hPa nyomási szint (kb. 5500 m) hőmérséklete (színezett terület), a nyomási szint magassága (folytonos vonalak), a nyomási szint szélviszonyai; bal alsó ábra: 700 hPa nyomási szint (kb. 3000 m) specifikus nedvessége (színezett terület), a nyomási szint magassága (folytonos vonalak) és a szint szélviszonyai; jobb alsó ábra: a 300 hPa nyomási szint (kb. 9500 m) szélereksége (színezett terület), a nyomási szint magassága (folytonos vonalak) és a szint szélviszonyai.



8. ábra. Időjárás helyzet 2024.09.13. 12:00 UTC-kor az ECMWF alapján. Az ábramagyarázat megegyezik a 7. ábrával.

Lengyelország délnyugati területein hullott. Ez a mennyiség közel hatszorosa a szeptember havi magyarországi átlagos csapadékmennyiségnek. Az esőzések először regionális, majd a Dunán folyami árvizet okoztak. Meteorológiai szempontból meghatározó volt a térségben felhalmozódott, részben trópusi eredetű nagy nedvesség, amely a ciklon kialakulásánál és a nagy csapadékrendszerek létrejöttében játszott fontos szerepet. A sivatagi területek fölött átívelő nedvesség híd nem rendkívüli, de nem is gyakori jelenség [4]. Az északi félteke szokatlanul meleg nyara hozzájárult ahhoz, hogy a légkörben - telítetlen állapotban, vagyis vízgőz formájában - több nedvesség halmozódjon fel, és az kicsapódás nélkül magasabb földrajzi szélességű területekre jusson. A magas nedvességtartalmú, de telítetlen levegő találkozása az érkező hideg légtömeggel hozzájárult a ciklon kialakulásához. A kialakult alacsony nyomású légörvény viszont nagy területekről szívta magába a környező légtömegeket, amelyekben bőven talált nedvességet, így ezek tovább táplálták a ciklon csapadékrendszereit.

A dunai árvizek kialakulása legtöbbször a térségben fejlődő, vagy itt megrekedt közép-európai ciklonokhoz köthető, ahogy a 2013-as történelmi árvíz idején is tapasztalni lehetett [5][6], és Boris története is nagyon hasonlóan alakult. A numerikus időjárás előrejelzések 5-6 nappal előbb jelezték a ciklon kialakulását és nagy pontossággal adták meg a rendkívül nagy csapa-

dék valószínűségét is. Az Alpok keskeny völgyeiben azonban az ilyen mennyiségű és intenzitású csapadék okozta árvíz kivédhetetlennek bizonyult. A hazai területekre befolyó dunai árhullám levonulása során Magyarországon már nem hullott jelentősebb csapadék, ami jelentősen segítette a vízállás előrejelzését és a védekezésben résztvevő szakemberek munkáját.

Internetes hivatkozások:

- [1] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3365&hir=A_Balaton_boraja
- [2] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3157&hir=Az_adriai_boritol_a_bakonyi_lejtoviharig
- [3] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2920&hir=Allo_leghullam_a_Balaton_felett_miert_fuj_erosebb_szel_a_Balatonnal_hidegfront_eseten?
- [4] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3212&hir=A_viz_korforgalma_a_legkorben_%E2%80%93_a_rendkivuli_aszaly_idojarasi_hattere
- [5] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=747&hir=Tortenelmi_arviz_a_Dunan_-_2013._junius
- [6] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=709&hir=A_2013._juniusi_dunai_arviz_idojarasi_hattere