

MEDIKÁN-ADATBÁZIS, ÉS NÉHÁNY „LEG”

Hérincs Dávid , Dezső Zsuzsanna 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: herincs.david@gmail.com, zsuzsanna.dezso@ttk.elte.hu

Bevezetés

Doktori kutatásaim során az elmúlt időszakban tovább folytattam a medikánok analizálását, elsősorban arra a kérdésre keresve a választ, hogy mekkora mértékben tekinthetők szubtrópusi vagy trópusi ciklonnak ezek a légörvények, előrevetítve lehetséges kategorizálásukat. Az Atlanti-óceán északi felének szubtrópusi régiójában (hozzávetőlegesen a 20. és 40. szélességi körök között) nem ritka, hogy a délebbre helyeződő, és ott blokkolódó, szinte stacionáriussá váló mérsékelt övi ciklonok szubtrópusivá, majd akár trópusivá alakuljanak. Megfigyelték, hogy ezt a trópusi átalakulásnak (angolul tropical transition: TT) is nevezett folyamatot segíti, ha az átalakuló ciklon már eleve meleg magvúként okkludálódik, vagyis a Shapiro-Keyser ciklonmodellt követi (Shapiro & Keyser, 1990). Ilyenkor a központ körül kialakuló konvekció tovább erősíti a meleg magot, mely az átalakulás során egyre mélyebbé válik, vagyis eléri a troposzféra magasabb szintjeit, miközben a korábbi frontok a hőmérsékleti kontraszt kiegyenlítésével fokozatosan feloszlanak. A ciklon körüli szélmező „összeszűkülésével” a központi örvényesség fokozatosan erősödik, és a központ körül örvénylő zivatarok már gyakran akkor is szemszerű képződménnyé állnak össze, amikor a rendszer még nem érte el a hurrikán fokozatot. A trópusi átalakulás jellemzően hűvösebb víz felett megy végbe, mint a trópusokon, a légköri instabilitást itt a tengervíz és a hidegebb felső-troposzféra közötti hőmérséklet-különbség biztosítja. A ciklonok tartósabb fennmaradásához ugyanakkor ebben az esetben is fontos a tengerből származó látens hő. Az így létrejövő trópusi ciklonok általában gyengébbek és kisebb méretűek is, mint azok a „klasszikus” példányok, melyek a meleg trópusi óceánok felett keletkeznek. Abban azonban egyeznek a trópusi társaikkal, hogy a nagy szélnyírás, valamint az ezzel járó környező szárazabb légtömeg bekeveredése elősegíti a gyengülésüket vagy akár feloszlásukat (Davis & Bosart, 2003; Davis & Bosart, 2004; González-Alemán et al., 2015). A trópusi átalakulással keletkező ciklonok többször szokták érinteni az Európához tartozó szigeteket (kiemelten az Azori-szigeteket, de ritkábban Madeirát is), egy-két példányuk pedig az Ibériai-félszigetet is elérte már, mint például a néhány nappal korábban 1-es kategóriájú hurrikánná erősödő, de a partot érés idejére már trópusi depresszióvá szelídült Vince hurrikán 2005-ben (Tapiador et al., 2007), vagy az Alpha nevű szubtrópusi vihar 2020-ban (Brown, 2021).

A medikánok esetén korábban már kidolgoztunk egy elemzési módszert, melynek célja a ciklonok valós erősségének minél pontosabb becslése a lehető legtöbb direkt mérés bevonásával, a strukturális sajátosságaik elemzése, továbbá szinoptikai vizsgálatuk a mérsékelt övi, a szubtrópusi és a trópusi ciklonok esetén jellegzetes különbséget mutató kulcsparaméterekre fókuszálva (Hérincs & Dezső, 2022). Hasonló, elsősorban műholdas adatokon alapuló elemzések a szakirodalomban is fellelhetők az utóbbi évekből. A technológia fejlődésével és a felbontás növekedésével az utóbbi években kiemelt figyelem irányult a mikrohullámú tartományú műholdas mérésekre, melyekkel becsülhető a konvekció intenzitása (mélysége) és kiterjedtsége, a GPM¹ műhold DPR² szenzorával pedig közvetlenül

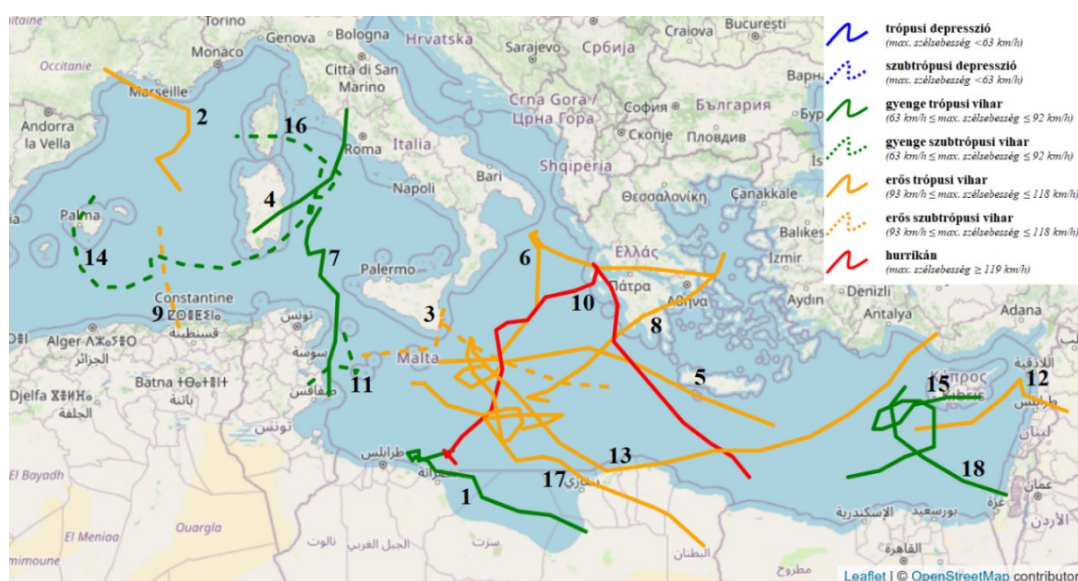
¹ Global Precipitation Measurement

² Dual-frequency Precipitation Radar

is mérhető a 3-dimenziós reflektivitás (Dafis et al., 2018; Marra et al., 2019). Mindemellett aktívan kutatott téma a medikánok kategorizálhatósága, kezdve attól, hogy az egyes meleg magvú ciklonok nevezhetőek-e medikánnak, vagy sem (D'Adderio et al., 2024), illetve az ilyen ciklonok hogyan sorolhatók csoportokba a konvektív fejlettségük (Dafis et al., 2020) vagy éppen a meleg mag erőssége és jellege alapján (Panegrossi et al., 2023).

Ciklon-adatbázis

A már analizált ciklonokból létrehoztam egy adatbázist, illetve ehhez kapcsolódóan egy ismeretterjesztő weboldalt is, mely a <http://zivipotty.hu/medikanok.html> címen érhető el, egyelőre magyarul, de a jövőben tervezzük az angolra fordítását is. A szinoptikus vizsgálatok alapján a ciklonokat alapvetően két típus, szubtrópusi és trópusi szerint különítettük el, az erősségüket pedig a Saffir-Simpson hurrikánskála és annak két kiegészítő kategóriája alapján határoztuk meg, ám mivel a legtöbb medikán (szub)trópusi viharnak lenne megfelelő, ezt külön bontottuk gyenge és erős kategóriára. Az egyes ciklonok útvonalát az 1. ábra szemlélteti, az alapvető adataikat pedig az 1. táblázat tartalmazza, utóbbiban az erősségnél a színezés az útvonalakkal azonos. A medikánok útvonalainál és élettartamánál csak a szubtrópusi vagy trópusi időszak lett figyelembe véve, ugyanakkor néhány közülük már napokkal korábban kialakult hagyományos mediterrán ciklonként. Ha a ciklon átmenetileg elvesztette (szub)trópusi jellegét, majd ismét azzá alakult, akkor a köztes időszak viszont beleszámítódott. A ciklonok átlagos élettartama közel 64 órának adódott, mely jól tükrözi, hogy a medikánok általában néhány napig tudnak csak fennállni. Ezért részben a Földközi-tenger rendkívül tagolt partvonala a felelős, ugyanis, ha egy ciklon elmozdul, akkor általában hamar szárazföld fölé ér, és akkor – a trópusi ciklonokhoz hasonlóan – megszűnik a tengerből származó látens hő utánpótlása. Másrészt a légköri feltételek is viszonylag rövid ideig szoktak ideálisak lenni, mivel a kialakulásukért felelős blocking helyzetek ritkán tartanak 1 hétnél tovább. A tenger középső medencéjében viszont az elmúlt években kialakultak olyan „szerencsés” ciklonok, melyeket a környező magassági teknők és gerincek közös áramlási rendszere úgy „terelgetett”, hogy azok több napig a tenger felett maradtak. Ezek közül a Ianos és az Apollo medikán emelhető ki, melyek 100 óra feletti élettartammal rendelkeztek, és előbbi a viszonylag korai (szeptember közepe) kialakulása révén még igen meleg, 27-28 °C-os víz felett haladt végig, ami elősegítette, hogy elérje az 1-es fokozatú hurrikán intenzitást.



1. ábra: Az analizált, 2007 és 2024 közötti medikánok útvonalai. A színezés a becsült legnagyobb erősségnek megfelelő kategóriát, a vonalstílus pedig a típust (szubtrópusi/trópusi) jelzi.

1. táblázat: Az analizált medikánok listája (a számokat lásd az 1. ábrán).

Ciklon sorszáma	Név	Dátum	Elnevező szervezet	Élettartam	Max. szél és min. légnyomás
1	Janet	2007 október	saját	78 óra	75 km/h 1004 hPa
2	Rolf	2011 november	Freie Universität (Berlin)	48 óra	100 km/h 997 hPa
3	Qendresa	2014 november	Freie Universität (Berlin)	48 óra	110 km/h 982 hPa
4	Xandra	2014 december	Freie Universität (Berlin)	30 óra	85 km/h 993 hPa
5	Trixie	2016 október	európai média	60 óra	110 km/h 992 hPa
6	Numa	2017 november	Freie Universität (Berlin)	72 óra	95 km/h 994 hPa
7	Otilie	2018 szeptember	saját	54 óra	75 km/h 1006 hPa
8	Zorbas	2018 szeptember	európai média	60 óra	110 km/h 987 hPa
9	Detlef	2019 november	Freie Universität (Berlin)	12 óra	95 km/h 994 hPa
10	Ianos	2020 szeptember	egy görög met. szervezet	132 óra	140 km/h 982 hPa
11	Masinissa	2020 november	amatőr meteorológusok	24 óra	85 km/h 1007 hPa
12	Andira	2020 december	Freie Universität (Berlin)	42 óra	100 km/h 994 hPa
13	Apollo	2021 október	olasz met. szolgálat	174 óra	110 km/h 995 hPa
14	Blas	2021 november	olasz met. szolgálat	84 óra	85 km/h 1004 hPa
15	Ciprian	2022 november	saját	84 óra	75 km/h 1006 hPa
16	Juliette	2023 március	spanyol met. szolgálat	36 óra	65 km/h 1003 hPa
17	Daniel	2023 szeptember	hellén nemzeti met. szolgálat	90 óra	95 km/h 996 hPa
18	Avgi	2024 február	hellén nemzeti met. szolgálat	30 óra	75 km/h 1011 hPa

A vizsgált ciklonok közül a legtöbb (9) erős szubtrópusi vagy trópusi viharnak volt megfelelő, 93 és 118 km/h közötti maximális szélsébséggel, de nem sokkal maradt el ettől a

gyenge viharok száma (8) sem. Mindössze egyetlen ciklon, a Ianos érte el bizonyítottan a hurrikán fokozatot, ám a Querida, a Zorbas és az Apollo ciklonok sem voltak messze ettől. Előbbi érdekességét az adta, hogy egy rendkívül gyorsan, viharciklonként kifejlődő mediterrán ciklon átalakulásával jött létre, így a legnagyobb intenzitását rögtön az átalakuláskor érte el (mely az Atlanti-óceánon kialakuló szubtrópusi viharoknál sem példa nélküli), és Linosa szigetén rendkívül alacsony, 982 hPa-os minimális légnyomást mértek a szem áthaladásakor [1 – infoclimat]. Ez az érték már inkább 1-es kategóriájú hurrikánokra jellemző az átlagos szélsősebesség-központi légnyomás kapcsolat alapján (Callaghan & Smith, 1997), ebben az esetben azonban a mérések alapján elmaradt attól a szélerősség. Összehasonlításképpen, a Ianos ciklon esetén szintén 982 hPa volt a legalacsonyabb becsült nyomás a szemben egy 984 hPa-os mért adat alapján, ott viszont a legnagyobb 1 perces átlagszél elérte a 158 km/h-t, a legnagyobb szélökés pedig a 194 km/h-t (Lagouvardos et al., 2022). A 18 ciklon esetén az átlagos maximális szélsősebesség 94 km/h-nak, míg az átlagos minimális központi légnyomás 997 hPa-nak adódott. Utóbbi paraméternél azonban meglehetősen nagy a szórás, mivel ez nem csak a ciklonok abszolút erejétől, hanem a környező nyomási mezőtől is függ. Amikor erősebb anticiklonok helyezkednek el a Földközi-tenger környékén, akkor a ciklonok központi nyomása is magasabb, ugyanakkor a nyomási gradiens így is képes lehet akár erős trópusi viharok megfelelő szélsősebességet produkálni, mint például a Rolf és a Daniel ciklon esetén. Ciklonális környezetben kialakuló medikánoknál viszont egy gyengébb viharban is előfordulhat meglehetősen alacsony nyomásminimum, melyre a Xandra a legjobb példa.

A trópusi és szubtrópusi ciklonok esetén meg szokták adni az úgynevezett akkumulált ciklon energia (accumulated cyclone energy, ACE) indexet is, mely az alábbi egyszerű összefüggéssel adható meg:

$$ACE = 10^{-4} \sum v_{max}^2 \quad (1)$$

Itt v_{max} a 6 óránként vett szélsősebesség csomóban (kt), amikor az adott ciklon legalább trópusi viharok megfelelő erősségű, tehát $v_{max} \geq 34$ kt (Bell et al., 1999). Az indexnél a ciklonok erőssége mellett nagy szerepet játszik azok élettartama is, ugyanis egy hosszabb ideig fennálló, de gyengébb ciklonnál akár magasabb is lehet a végösszeg, mint egy erős, de rövid ideig tartó példánynál. A medikánok esetében ez ugyanakkor nem okoz számottevő eltéréseket a maximális intenzitásuk alapján vett rangsorhoz képest, mivel a hosszabb életű ciklonok általában erősebbek is voltak egyben. A vizsgált ciklonokra számított ACE értékeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A vizsgált medikánok akkumulált ciklon energiája (ACE).

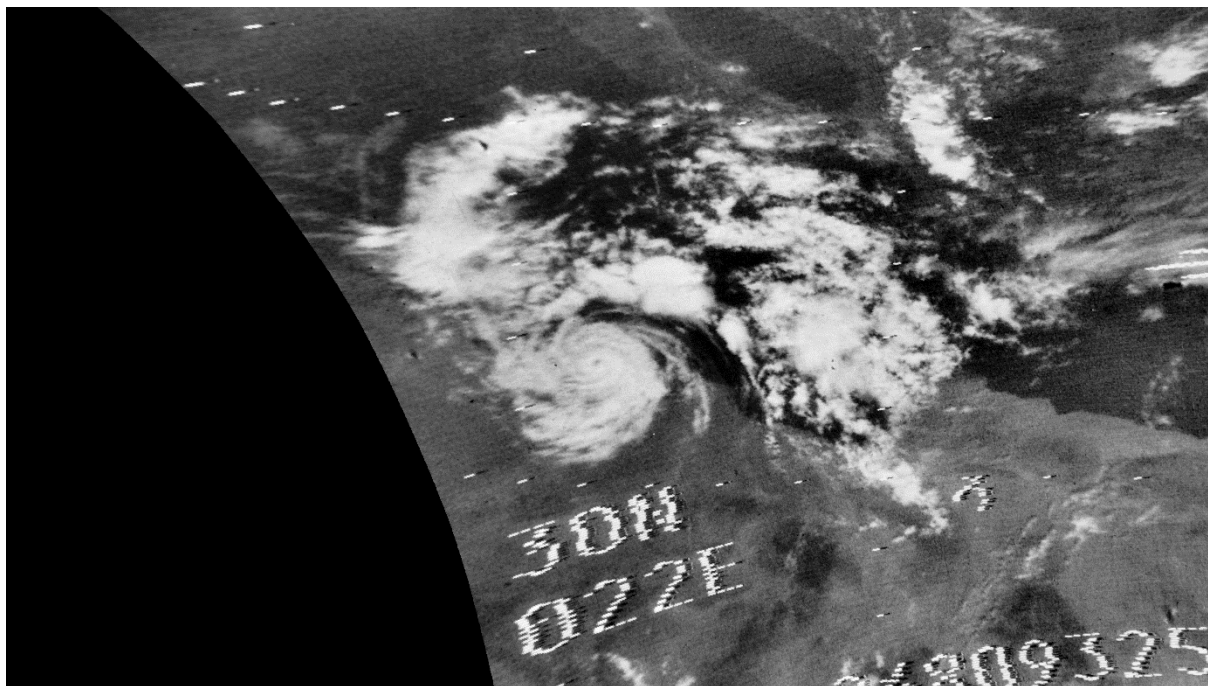
Név (sorsz.)	ACE	Név (sorsz.)	ACE	Név (sorsz.)	ACE	Név (sorsz.)	ACE
Janet (1)	1,06	Numa (6)	1,58	Masinissa (11)	0,77	Juliette (16)	0,86
Rolf (2)	1,77	Otilie (7)	0,44	Andira (12)	1,53	Daniel (17)	2,93
Qendresa (3)	1,25	Zorbas (8)	2,26	Apollo (13)	3,49	Avgi (18)	0,57
Xandra (4)	0,69	Detlef (9)	0,61	Blas (14)	1,30		
Trixie (5)	1,66	Ianos (10)	5,78	Ciprian (15)	1,26		

A „leg”-ek

Ahogy már említésre került, az időszakban előfordult legerősebb medikán a 2020. szeptemberi Ianos volt. Ennek elemzését korábbi írásunkban már részletesen bemutattuk (Hérincs & Dezső, 2022), illetve a nemzetközi szakirodalom is sokat foglalkozott vele. A ciklon konvektív fejlettségét mikrohullámú tartományú műholdas mérésekkel (Lagouvardos et al., 2022; D’Addelio et al., 2022) és WRF modell segítségével (Prat et al., 2021) vizsgálva elmondható, hogy a konvekció tér- és időbeli eloszlása megegyezett a trópusi ciklonoknál tapasztaltakkal, vagyis a ciklon fejlődő szakaszában a központ közelében alakultak ki intenzív, fagyott hidrometeorokat nagyobb arányban tartalmazó és ezáltal több villámot produkáló zivatarfelhők, míg a ciklon érett fázisában ezek már inkább a külső csapadékkarokban voltak jelen, és a szem körül kevesebb jeget tartalmazó, de intenzív csapadékot produkáló felhőzet alakult ki, jellegzetes „meleg” – alacsonyan képződő, és gyorsan ki is hulló – esővel. Az akkumulált ciklon energiát tekintve szintén a Ianos ciklon produkálta a legmagasabb, 5,78-as értéket, ami annak tükrében nem meglepő, hogy a ciklon nem csak a legerősebb, hanem a második leghosszabb élettartamú is volt.

A leghosszabb élettartamúnak a 2022. októberi Apollo medikán bizonyult, mely az átalakulása után rövid időre ugyan elvesztette szubtrópusi jellegét, mielőtt ismét azzá alakult, de még ezt a köztes 18 órás időszakot levonva is az első helyen állna. Habár a ciklon a jelentősebb szélnyírás miatt élettartamának legnagyobb részében csak gyenge szubtrópusi vagy trópusi viharnek megfelelő, 65-85 km/h-s szélsébségeket produkált, a trópusi átalakulása után, október 29-én néhány óra alatt átmenetileg jelentősen megerősödött, és megközelítette az 1-es kategóriájú hurrikán fokozatot 110 km/h-s becsült csúcsintenzitással. Ezután viszont gyorsan legyengült, ami részben annak a trópusi ciklonok esetén is többször tapasztalható jelenségnek volt köszönhető, hogy a megerősödése idején átmenetileg szinte stacionáriussá vált, és ez által a mélyebb rétegekből felkeveredő hidegebb víz lehűtötte körülötte a tengerfelszínt, lecsökkentve a látens hő utánpótlását (Menna et al., 2023). Az ACE index ennél a ciklonnál volt a második legmagasabb, 3,49-es értékkel. A legrövidebb élettartamú a Detlef ciklon volt, mely szubtrópusi viharként egy napig sem tartott ki. Ennek egyrészt korai partot érése volt az oka, mivel már Algéria közelében alakult át, másrészt viszont egy tőle keletre kimélyülő mediterrán ciklon áramlási rendszerébe, ezzel pedig számára kedvezőtlen légköri hatások alá kerülve feltehetőleg akkor sem lett volna sokkal hosszabb életű, ha a víz felett maradt volna.

Szomorúbb aspektusból tekintve ki lehet emelni a legpusztítóbb medikánokat is. Habár ezek a légörvények többnyire kis méretűek, a ciklonközpontban és a peremterületeken elhelyezkedő csapadékmezők gyakran okoznak intenzív esőzéseket, melyek a hegyvidékekkel tagolt mediterrán partvidékeken fokozzák a villámárvizek kockázatát. Így a legtöbb kárt általában nem a szél, hanem a víz okozza, ahogy ez például a Ianos esetén is történt Görögországban (Zekkos et al., 2020), de hasonlóan nagy áradásokat idéztek elő az országban a Numa és a Zorbas ciklonok is. Az egyik elsőként dokumentált, de a saját adatbázisban nem szereplő, 1969 szeptemberében kialakult medikán (2. ábra) Algériában és Tunéziában okozott az ott megszokottnál sokszorososan több csapadékot (Winstanley, 1970). Az árvizek több, mint 600 áldozatot követeltek, mellyel sokáig ez számított a legpusztítóbb medikánnak, a 2024 szeptemberében létrejött Daniel medikán azonban átvette ezt a nem túl szép jelzőt.

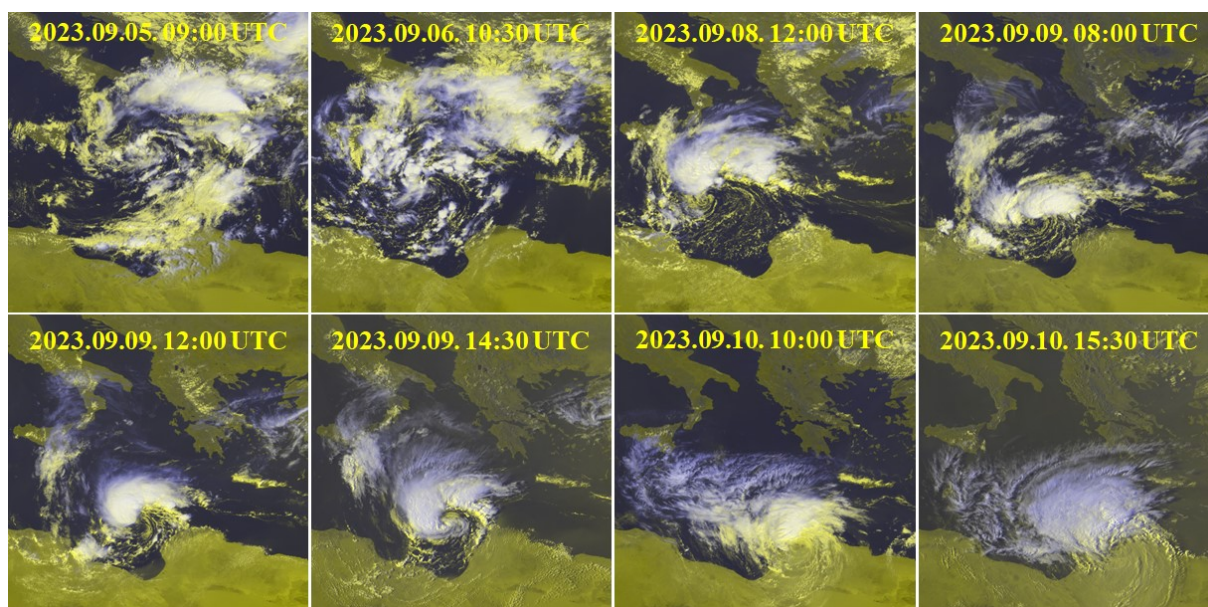


2. ábra: Az 1969-es medikán Tunézia és Líbia partvidékén, jól fejlett struktúrával (NASA EarthData, a kép letöltve: [2 – storm2k]).

A Daniel medikán

Aktualitása és károkozása révén a Daniel medikán részletesebben bemutatásra kerül. A ciklon a klasszikus trópusi átalakulás folyamatát követte, melyet műholdképek segítségével a 3. ábra szemléltet. Előzménye ugyanis egy magassági hidegörvény és egy hozzá kapcsolódó gyenge ciklonális mező volt, mely a Nyugat- és Közép-Európában szeptember elején kiépülő Omega-blocking keleti szárán elhelyezkedve több napra a Jón-tenger felett rekedt. A korai időpont és a megelőző igen meleg nyár miatt a Földközi-tenger rendkívüli mértékben felmelegedett, a tengerfelszín-hőmérséklet a Földközi-tenger középső medencéjében sokfelé elérte a 27-28 °C-ot. A meleg tenger fölé helyeződő magassági hidegörvény révén nagy mértékű instabilitás alakult ki, mely elsősorban annak északi és keleti oldalán intenzív és tartós, rendszerbe szerveződő zivatarokat generált, melyek a szinte stacionárius konvergencia-zónák mentén 4-étől 7-éig helyenként igen jelentős, több 100 mm csapadékot okoztak Görögországban és térségében. A leginkább érintett terület Thesszália volt, ahol a délkeleti, keleti áramlás miatt a nyugatra lévő hegyvonulat torlasztó hatása, illetve az Égei-tenger látens hője még inkább fokozta a csapadéktevékenységet. 5-én Portariában 761,9 mm csapadékot regisztráltak, mellyel megdőlt a valaha mért legnagyobb napi csapadékösszeg rekordja Görögországban – a korábbi, 664,7 mm-es érték a 2020-as Ianos medikánhoz volt köthető. Zagorában 5-én 759,6 mm eső esett, és itt az 5 napos csapadékösszeg (szeptember 4. és 8. között) elérte az 1096,2 mm-t. A rendkívüli csapadék hatására súlyos áradások sújtották a térséget, melyek következtében Görögországban 17-en, Törökországban 7-en, Bulgáriában pedig 4-en veszítették életüket. A ciklon a meleg víz felett 7-én szubtrópusi, majd 9-én trópusi struktúrát öltött, de addigra délebbre helyeződött, megközelítve Líbiát. A sivatag felől érkező szárazabb légtömeg bekeveredése megakadályozta, hogy a medikán jelentősebben megerősödjön, de így is erős trópusi vihar lett, rövid időre szervezett, csavarodó konvektív struktúrát kialakítva. A ciklon 10-ére virradóan érte el Líbiát Bengázitól kissé északra, és eleinte nem gyengült számottevően a szárazföld felett. Az áramlási viszonyoknak köszönhetően ráadásul egy újabb jól szervezett, hosszan fennálló konvektív csapadéktömb alakult ki a partok mentén, a közeli

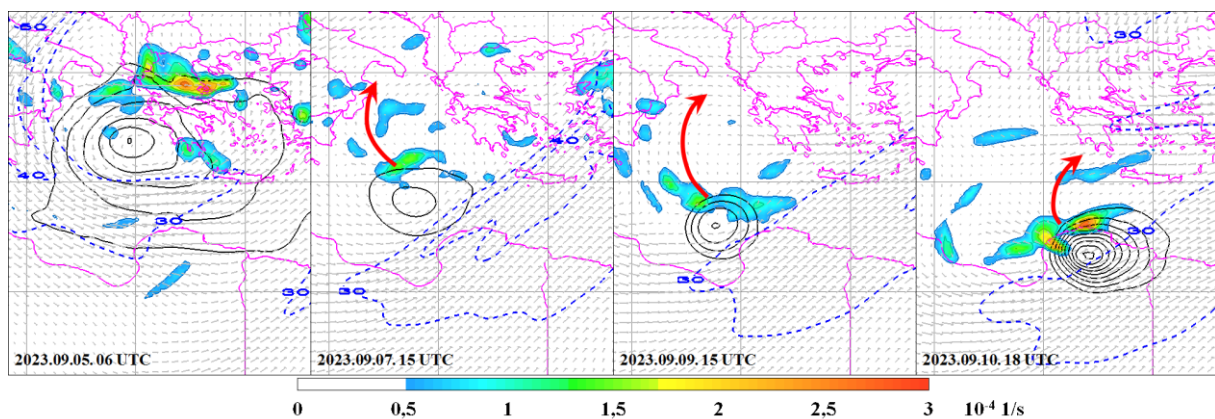
meleg víz és a part közelében húzódó Jebel Akhdar hegyvonulat torlasztó hatásának összjátékaként. A hegységben fekvő városokban több helyen mértek 100 mm körüli vagy feletti csapadékot, a legtöbbet, 414,1 mm-t Al-Bajdán. A hirtelen lezúduló csapadék hatására a hegységből lefutó, az év ezen időszakában általában száraz időszakos vízfolyásokon jelentős árhullám vonult le. Ez leginkább Derna városát sújtotta, ahol az azt átszelő Wadi Derna folyó felsőbb szakaszán ugyan két védőgátat is építettek korábban, de ezek nem bírták a jelentős víztöbbletet, és mindkettő átszakadt. A megáradt folyam a part menti épületeket, tereptárgyakat a Földközi-tengerbe sodorta, emellett pedig több környező területet vastag sár és iszap temetett be. A város körülbelül 25%-a teljesen megsemmisült, és a katasztrófát fokozta, hogy az áradat éjjel érkezett, így a legtöbb embernek esélye sem volt a menekülésre. A halottak száma pontosan nem ismert, de legalább 5000-es nagyságrendű, a becslések szerint pedig akár 10-20 ezer közötti is lehet [3 – Zivipötty].



3. ábra: A Daniel medikán életútja 2024. szeptember 5. és 10. között [4 – EUMETSAT].

A ciklon ERA5 reanalízis adatokkal (Hersbach et al., 2023) elvégzett szinoptikus vizsgálata is megerősítette annak trópusi jellegét az átalakulása után, bár gyengébb baroklin hatások még akkor is fennálltak. Ezek részben a délkeletre elhelyezkedő gyengébb, a 250 hPa-os nyomási szinten 30-40 m/s-os szelet produkáló futóáramláshoz, részben a korábban a ciklon feletti, de az átalakulása után már attól nyugatra elhelyezkedő, gyengülő magassági hidegörvényhez voltak köthetők. A ciklon viszont saját áramlási rendszert alakított ki, melyet jól mutatott a felette megjelenő tartós magassági divergencia és a magassági szélmezőben tőle északra kialakuló pólusirányú szétáramlási csatorna. A divergens terület ráadásul a délkeletre húzódó jet-mag bal belépő zónájának területén jött létre, ami a jet cirkulációja révén inkább konvergens áramlásokat szokott generálni a magasban. A divergencia 250 hPa-on általában $1-1,5 \times 10^{-4}$ 1/s körüli értékeket vett fel, de az intenzívebb zivatarok, zivatarrendszerek felett a ciklon korai és trópusi időszakában is megjelentek $2,5-3 \times 10^{-4}$ 1/s közötti értékek is. A 4. ábrán a magassági szél és divergencia mellett szerepel a 925 hPa-os szinten vett geopotenciál-mező is (az izovonalakat $7200 \text{ m}^2/\text{s}^2$ -től kezdődően csökkenve, $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$ -es értékekkel ábrázolva), a ciklon pozíciójának meghatározhatósága végett. Ezen túl azonban ez a paraméter a ciklon jellegéről és erősségéről is nyújt információt. 5-én a központban ugyan kevéssel $6700 \text{ m}^2/\text{s}^2$ alatti geopotenciál érték mutatkozott, az izovonalak egymástól távol helyezkedtek el, az alacsony szinteken gyenge nyomási gradiensre, ez által pedig szélre utalt. Az átalakulás során átmenetileg gyengült a ciklon,

7000-7100 m^2/s^2 közé emelkedett a centrumában geopotenciál, a trópusi időszakban viszont visszaerősödött, és ekkor a trópusi jellegnek megfelelően már jóval sűrűbbek voltak az izovonalak. 10-én napközben, már a partot érés után a geopotenciál-mezőben és több más paraméterben is szokatlan erősödés mutatkozott meg, ami kisebb mértékben néhány, a ciklon valós idejében futatott modellnél is megjelent. A reanalízis esetén – több más medikánhoz hasonlóan – feltételezhető, hogy a kevés elérhető mérési adat miatt az nem reprezentálta megfelelő mértékben a ciklon megerősödését 9-én, még a partot érés előtt. A 10-ei folyamatokat mindazonáltal magyarázhatták a ciklogenezishez/erősödéshez kedvező hatások is, így a Jebel Akhdar hegyvonulaton átbukó örvényességi mező, valamint a hegység leoldalán erősen felmelegedő sivatag, ami (például az Atlasz-hegységtől délre) gyakran elő szokta segíteni termikus depressziók kialakulását (Maheras et al., 2001), és a medikán nappali érkezési ideje egybe is vágott e hatás maximális intenzitásával. A ciklonközpont közeléből ekkor nem voltak elérhetőek mérési adatok, melyek megerősíthették volna a ciklon tényleges erősödését, ám a part menti városok szél- és légnyomás-adatai, valamint az ASCAT és SMAP műholdas szenzorok szélmérési alapján az esti órákig semmiképpen sem változott számottevően a medikán intenzitása a partot éréshez képest [3 – Zivipötty].

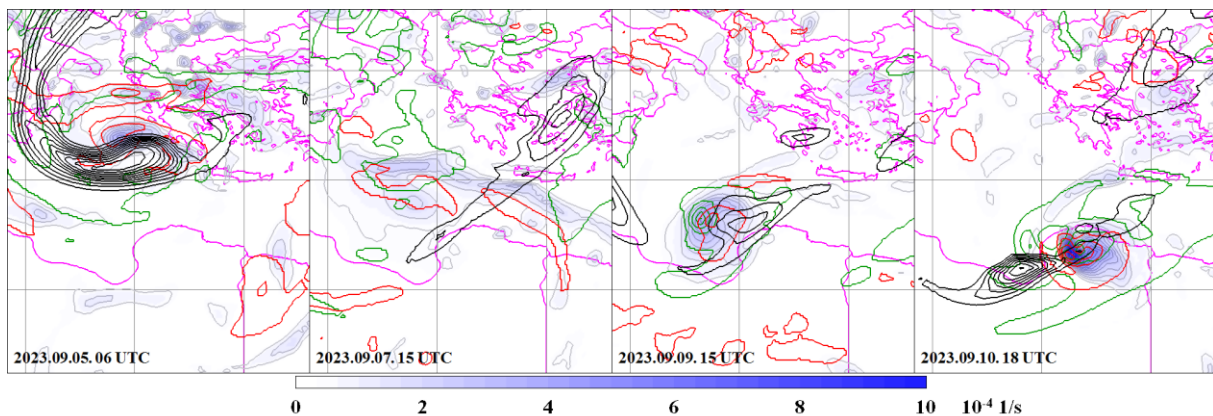


4. ábra: A 250 hPa-os divergencia (színes területek, valamint vonalak 5×10^{-5} $1/\text{s}$ értékközökkel), a 250 hPa-os szélmező (szürke nyilak) és szélereőség (szaggatott kék vonalak, 30 m/s -tól), továbbá a 925 hPa-os geopotenciál-mező (fekete vonalak 100 m^2/s^2 értékközökkel, 7200 m^2/s^2 -tól csökkenve) a Daniel ciklon környezetében a jelzett időpontokban.

A vastag piros nyilak a pólusirányú szétáramlást jelzik.

A Daniel ciklon átalakulási folyamata jól végigkövethető volt a relatív és potenciális örvényességi mezők alapján is, melyet az 5. ábra mutat be. A leszakadó hidegörvény peremén 300 hPa-on (fekete vonalak) északról egy határozott, 10 PVU (potential vorticity unit, $1 \text{ PVU} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ K s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) egységnyi maximummal rendelkező potenciális örvényességi szalag nyúlt le a térségbe. Hasonló magassági örvényességi mezők jelenlétét és pozitív hatását több medikán esetén is kimutatták már fejlődésük kezdeti, mérsékelt övi időszakában, mely esetenként hozzájárult a „szülőciklon” gyors megerősödéséhez is (Carrió et al., 2017; Mazza et al., 2017; Miglietta & Rotunno, 2019). Jelen esetben a kezdeti ciklon nem erősödött meg számottevően, melyhez az is hozzájárulhatott, hogy a területén nem alakult ki jelentős hőmérséklet-különbség, valamint a magassági potenciális örvényességi anomália is gyorsan legyengült, illetve keletebbre helyeződött. A ciklon átmeneti időszakában, 7-én 300 hPa-on nem volt analizálható a közelében potenciális örvényességi anomália, és 500 hPa-on (piros vonalak), illetve 700 hPa-on (zöld vonalak) is csak gyenge, 1 PVU körüli potenciális örvényesség mutatkozott. A 850 hPa-os relatív örvényesség 5-én a ciklon központjában $3,5-4 \times 10^{-4}$ $1/\text{s}$ közötti volt, 7-ére azonban $1,5-2 \times 10^{-4}$ $1/\text{s}$ közé csökkent, akkor a legnagyobb, $2-2,5 \times 10^{-4}$ $1/\text{s}$ közötti örvényesség a ciklon északi és keleti oldalán

hosszan elnyúló zivataros sávban jelent meg. A trópusi átalakulás után, 9-én délutánra a relatív örvényesség ismét $3,5\text{--}4 \times 10^{-4} \text{ 1/s}$ közé növekedett, a korábban említett szárazföld feletti erősödés pedig ebben a paraméterben is markánsan megmutatkozott, az örvényességi maximum elérte a $9\text{--}10 \times 10^{-4} \text{ 1/s}$ értéket. Ebben az időszakban a 700 és 500 hPa-os potenciális örvényesség szintén megnövekedett a ciklonközpont körül, mely már a konvekcióból eredő látens hőfelszabadulás révén kialakuló meleg mának volt köszönhető, melyet az örvényesség és az ekvivalens potenciális hőmérséklet (itt nem bemutatott) vertikális metszetei is megerősítettek. A közeli futóáramlás hatására ugyanakkor 9-én megjelent egy 2-3 PVU egységnyi potenciális örvényességi mező 300 hPa-on a ciklontól közvetlenül keletre, másnap pedig a nyugati oldalán lévő, a szélmezőben a 4. ábrán is megfigyelhető kis magassági hidegörvény központjában a 8 PVU egységet is elérte az örvényességi maximum.



5. ábra: A 850 hPa-os relatív örvényesség (kéken színezett területek, valamint vonalak $5 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ értékközzökkel), valamint a 300 hPa-os (fekete vonalak), az 500 hPa-os (piros vonalak) és a 700 hPa-os (zöld vonalak) potenciális örvényesség 1 PVU értéként a Daniel ciklon környezetében a jelzett időpontokban.

Összefoglalás

Doktori munkám eddigi részében medikánok szinoptikai elemzését végeztem el valós idejű, szárazföldi és műholdas mérési adatok, illetve reanalízis adatok segítségével, egy adatbázist létrehozva. A vizsgálat során olyan kulcsparaméterekre fókuszáltam, melyek jelentősebb eltéréseket mutatnak mérsékelt övi, szubtrópusi és trópusi ciklonok esetén, így ezek segítségével a jövőben egy kategorizálási rendszer létrehozását tervezzük. Ahogy azonban az itt bemutatott Daniel ciklon példája is mutatja, még az egyértelműen trópusi karakterisztikával rendelkező ciklonok esetén is többször fennállnak olyan baroklin folyamatok, melyek hatással vannak a medikánokra. Ez ugyanakkor nem szokatlan a bevezető részben említett, trópusi átalakulással keletkező atlanti ciklonoknál sem, hiszen akár csak a medikánok, azok is a nyugati áramlási öv peremén helyezkednek el, így az onnan délebbre sodródó teknők, leszakadó magassági örvények szintén hatással vannak rájuk. Míg azonban ott nagy nyílt vízfelület áll rendelkezésre, a medikánok esetén a Földközi-tenger tagolt partvonala gyakran gátat szab a hosszú életüknek és jelentősebb megerősödésüknek. A jövőben a ciklonok vizsgálatát WRF modellel végzett szimulációkkal is szeretnénk kiegészíteni, ami segíthet jobban rekonstruálni, megérteni a kialakulásuk során végbemenő fizikai folyamatokat.

Hivatkozások

- Bell, G.D., Halpert, M.S., Schnell, R.C., Higgins, R.W., Lawrimore, J., Kousky, V.E., ... & Artusa, A., 1999: Climate Assessment for 1999. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(6): S1-S50. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)81\[s1:CAF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)81[s1:CAF]2.0.CO;2)
- Brown, D.P., 2021: Subtropical Storm Alpha (AL242020). Tropical Cyclone Report of the National Hurricane Center, https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL242020_Alpha.pdf
- Callaghan, J., Smith, R.K., 1997: The relationship between maximum surface wind speeds and central pressure in tropical cyclones. *Australian Meteorological Magazine*, 47(3): 191–202.
- Carrió, D.S., Homar, V., Jansa, A., Romero, R., Picornell, M.A., 2017: Tropicalization process of the 7 November 2014 Mediterranean cyclone: Numerical sensitivity study. *Atmospheric Research*, 197(1): 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.07.018>
- Dafis, S., Rysman, J-F., Claud, C., Flaounas, E., 2018: Remote sensing of deep convection within a tropical-like cyclone over the Mediterranean Sea. *Atmospheric Science Letters*, 19: e823. <https://doi.org/10.1002/asl.823>
- Dafis, S., Claud, C., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Rysman, J-F., 2020: Insights into the convective evolution of Mediterranean tropical-like cyclones. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(733): 4147–4169. <https://doi.org/10.1002/qj.3896>
- Davis, C.A., Bosart, L.F., 2003: Baroclinically induced tropical cyclogenesis. *Monthly Weather Review*, 131(11): 2730–2747. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<2730:BITC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<2730:BITC>2.0.CO;2)
- Davis, C.A., Bosart, L.F., 2004: The TT problem: Forecasting the tropical transition of cyclones. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(11): 1657–1662. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-11-1657>
- D'Adderio, L.P., Casella, D., Dietrich, S., Sano, P., Panegrossi, G., 2022: GPM-CO observations of Medicane Ianos: Comparative analysis of precipitation structure between development and mature phase. *Atmospheric Research*, 273: 106174. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106174>
- D'Adderio, L.P., Panegrossi, G., Dafis, S., Rysman, J-F., Casella, D., Sanò, P., Fuccello, A., Miglietta, M.M., 2024: Helios and Juliette: Two falsely acclaimed medicanes? *Atmospheric Research*, 299: 107179. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107179>
- González-Alemán, J.J., Valero, F., Martín-León, F., Evans, J.L., 2015: Classification and synoptic analysis of subtropical cyclones within the Northeastern Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 28(8): 3331–3352. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00276.1>
- Hérincs, D., Dezső, Zs., 2022: Mediterrán ciklonok trópusi jellegének vizsgálata. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, 34: 45–56. <https://doi.org/10.31852/EMF.34.2022.045.056>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., ... & Thépaut, J-N., 2023: ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), <https://doi.org/10.24381/cds.bd0915c6> (Accessed on 05-OCT-2023)
- Lagouvardos, K., Karagiannidis, A., Dafis, S., Kalimeris, A., Kotroni, V., 2022: Ianos – A hurricane in the Mediterranean. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(6): 1621–1636. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0274.1>
- Maheras, P., Flocas, H., Patrikas, I., Anagnostopoulou, C., 2001: A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution. *International Journal of Climatology*, 21: 109–130. <https://doi.org/10.1002/joc.599>
- Marra, A.C., Federico, S., Montopoli, M., Avolio, E., Baldini, L., Casella, D., ... & Panegrossi, G., 2019: The Precipitation Structure of the Mediterranean Tropical-Like

- Cyclone Numa: Analysis of GPM observations and numerical weather prediction model simulations. *Remote Sensing*, 11(14): 1690. <https://doi.org/10.3390/rs11141690>
- Mazza, E., Ulbrich, U., Klein, R., 2017: The tropical transition of the October 1996 medicane in the Western Mediterranean Sea: A warm seclusion event. *Monthly Weather Review*, 145(7): 2575–2595. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0474.1>
- Menna, M., Martellucci, R., Reale, M., Cossarini, G., Salon, S., Notarstefano, G., ... & Solidoro, C., 2023: A case study of impacts of an extreme weather system on the Mediterranean Sea circulation features: Medicane Apollo (2021). *Scientific Reports*, 13: 3870. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29942-w>
- Miglietta, M.M., Rotunno, R., 2019: Development mechanisms for Mediterranean tropical-like cyclones (medicanes). *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145(721): 1444–1460. <https://doi.org/10.1002/qj.3503>
- Panegrossi, G., D'Adderio, L.P., Dafis, S., Rysman, J-F., Casella, D., Dietrich, S., Sanò, P., 2023: Warm core and deep convection in medicanes: A passive microwave-based investigation. *Remote Sensing*, 15(11): 2838. <https://doi.org/10.3390/rs15112838>
- Prat, A.C., Federico, S., Torcasio, R.C., D'Adderio, L.P., Dietrich, S., Panegrossi, G., 2021: Evaluation of the sensitivity of Medicane Ianos to model microphysics and initial conditions using satellite measurements. *Remote Sensing*, 13(24): 4984. <https://doi.org/10.3390/rs13244984>
- Shapiro, M.A., Keyser, D., 1990: Fronts, Jet Streams and the Tropopause. American Meteorological Society Extratropical Cyclones, *The Erik Palmén Memorial Volume* 167–191. https://doi.org/10.1007/978-1-944970-33-8_10
- Tapiador, F.J., Gaertner, M.A., Romera, R., Castro, M., 2007: A multisource analysis of Hurricane Vince. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(7): 1027–1032. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-7-1027>
- Winstanley, D., 1970: The North African flood disaster, September 1969. *Weather*, 25(9): 390–403. <http://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1970.tb04128.x>
- Zekkos, D., Zalachoris, G., Alvertos, A.E., Amatya, P.M., Blunts, P., Clark, M., ... & Valkaniotis, S., 2020: The September 18-20 2020 Medicane Ianos Impact on Greece - Phase I Reconnaissance Report. Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Report, GEER-068 <https://doi.org/10.18118/G6MT1T>

Internetes hivatkozások

- [1 – infoclimat] <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/archives/7/novembre/2014/lampedusa-e-linosa-linosa/MNWSCL078.html?dixminutes>
- [2 – storm2k] <https://www.storm2k.org/phpbb2/viewtopic.php?p=2791907&sid=2e5421104be02a72d9a9fdbb610fad7c#p2791907>
- [3 – Zivipötty] <http://zivipotty.hu/daniel.html>
- [4 – EUMETSAT] <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

ORCID

Hérincs D.  <https://orcid.org/0009-0004-5691-7974>

Dezső Zs.  <https://orcid.org/0000-0003-1325-1303>