

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Az ECMWF ERA-Interim és ERA-20C reanalízisek összehasonlító vizsgálata

Diplomamunka



Készítette:

Balázs Zita Krisztina

Meteorológus mesterképzés

Éghajlatkutató szakirány

Témavezető:

Ihász István

Országos Meteorológiai Szolgálat

Konzulens:

Dr. Barcza Zoltán

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2017

Tartalomjegyzék

| | |
|---|-----------|
| Bevezetés | 3 |
| 1. A számszerű időjárás előrejelző modellek fejlődése | 5 |
| 2. Légköri reanalízisek..... | 7 |
| 2.1. Vizsgálataim során alkalmazott ECMWF reanalízisek áttekintése | 9 |
| 2.1.1. Az ERA-Interim (1979-napjainkig) | 9 |
| 2.1.2. Az ERA-20C (1900-2010) | 10 |
| 2.1.3. Az ERA5 (1979-napjainkig) | 11 |
| 3. ECMWF reanalízisekre alapozott vizsgálataim..... | 14 |
| 3.1. ERA-20C havi átlag térképek vizsgálata az 1901-2000, 1901-1950 és 1951-2000 időszakokban..... | 14 |
| 3.1.1. A vizsgálatok paraméterei | 14 |
| 3.1.2 A havi átlagos tengerszinti légnyomás mezők vizsgálata..... | 15 |
| 3.1.3 A havi átlagos tengeri jégborítottság mezők vizsgálat | 16 |
| 3.1.4 A havi átlagos tengeri jégborítottság variancia mezőinek vizsgálata | 18 |
| 3.2 Az ERA-20C és ERA-Interim összehasonlító vizsgálata az 1981-2010 közötti 30 éves időszak alapján... | 20 |
| 3.2.1. A vizsgálatok paraméterei | 20 |
| 3.2.2 Statisztikai vizsgálat | 22 |
| 3.3. A viharciklonok, mint extrém időjárási jelenségek bemutatása | 23 |
| 3.3.1. A 2007. januári Kyrill viharciklon vizsgálata | 24 |
| 3.3.2. Viharciklonok statisztikai vizsgálata | 26 |
| 3.3.2.1. Viharciklonok havi bontású vizsgálata..... | 26 |
| 3.3.2.2. Viharciklonok statisztikai vizsgálata az 1921 és 2010 közötti időszakban az ERA-20C alapján..... | 31 |
| 3.3.2.3. Viharciklon gyakoriság vizsgálatok az 1951-2010 időszakban az ERA-20C alapján | 34 |
| 3.4. Az ERA5 és az ERA Interim összehasonlító vizsgálata..... | 39 |
| 3.4.1. ERA5 havi mezők vizsgálata (2016 január– 2016 február)..... | 39 |
| 3.4.2. Az ERA5 és az ERA-Interim összehasonlítása esettanulmányokon keresztül | 41 |
| Összefoglalás | 43 |
| <i>Köszönetnyilvánítás</i> | <i>47</i> |
| <i>Irodalomjegyzék.....</i> | <i>48</i> |
| 1. Függelék..... | 50 |
| 2. Függelék..... | 54 |

Bevezetés

A XX. század folyamatos technikai fejlődésének köszönhetően a század végére komoly fejlődésen mentek keresztül mind a numerikus előrejelzési modellek, mind azok analízisei, és előrejelzései. Ezzel együtt a globálisan működő, meteorológiai mérőhálózatok által szolgáltatott adatok is precízebben kerültek felhasználásra, mint azelőtt, ezáltal segítve az előrejelző modellek pontosságát.

Mindennek köszönhetően az 1990-es években igény termelt arra, hogy a már modernebb lehetőségek tárházát kihasználva ellenőrizzék az eddig elkészített modellek eredményeit és így pontosabb képet alkossanak a légkör múltbeli állapotáról. Ennek az igénynek a kiszolgálásaképpen jelentek meg a reanalízisek, melyek segítségével nem csak a légkör állapotát tudják precízebben reprezentálni a szakemberek, hanem az előrejelző modellek hibáiról is pontosabb képet kapnak.

Az évek során a technika további előrelépéseinek és az adat-asszimilációs módszerek fejlődésének köszönhetően több reanalízis projekt is létrejött. Munkám során az ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts - Középtávú Időjárás-előrejelzések Európai Központja) két legmodernebb reanalízisének (ERA-20C, ERA-Interim) komplett, összehasonlító vizsgálatát végzem el.

Diplomamunkámban a számszerű időjárás előrejelző modellek rövid történeti áttekintését követően a reanalízis fejlesztések legfontosabb okait mutatom be. Ezután áttekintem az ECMWF által készített reanalízisek fejlődési menetét egészen az első generációs reanalízisektől a napjainkban fejlesztett ötödik generációsig. Ezt követően a vizsgálataim során használt reanalízisek részletes tárgyalása következik majd. Fontosnak tartom az ERA-Interim és ERA-20C mellett a jelenleg még fejlesztés alatt álló ERA5 reanalízis bemutatását is, mely több szempontból is újszerű megoldás lesz a reanalízisek palettáján.

Első lépésként az ERA-20C alapján a kiválasztott paramétereket (tengerszinti légnyomás, tengeri jégborítottság) három időszakra (1901-2000, 1901-1950 és 1951-2000) bontom és vizsgálom. Majd az ERA Interim és az ERA-20C együttes időszakából vizsgálom az 1981-2010 között harminc évet felölelő időszakot, melyet közös statisztikai vizsgálatnak vetek alá. Számos, fontosnak tartott meteorológiai paraméter vizsgálatát végzem

diplomamunkám ezen részében, melyek a következők: tengerszinti légnyomás, 850 hPa hőmérséklet, 500 hPa magasság.

Munkám másik fontos célja volt, hogy egy kiválasztott időjárási jelenségen keresztül is bemutassam a két reanalízist, mint adatbázist. Mivel napjainkban jelentős veszélyt jelentenek, egyre nagyobb hangsúlyt kap a viharciklonok pontosabb előrejelzése. Ennek nyomán egy alfejezetben tárgyalom eme jelenségek jellemzőit, majd egy esettanulmányon keresztül mutatom be a Kyrill 2007-es viharciklont.

Az ERA-20C és az ERA-Interim közös időszakából az 1981 és 2010 közötti harmincéves időszakban statisztikai eszközökkel vizsgálom a viharciklonok gyakoriságát és térbeli elhelyezkedését. A statisztikai vizsgálataim során az ERA-20C alapján három időszakra bontottan vizsgálom a kiválasztott viharciklonok gyakoriságát és térbeli elhelyezkedését. A vizsgált időszakok: 1921-1950, 1951-1980 és 1981-2010. Majd végül gyakoriság vizsgálatnak vetem alá az 1951 és 2010 közötti hatvanéves időszakot, ugyancsak az ERA-20C adatai alapján.

Végül – az előreláthatólag két év múlva operatív bevezetésre kerülő – ERA5 vizsgálatát végzem el az ERA-Interimmal összehasonlítva a 2016. novemberben publikusan elérhetővé vált 2016. január februári időszak adatai alapján. Céлом ebben az esetben, hogy bemutassam milyen újításokkal rendelkezik majd az ERA5 reanalízis.

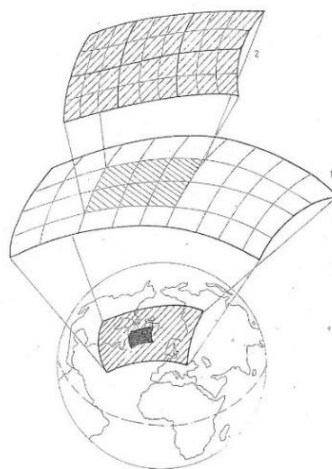
Munkám célja, hogy komplex összehasonlító vizsgálat sorozat segítségével pontosabb képet alkothassunk a két reanalízis előnyeiről és hátrányairól, lássuk azt melyek, azok az adottságok melyekben az egyik előnyösebb, mint a másik és fordítva. Céлом az volt, hogy a diplomamunka eredményei segítségével szolgálhassanak majd abban, hogy a két reanalízis külön-külön és együttes felhasználással is jó teljesítményt nyújthasson az általuk leginkább kiszolgálható szakterületeken.

1. A számszerű időjárás előrejelző modellek fejlődése

J. G. Charney 1948-ban megalkotta a légköri mozgások nagyságrendi analízisének módszerét, melynek eredményeképpen lehetővé vált a meteorológiai egyenletekből a feleslegesnek tekinthető hullámok kiiktatása. Ezzel egy időben az első számítógépek megjelenésekor azonnal felismerhetővé vált meteorológiai hasznuk, a kézi számítási kapacitást meghaladó előrejelzői feladatok megoldásában (*Charney et al.*, 1950). Mindezeknek köszönhető az 1950-es évek közepére létrejött az első gyakorlati célra is alkalmazható, számszerű előrejelzési módszer, azaz az időjárás folyamatokra megfelelően szelektív, és számítástechnikailag is kezelhető dinamikus előrejelzési modell (*Práger*, 1982).

A kezdeti irány a nagyobb térséget felölelő előrejelzési modellek megalkotása volt, 300 km-es felbontással. Bár az igény természetesen megvolt, a kisebb térségű időjárás folyamatok megfigyelésére és előrejelzésére is, ehhez azonban a modellekben alkalmazott 300 km felbontású rácshálózatot sűríteni kellett, amely azonban akkor lehetetlen mértékűre növelte az előrejelzés számítási igényét.

Szerencsére a számítógépes technika gyors és magabiztos fejlődése az 1970-es években már lehetővé tette a regionális modellek megjelenését is. Ennek köszönhetően kisebb térségre is megkezdődött a rácsteleszkopizáció módszerével a modellek általi előrejelzés készítése (1. ábra). E módszer lényege, hogy a félgömbi, nagytérségű előrejelzéseket felhasználva oldják meg a tetszőlegesen kiválasztott kisebb térségre, sűrűbb rácshálózatban az előrejelzési feladatot.



1. ábra: A rácsteleszkopizáció alapgondolata (*Práger*, 1982)

A XX. század második felében a rohamos technikai fejlődés a légköri állapothatározók egyre pontosabb mérését tette lehetővé. Mind a számítógépek egyre nagyobb és gyorsabb adatfeldolgozó-képessége, mind az olyan innovációs lehetőségek, mint a meteorológiai műholdak egyre nagyobb számú megjelenése elősegítette mind a szinte teljes globális lefedettséget, mind a légkör állapotának egyre precízebb vertikális megfigyelését. Mindezek az előrelépések az előrejelző modellek pontosságát segítették (*Woods, 2006*).

2. Légköri reanalízisek

A XX. század végére az előrejelző modellek rendkívül fejletté váltak. Azt is kijelenthetjük, hogy az 1990-es évekre a meteorológiai mérőhálózat által szolgáltatott mérési adatok sokkal pontosabban kerültek felhasználásra, mint néhány évtizeddel ezelőtt, ráadásul az előrejelző modelleknél használt adat-asszimilációs módszerek is folyamatosan fejlődtek.

Így igény termelt arra, hogy az eddig elkészített modellek eredményeit leellenőrizve pontosabb képet kapjunk a légkör állapotáról. Ezt az igényt szolgálta ki a reanalízisek megjelenése, amely már a nevében is mutatja, hogy egy már létező folyamat megismétléséről van szó. A reanalízis készítése során az összes, eddig a múltban szerzett észlelés eredményét a fellelhető legkorszerűbb módszertan szerinti újra analizálással a lehető legjobb becslés készül a légkör múltbeli állapotáról, ráadásul az eddigi modellekben fellelhető hibák, eltérések is felszínre kerülnek.

A reanalízisek esetén az a mindenkori cél, hogy minden légköri paraméter konzisztens legyen mind időben, mind horizontálisan és vertikálisan a tér egy adott pontjában. Azaz hogy a lehető legtöbb megfigyelési adatot felhasználva, a lehető legmegbízhatóbb becslést tudják adni a légkör állapotáról. Emellett minden egyes új reanalízis megalkotása előrelépést jelent a megfigyelő rendszer adatállományaiban megjelenő szisztematikus hibák megértésére, amely ugyancsak egy a figyelembe veendő célok közül.

Csak valós, válogatott megfigyelések eredményeit használják fel a reanalízisek készítésekor. Nem csupán a szárazföldi mérőállomások adatait, hanem a geostacionárius és kvázipoláris műholdak, merülő bójkák, repülőgépek- és hajók mérőállomásainak adatait is felhasználják.

Számos feladatkörben dolgozó szakember igényei, vagy akár civilek érthető érdeklődése is kielégíthető a reanalízisek eredményei által. Mindazok számára, akik a korábbi megfigyelések eredményeit szeretnék korrigálni az éghajlat változásának pontosabb megértése érdekében (klimatológusok), vagy akik az előrejelző modellek további fejlesztéseiben fáradoznak, vagy akár akik saját alkalmazásuk elkészítése érdekében szeretnék teljes és koherens adathalmazokkal dolgozni.

Mivel a technikai fejlődés a mai napig folyamatosnak mondható, a meteorológiai modellek, így a reanalízisek tekintetében is állandó innovációs lehetőségek állnak rendelkezésre. Így minden reanalízis elkészítése után összegzendő, mik azok a szempontok amelyek jövőbeli fejlesztése elősegíthetné a modellek pontosságának növekedését.

Legelőször 1983-ban merült fel a reanalízis készítésének gondolata, hogy megfigyeljük, milyen hatással van az előrejelző rendszerek fejlődése magának az előrejelzésnek a pontosságára. Ezután 1988-ban vetődött fel újra az ötlet, de ekkor már a globális felmelegedés tanulmányozása céljából.

A legelső reanalízisek ennek ellenére csak az 1990-es évek elején készültek el az Amerikai Egyesült Államokban (*Kalnay et al., 1996*). Nem sokkal ezt követően készült el az ECMWF-ben ugyanazt a 15 éves időszakot lefedő reanalízis. időbeli lefedettségének megfelelően az ERA-15 nevet kapta, és 1979-1993 közötti időszakot öleli fel. Az első generációs reanalízisek 125-190 km-es felbontással szemben a mai reanalízisek maximális felbontása akár 25 km is lehet.

Az európai gyakorlattal összhangban a hazai kutatásokban döntően – a kiemelkedő minősége miatt – az ECMWF reanalíziseit szokták alkalmazni, így röviden áttekintem az ECMWF által készített reanalízisek fejlődési menetét. Az ERA-15-öt, az ERA-40, ERA-Interim és az ERA-20C követte. Jelenleg az ötödik generációs reanalízisek korát éljük, ebbe a csoportba tartozik az ERA5 (I. táblázat).

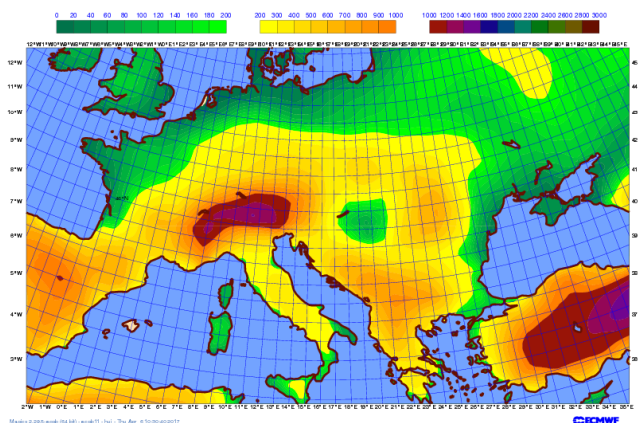
| | ERA-15 | ERA-40 | ERA-Interim | ERA-20C | ERA5 |
|--------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Időtartam | 1979-1993 | 1957-2002 | 1979- | 1900-2010 | 1979- |
| horizontális felbontás | 125 km | 125 km | 75 km | 125 km | 31 km |
| vertikális szintek száma | 31 szint | 60 szint | 60 szint | 91 szint | 137 szint |
| Adatasszimiláció | optimális interpoláció + 1D-var | 3D-var FGAT | 12h 4D-var | 24h 4D-var | 12h 4D-var |

I. táblázat: Az ECMWF reanalízis rendszerek főbb jellemzői

2.1. Vizsgálataim során alkalmazott ECMWF reanalízisek áttekintése

2.1.1. Az ERA-Interim (1979-napjainkig)

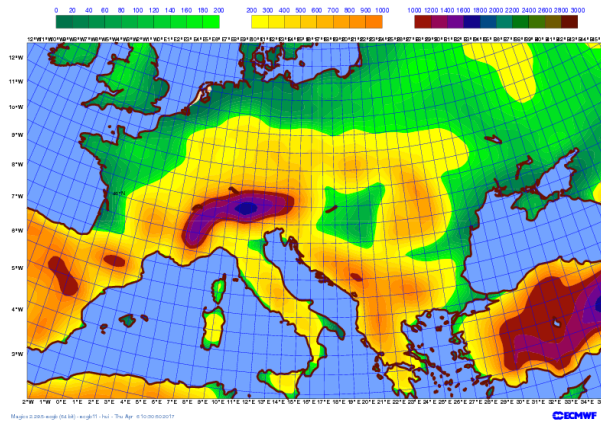
Az ECMWF 2003-ban számos intézménnyel együttműködve megalkotta, az 1957 szeptembere és 2002 augusztusa közötti 45 éves időszakot lefedő ERA-40 projektet (Kallberg *et al.*, 2004, Uppala *et al.*, 2005). A cél a folyamatosan fejlődő megfigyelő rendszerek és számítási erőforrások mellett a lehető legkiválóbb elemzéssorozat megalkotása volt. Ez méltán nagy kihívás volt, hiszen a reanalízis által felölelt években a felhasznált adatok tekintetében igen nagy változáson ment keresztül a globális megfigyelőrendszer. Az 1970-es évek óta egyre inkább teret nyertek a műholdas megfigyelések, a merülő bójják, vagy például a repülőgépes mérések eredményei. Érdekesség viszont, hogy az 1980-as évek második felétől a rádiószondás mérések népszerűsége hanyatlásnak indult. Az ERA-40 mezőit már nagyobb vízszintes felbontás (2. ábra) és nagyobb függőleges felbontás jellemezte a planetáris határrétegben és a sztratoszférában, mint elődjét (ERA-15).



2. ábra: az ERA-40 modelldomborzata

Az ERA-40 utódja az ezredforduló után 2006-ban kezdeményezett ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011). Ezt a projektet már a harmadik generációs globális reanalízisek csoportjába soroljuk. Készítése szempontjából több szakaszt is megkülönböztetünk, hiszen maga a projekt csak 2011-ben vált teljessé. Ettől kezdve már lefedte az 1979. januárjától egészen napjainkig tartó időszakot. Az ERA Interim vízszintes felbontása (3. ábra) jóval nagyobb, mint az ERA-40-é volt. Bár jól tudjuk, hogy már az 1960-as évektől léteztek meteorológiai

műholdak, az 1970-es évek végén újabb, sokkal korszerűbb és meteorológiai szempontból előnyösebb műholdak kerültek pályára. Ennek köszönhető az, hogy az ECMWF az 1979-es évet választotta az ERA-Interim projekt kiinduló pontjának. Jelenleg a reanalízis adatbázis havonta, két hónap késleltetéssel bővül.

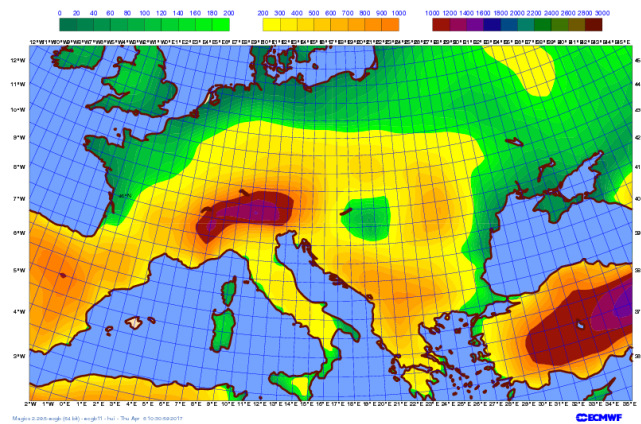


3. ábra: az ERA-Interim modelldomborzata

Sikerességét elősegítette számos fejlesztés, mint például a 4D-var adatasszimilációs módszer (*Rabier, 2000, Mahfouf, 2000, Klinker, 2000*) alkalmazása, mely modernebb és összetettebb volta miatt kiemelkedő fontosságúnak számított. Emellett még említendő fejlesztések voltak a műholdas adatok szigorúbb ellenőrzése és a páratartalom többszörösen felülvizsgált elemzése is. Utóbbinak köszönhetően például a párolgás és a lehullott csapadék mennyiségének különbsége az addigiakhoz képest még jobban közelített nullához, ezzel a hidrológiai ciklus elemzésében szignifikáns előrelépés mutatkozott (*Berrisford et al., 2011*).

2.1.2. Az ERA-20C (1900-2010)

Az ECMWF több más partnerrel együttműködve az Európai Unió 7. Keretprogramja keretében az ERA-CLIM2 projekt (*Dee and Calnan, 2014*) keretében 2011-2014-ben készítette el az egész XX. századot lefedő ERA-20C reanalízis rendszert (*Dee and Riddaway, 2014; Poli et al., 2014*) (4. ábra). Az 1900. január és 2010. december közötti időszakot lefedve három óras bontásban írja le a légkör állapotának térbeli és időbeli változásait.

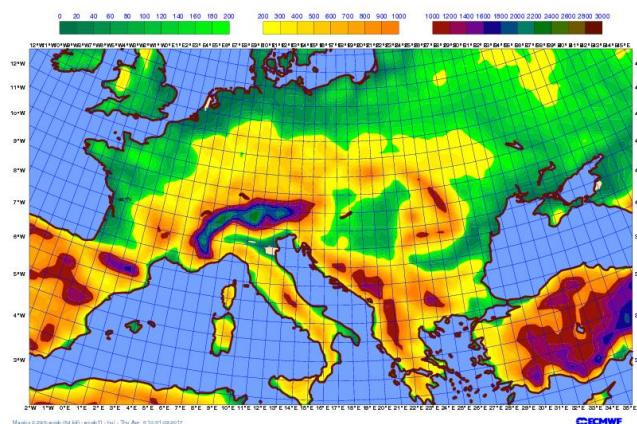


4. ábra: az ERA-20C modelldomborzata

2.1.3. Az ERA5 (1979-napjainkig)

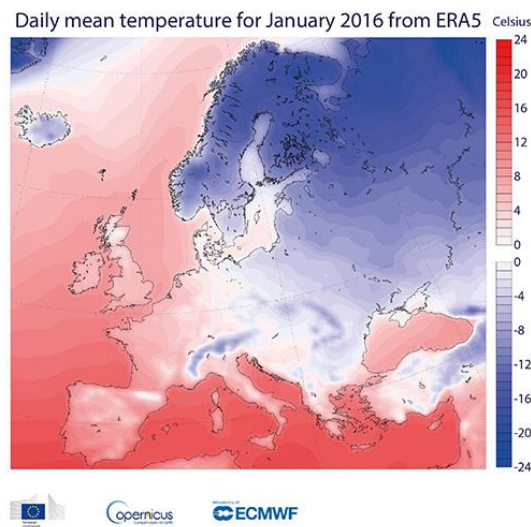
Az ERA5 az ECMWF globális éghajlatra készített reanalíziseinek sorában az ötödik generáció, s egyben az első reanalízis, amely kutatási projekt helyett operatív szolgáltatásnak készült (Hersbach and Dee, 2016, Hersbach et al., 2016).

Az általa szolgáltatott adatok tér- és időbeli felbontása jóval nagyobb, mint elődje az ERA-Interim esetén. A horizontális felbontás 75 km-es helyett már 31 km (5. ábra), az analízisek időbeli felbontás pedig 6 óra helyett 1 óra (6. ábra). Az ERA5 a föld felszínétől a 0,01 hPa-os nyomásszintig (nagyjából 80 km magasságig) terjedő tartományban 60 szint helyett már 137 szinten szolgáltat adatokat.

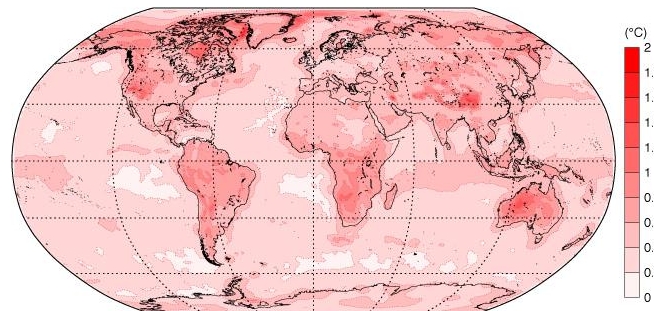


5. ábra: az ERA5 modelldomborzata

Újdonság, hogy az ensemble adatasszimiláció révén minden paraméter bizonytalanságára is kaphatunk információt 62 km-es vízszintes felbontásban három óránkénti intervallumokra bontottan. An ensemble adatasszimiláció alkalmazása lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy megállapíthassák, mekkora mértékű bizalommal kezelhetik a különböző paraméterek analíziseit különböző időpontokban és helyszíneken (7. ábra). Az ERA5 reanalízis során használt összes megfigyelési információ szintén a felhasználók rendelkezésére áll.



6. ábra: 2016. januári átlaghőmérséklet az ERA5 alapján [forrás: climate.copernicus.eu]

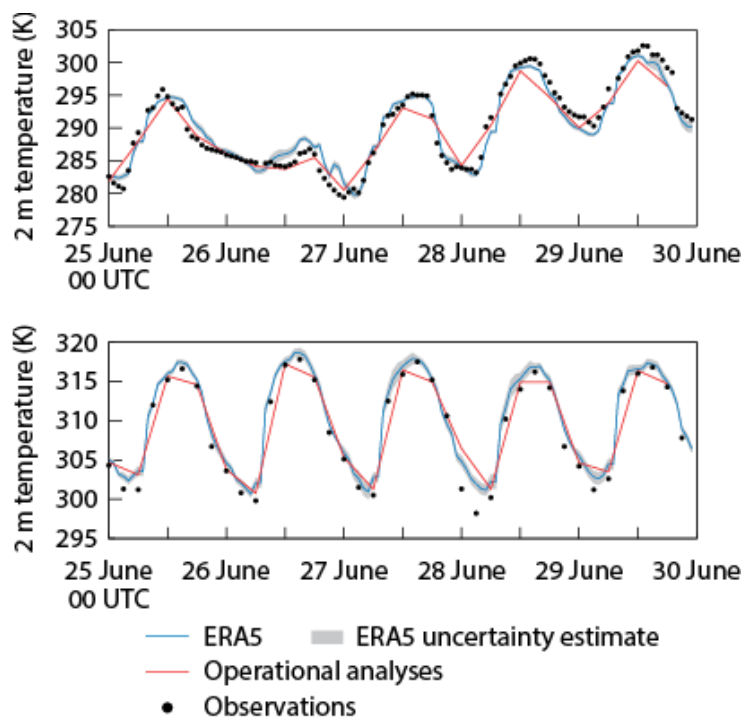


7. ábra: A 2 méteres szint hőmérsékleti mező analízisének átlagos bizonytalansága 2016 januárban az ERA5 reanalízisben. [forrás: www.ecmwf.int]

A megfigyelések jobb felhasználásával, a fizikai folyamatok javított leírásával és a lényegesen nagyobb felbontásnak köszönhetően az ERA5 az éghajlatváltozás monitorozásának új, globális adatállományát teremti meg. 2016 végén már rendelkezésre állt az ERA5 2016. január-februári két hónapos tesztidőszakot lefedő tesztadatbázisa. Az ERA5 teljes elkészülte nagyjából 2019-re várható. Az adatbázis az 1979-től kezdődő időszakot fedi

majd le, és folyamatosan frissülni fog az idő előrehaladtával. Az ERA5 végül fel fogja váltani az ERA-Interimet, amelynek fenntartása egyre nagyobb nehézségekbe ütközik (ECMWF, 2016).

A 8. ábra az óránkénti adatokat mutatja 2014. június 25. és 30. között az ECMWF operatív analízisei, illetve az ERA5 reanalízisei alapján. A 2 méteres hőmérséklet és az in situ megfigyeléseket hasonlítja össze az Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodne állomáson mért adatok alapján, mely Krakko mellett található Lengyelországban (koordinátái: 50.03°N, 20.25°E) (felül), illetve egy szaharai állomáson mért adatok alapján (koordinátái: 26,5 ° N, 8,42 ° E) (lent).



8. ábra: 2 méteres hőmérsékleti adatok és bizonytalansági értékek (szürke vonal) 2014. június 25. és 30. között az ERA5 alapján [forrás: www.ecmwf.int]

Az ERA5 adatasszimilációs rendszer az úgynevezett Integrated Forecast System (IFS Cycle 41r2) jelenlegi verzióját használja, kiegészítve a kifejezetten erre a reanalízisre fejlesztett funkciókkal. Ez a sok IFS rendszerbe integrált változtatás egy évtizednyi kutatás-fejlesztés eredménye a modellezésben és adat asszimilációban egyaránt. Ezek, az asszimilációs modellek bemeneti adatainak fejlődéséhez vezettek, melyek így megbízhatóbban tükrözik az éghajlati kényszerben mért változásokat éppúgy, mint a számos új, vagy újra feldolgozott megfigyeléseket az adatasszimilációban.

3. ECMWF reanalízisekre alapozott vizsgálataim

Az ERA-20C és ERA-Interim reanalízis adatokat GRIB file-ok formájában az ECMWF MARS archívumából (*Raoult, 2001*) töltöttem le. A vizsgált időszakok napi bontású adatai alapján térképes megjelenítő programokat készítettünk. A térképes megjelenítésre az ECMWF MAGICCS software (*Siemen and Lamy-Thépaut, 2010*) felhasználásával FORTRAN nyelvű programcsaládot készítettünk.

Az egyes meteorológiai paraméterekből átlag, variancia és korreláció mezőket számítottam és az így kapott mezőket térképen megjelenítve tanulmányoztam. A vizsgált meteorológiai paraméterek: tengerszinti légnyomás átlagmezői és a tengeri jégborítottság átlag- és varianciamezői. Munkám négy fő részre bontható. Első lépésben az ERA-20C alapján három időszakra bontottan vizsgálatokat végzek (3.1.2 – 3.1.4). Ezután az ERA-20C és az ERA-Interim közös időszakából az 1981 és 2010 közötti harmincéves időszakot vizsgálom (3.2) majd, melyet korrelációs vizsgálatnak vetek alá. A viharciklonok statisztikai vizsgálatában mind esettanulmányon, mind gyakoriság vizsgálatokon keresztül használom az ERA-Interim és ERA-20C adatbázist (3.3). Majd végül egy rövidebb alfejezet keretein belül foglalkozom a jelenleg készülő ERA5 adatbázissal (3.4).

3.1. ERA-20C havi átlag térképek vizsgálata az 1901-2000, 1901-1950 és 1951-2000 időszakokban

3.1.1. A vizsgálatok paraméterei

A kiválasztott három időszakban az év mind a 12 hónapjára megvizsgáltam a havi átlagmezők térbeli szerkezetét, valamint az egyes időszakok közötti hasonlóságokat és különbségeket.

A vizsgált paraméterek:

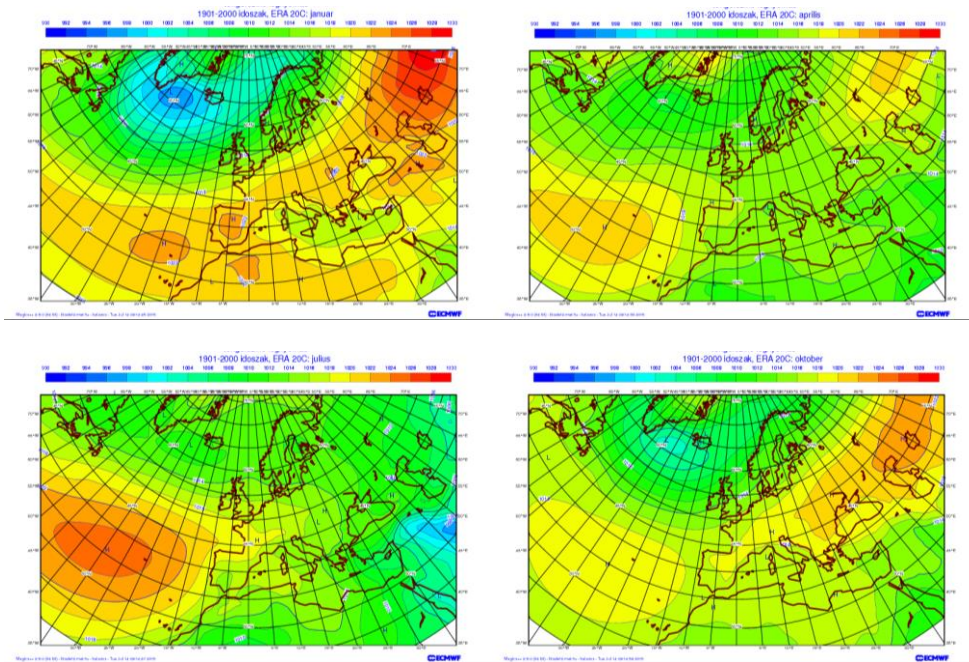
paraméter: tengerszinti légnyomás - ***Térkép kivágat:*** 75N, 60W, 35N, 60E

paraméter: tengeri jégborítottság - ***Térkép kivágat:*** 90N, 180W, 35N, 180E

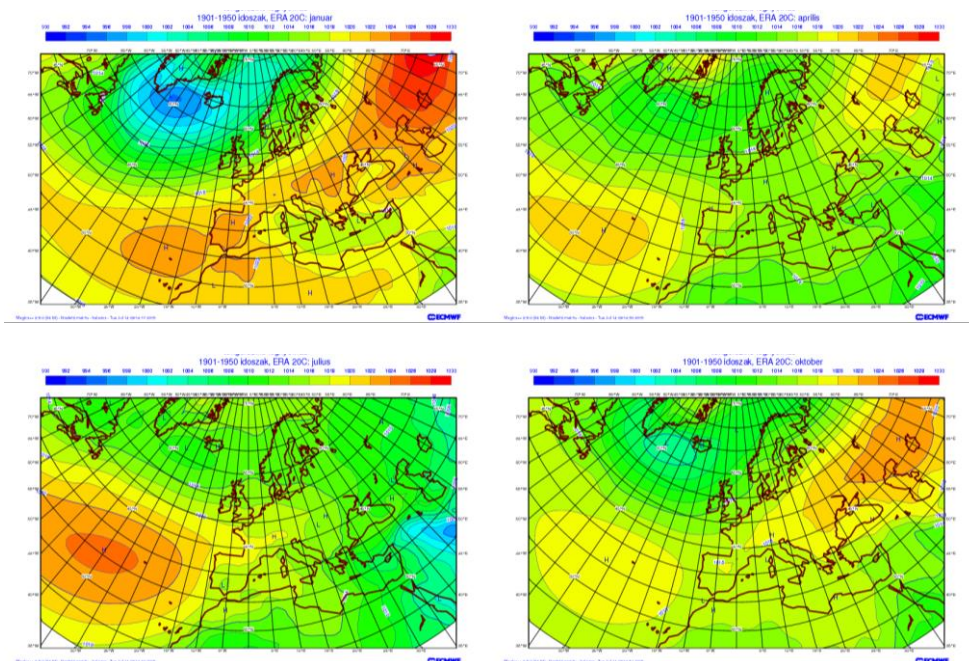
A fenti adatok alapján előállított térképeket a 9.–15. ábrák tartalmazzák. A diplomamunkámban bemutatott hónapok: január, április, július, október.

3.1.2. A havi átlagos tengerszinti légnyomás mezők vizsgálata

Saját munkám első része a tengerszinti légnyomás mezőket mutatja be a 3.1.1 alfejezetben említett három periódusban. Mind a három időszak esetén egyértelműen detektálható télen az izlandi minimum központ, emellett az azori maximum a nyári időszakban (9. ábra).

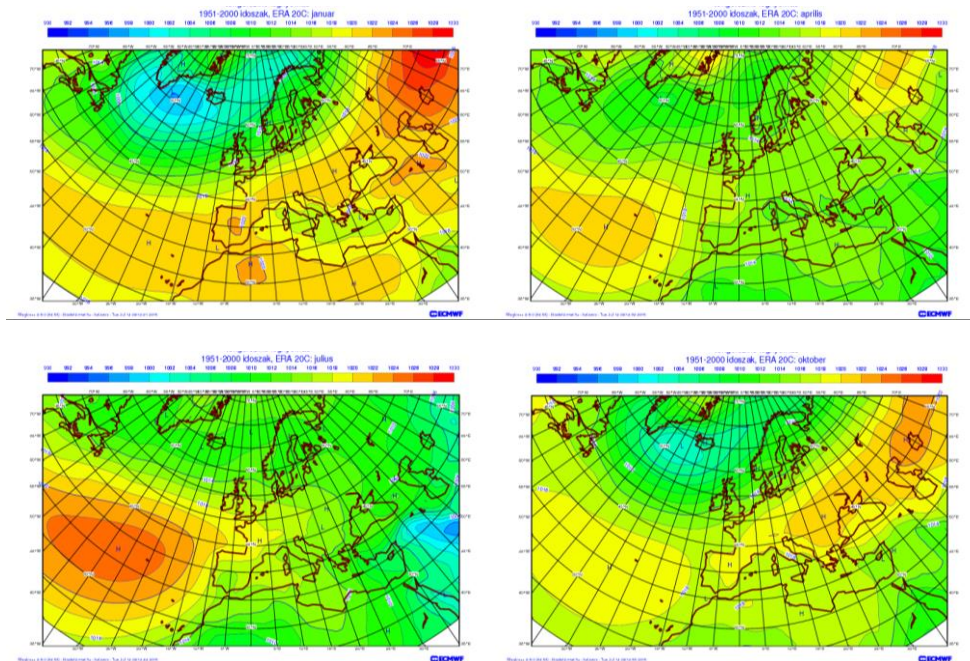


9. ábra: havi átlagos tengerszinti légnyomás mezők az 1901-2000 időszakban az ERA-20C alapján



10. ábra: havi átlagos tengerszinti légnyomás mezők az 1901-1950 időszakban az ERA-20C alapján

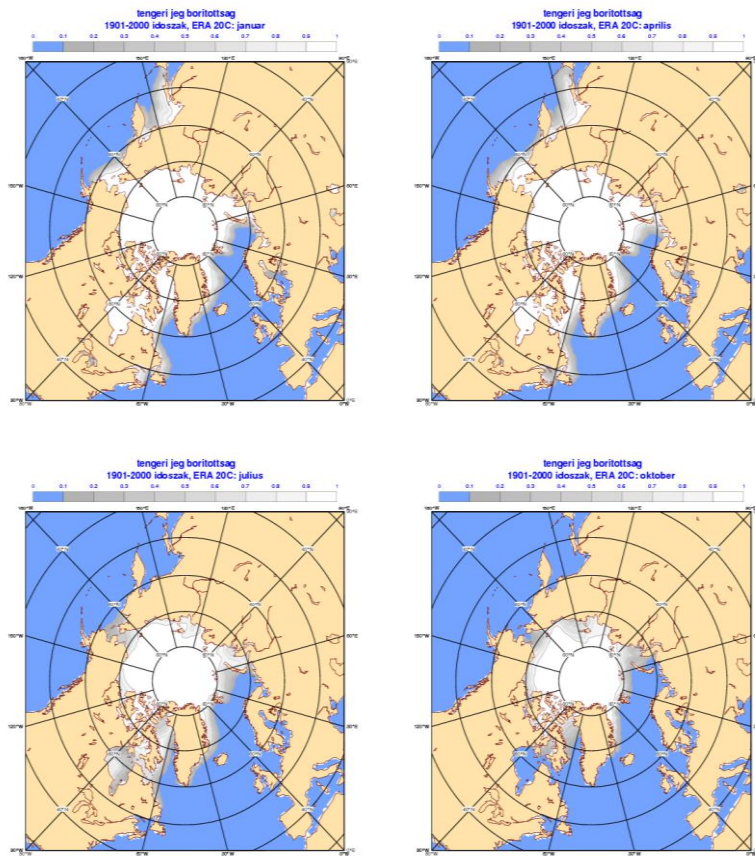
Az ERA-20C egyértelmű előnye, hogy már az 1900-as évek elejéről is készíthetünk térképeket az általa szolgáltatott adatokat felhasználva. Ha külön-külön vizsgáljuk a XX. század első és második feléről készült térképet (10.–11. ábra), látható, hogy a század második felében nagyobb a magasabb légnyomású rendszerek kiterjedése, vagyis a meleg, száraz levegő benyomulása a szárazföldek fölé. Ez a nagyobb és sűrűbb anticiklonális hatás egyértelmű jele a globális éghajlatváltozás erősödésének a XX. század második felére.



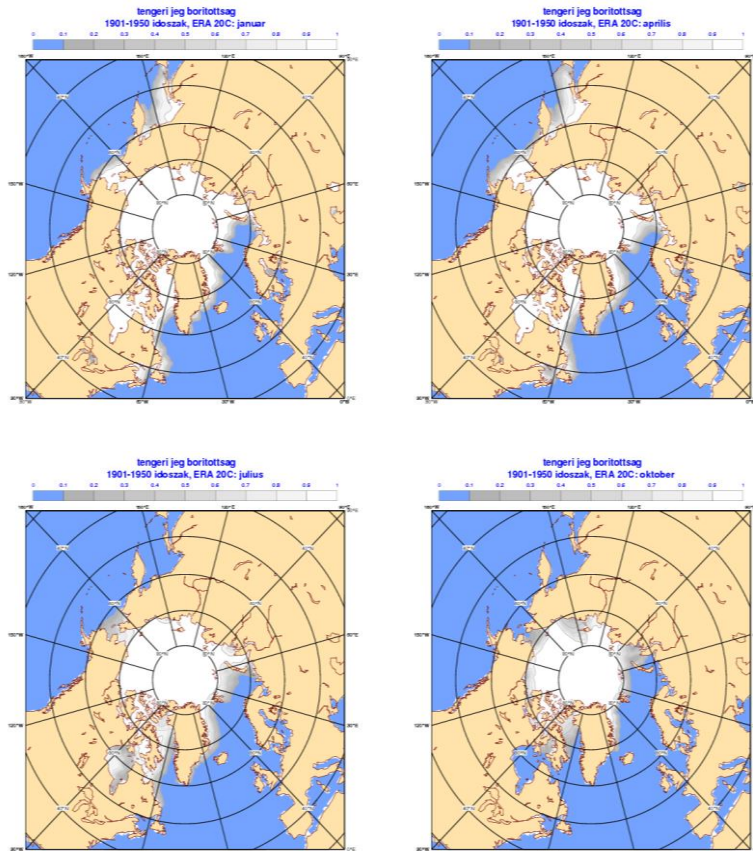
11. ábra: havi átlagos tengerszinti légnyomás mezők az 1951-2000 időszakban az ERA-20C alapján

3.1.3. A havi átlagos tengeri jégborítottság mezők vizsgálata

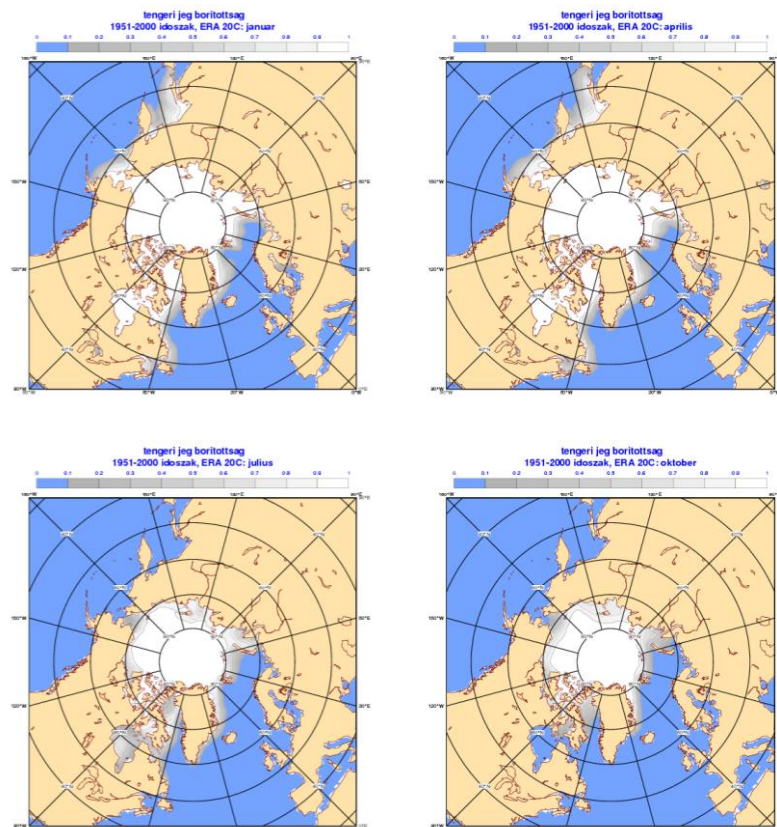
A 3.1.3-as fejezetben a tengeri jégborítottság mezőit vizsgálom az ERA-20C alapján az Északi-sarkvidék területén. A 12. ábra az 1901-2000-es időszakot mutatja be, majd ezután következik a 13. és 14. ábrán a külön-külön ábrázolt 1901-1950-es és 1951-2000-es időszak. Mind a három időintervallum esetén megfigyelhető a tengeri jégborítottság éves menete amely az áprilisi maximumban és az októberi minimumban mutatkozik meg. A 13. és 14. ábra a tengeri jégborítottság alakulását reprezentálja a XX. század folyamán. Szembetűnő, hogy az 1951-2000-es időszakban a tengeri jég kiterjedése kisebb októberben, mint az 1901-1950-es időszak esetén. Ráadásul a század második felében a januári és áprilisi tengeri jégkiterjedés is kisebb, mint a század első ötven évében. Mindez is mutatja, hogy az üvegházhatású gázok növekvő légköri koncentrációja által okozott éghajlatváltozás már a század második felében is drasztikus hatással volt az Északi-sarkvidék területeire.



12. ábra: havi átlagos tengeri jégborítottság mezők az 1901-2000 időszakban az ERA-20C alapján



13. ábra: havi átlagos tengeri jégborítottság mezők az 1901-1950 időszakban az ERA-20C alapján

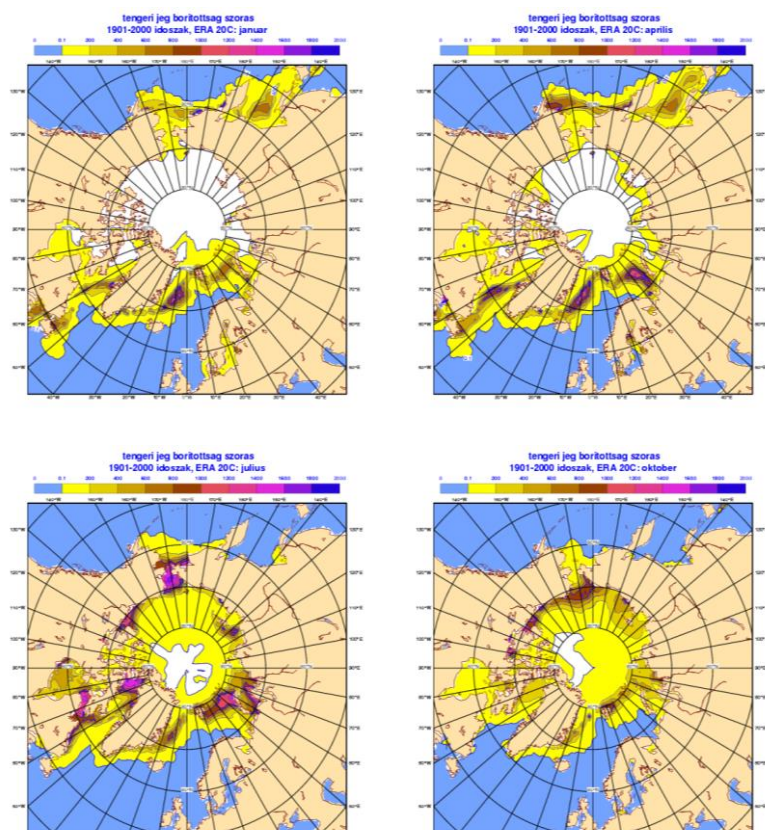


14. ábra: havi átlagos tengeri jégborítottság mezők az 1951-2000 időszakban az ERA-20C alapján

3.1.4. A havi átlagos tengeri jégborítottság variancia mezőinek vizsgálata

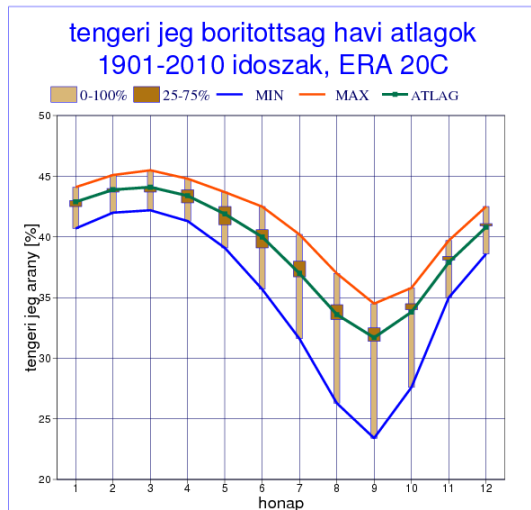
A következő részben a tengeri jégborítottság variancia mezőit vizsgálom ugyancsak az Északi-sarkvidék területén. Mivel a tengeri jégborítottság kiterjedése az egyik legfontosabb éghajlatot befolyásoló tényező, kiterjedésének folyamatos nyomon követése és tanulmányozása rendkívül fontos feladat. A 15. ábra a jégborítottság variancia mezőit mutatja az előbb említett régióban január, április, július és október hónapokra. A térképek az ERA-20C reanalízis alapján készültek 1901 és 2000 közötti százéves időszakra.

Az alábbi térképsorozat azt hivatott bemutatni, miként mutatkozik meg a késleltetés a minimális és maximális tengeri jégborítottság között a sarkvidéki régióban. A térképeken a minél inkább sötétebb részek a bizonytalanság mértékét mutatják. Minél sötétebb egy adott régió, annál kisebb a valószínűsége annak, hogy az adott időszakban a terület jég által fedve volt. Emellett egyértelműnek tűnik, hogy a 100 éves periódus alatt a sarkvidéki régió központi területén egyre nagyobb mértékben olvad meg a jégtakaró nyáron, és még inkább az őszi időszakban. Ez a jelenség elsősorban az éghajlatváltozásnak köszönhető.



15. ábra: havi átlagos tengeri jégborítottság variancia mezők az 1901-2000 időszakban az ERA-20C alapján

A 16. ábra a tengeri jégborítottság havi átlagait mutatja be az 1901-2010 közötti időintervallumban az ERA-20C adatai alapján. Itt is jól látszik a nyári hónapok jégolvadásra kifejtett késleltetett hatása, ami a tengeri jég kiterjedésének szeptemberi értékeiben mutatkozik meg. Mind az átlagos- és minimum jégborítottságnak is ebben a hónapban a legkisebbek az értékei. Emellett a maximum kiterjedés is ebben a hónapban a legkisebb. Az ábráról az is egyértelműen leolvasható, hogy a nyarat követő kora őszi időszakban jóval nagyobb a változékonyság, mint a téli időszakban, hiszen itt a legszélesebb a minimum és maximum közötti sáv. Ennek köszönhetőek az extrém alacsony tengeri jégborítottság értékek 2000 után.



16.ábra: A tengeri jégborítottság havi átlagok alapján 1901-2010 között az ERA-20C alapján

3.2 Az ERA-20C és ERA-Interim összehasonlító vizsgálata az 1981-2010 közötti 30 éves időszak alapján

3.2.1. A vizsgálatok paramétere

A kiválasztott három évtizedes időszakban az év mind a 12 hónapjára megvizsgáltam havonkénti bontásban a 30 havi átlagmező-párból számított korreláció mezők térbeli szerkezetét. Az összehasonlítás célja annak kimutatása, hogy havi átlagok szintjén található-e olyan régió és évszak, ahol a korreláció magasabb, vagy alacsonyabb a két reanalízis között. A magas (1-hez közeli) korreláció azt jelenti, hogy a havi átlagok tekintetében a két reanalízis gyakorlatilag megegyezik. Az alacsonyabb korreláció esetén nem dönthető el, hogy melyik reanalízis a jobb, a két reanalízis közötti különbség oka részben az adatasszimilációs technika, részben horizontális térbeli felbontásbeli különbözőségekből eredhet.

Tartomány kivágat: 75N, 60W, 35N, 60E

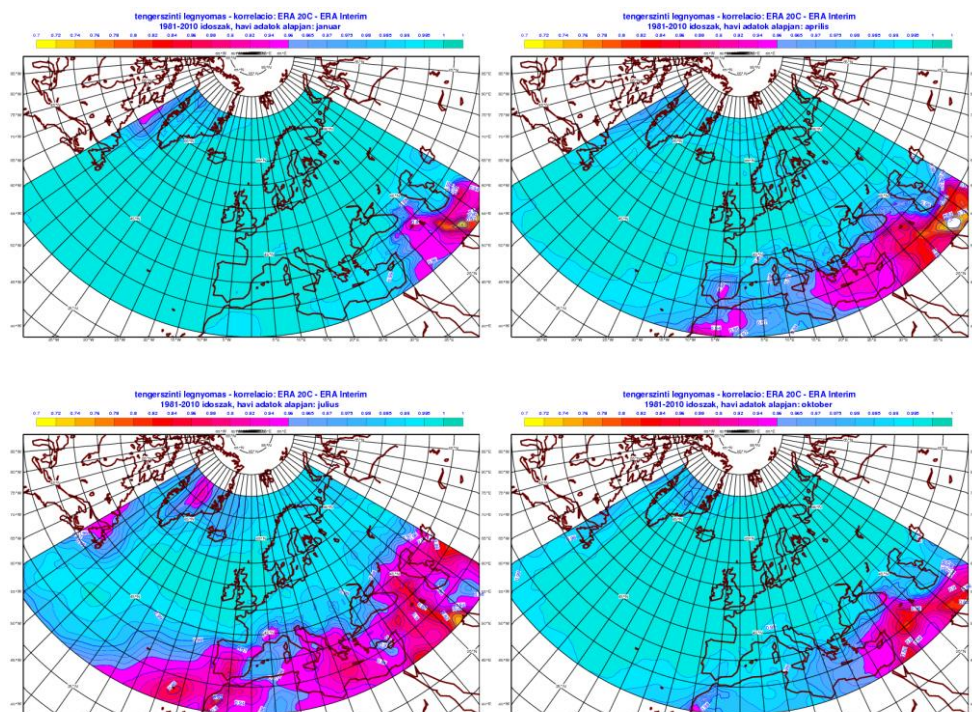
A vizsgált paraméterek:

paraméterek: tengerszinti légnyomás, 850 hPa hőmérséklet és 500 hPa magasság

A fenti adatok alapján előállított térképeket 17.–19. ábrák tartalmazzák. A diplomamunkában bemutatott hónapok: január, április, július, október.

3.2.2. Korrelációs vizsgálat

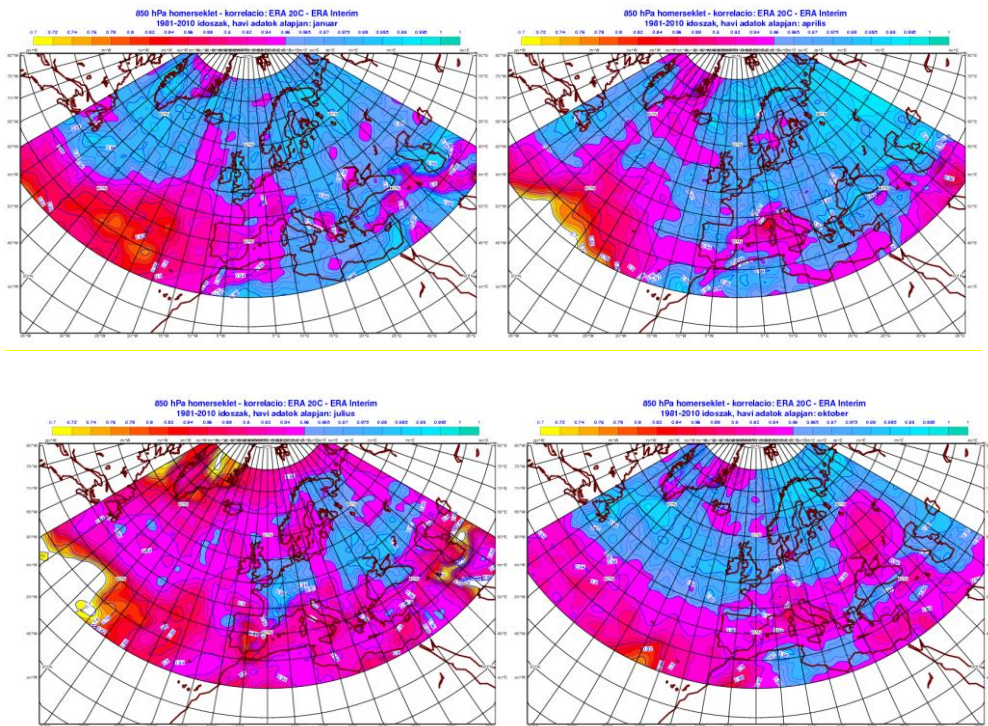
A vizsgálat első részében a havi tengerszinti légnyomás mezők láthatóak az ERA-20C és ERA-Interim közötti korreláció alapján 1981 és 2010 közötti időszakra (17. ábra).



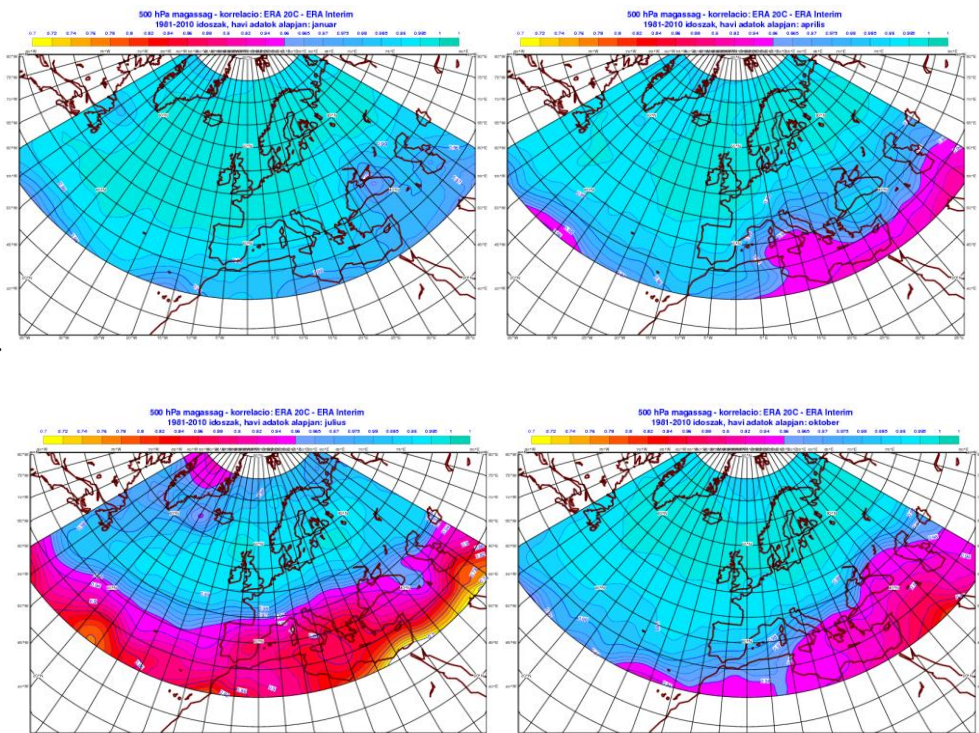
17. ábra: havi tengerszinti légnyomás korreláció mezők az 1981-2010 időszakban az ERA-20C és ERA Interim alapján

Emellett munkám célja, hogy tanulmányozza a hasonlóságokat és különbségeket a különböző paraméterek esetén a vizsgált időszak különböző hónapjaira lebontva. Ennek megfelelően, ha összehasonlítom a fentebb látható havi tengerszinti légnyomási mezőket és az alább látható 850 hPa hőmérséklet mezőit (17.–18. ábra), észrevehető, hogy az ERA-Interim és az ERA-20C erősebben korrelál a tengerszinten, viszont általában valamivel kisebb a korreláció a légkör magasabb rétegeiben.

Érdekes megfigyelni, hogy az 500 hPa magassága esetén (19. ábra) az ERA-20C és ERA-Interim közötti korreláció értéke jóval magasabb, mint a 850 hPa hőmérséklet esetén. Az ERA-20C reanalízisben a XX század első felében a rádiószondás és műholdas technika hiánya miatt nincsen mód a magaslégkörből származó információk használatára, ezért az ERA-20C és az ERA-Interim reanalízisek esetében a magaslégköri adatok használata eltérő. Eredményeink alátámasztják az ECMWF publikációkban megjelent figyelemfelhívást, hogy az ERA-20C reanalízis – az alap célkitűzéssel összhangban – elsősorban a felszínközeli meteorológiai folyamatok leírására alkalmas.



18. ábra: havi 850 hPa hőmérséklet korreláció mezők az 1981-2010 időszakban az ERA-20C és ERA Interim alapján



19. ábra: havi 500 hPa magasság korreláció mezők az 1981-2010 időszakban az ERA-20C és ERA Interim alapján

3.3. A viharciklonok, mint extrém időjárási jelenségek bemutatása

Földünk éghajlata, emellett mindennapi időjárásunk jelenleg is percről percre változik. E kijelentésnek egyik legjobb példái az elmúlt néhány évtizedben egyre nagyobb számban megfigyelt szélsőséges időjárási jelenségek. Míg a XX. század végén még szinte meglepetésként érte az emberiséget egy-egy rekord-erősségű vihar, manapság már tisztában vagyunk a viharok folyamatosan növekvő számával. E jelenségek, a viharciklonok, melyek szinoptikai fejlődésüket tekintve meglehetősen különlegesek. Hirtelen kifejlődés, rövid élettartam és gyors áthelyeződés jellemzi őket. Mindannak ellenére, hogy a szakemberek körében egyre nagyobb figyelmet kap eme időjárási jelenség, fejlődési ritmusuk, haladási irányuk és útvonaluk meghatározása nagyon nehéz feladatnak bizonyul a mai napig.

Az 1980-as években még ciklonbombaként definiált jelenségre Sanders és Gyakum 1980-ban fogalmazott meg hivatalos definíciót. E szerint viharciklonnak (*ciklonbombának*) nevezzük azokat a mérsékelt övi ciklonokat, amelyek fejlődése során a centrumban a legnagyobb nyomáscsökkenés eléri 24 óra alatt a 24 hPa-t. A viharciklonok általános jellemzőit alább, a II. táblázat tartalmazza.

| A viharciklonok jellemzői |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• hirtelen kialakulás• rövid idő alatt jelentős nyomássüllyedés a középpontban ($>10\text{hPa}/3\text{ óra}$)• igen gyors áthelyeződés• kis horizontális kiterjedés ($<1500\text{ km}$)• orkán erejű szél• viszonylag rövid élettartam ($< 3\text{ nap}$)• hatalmas horizontális nyomási gradiens• általában gyors leépülés a szárazföld fölött |

II. táblázat: A viharciklonok általános jellemzői

Nem csupán meteorológiai szempontból fontosak a viharciklonok. Mivel a központi nyomás gyors csökkenését viharossá fokozódó szél követi, a viharciklonok a hajózási útvonalakat és a part menti régiókat elérve jelentős anyagi károkat okozhatnak, emellett az emberi életre is veszélyesek lehetnek (*Kurunczi, 2009*). Így mindenképpen fontos feladatnak

tartom a viharciklonok elemzését diplomamunkámban. Esettanulmányként és statisztikai vizsgálatként is az Északi-féltekét érintő viharokkal foglalkozom. Ennek oka nem csupán az, hogy ezek azok a viharciklonok, amelyek országunkat is érinthetik, hanem hogy közel kétszer annyi viharciklon érinti az Északi-féltekét, mint a Déli-féltekét (Lim & Simmonds, 2002). Lim és Simmonds tanulmánya alapján a viharciklonok 1979 és 1999 közötti gyakoriságát a III. táblázat foglalja össze.

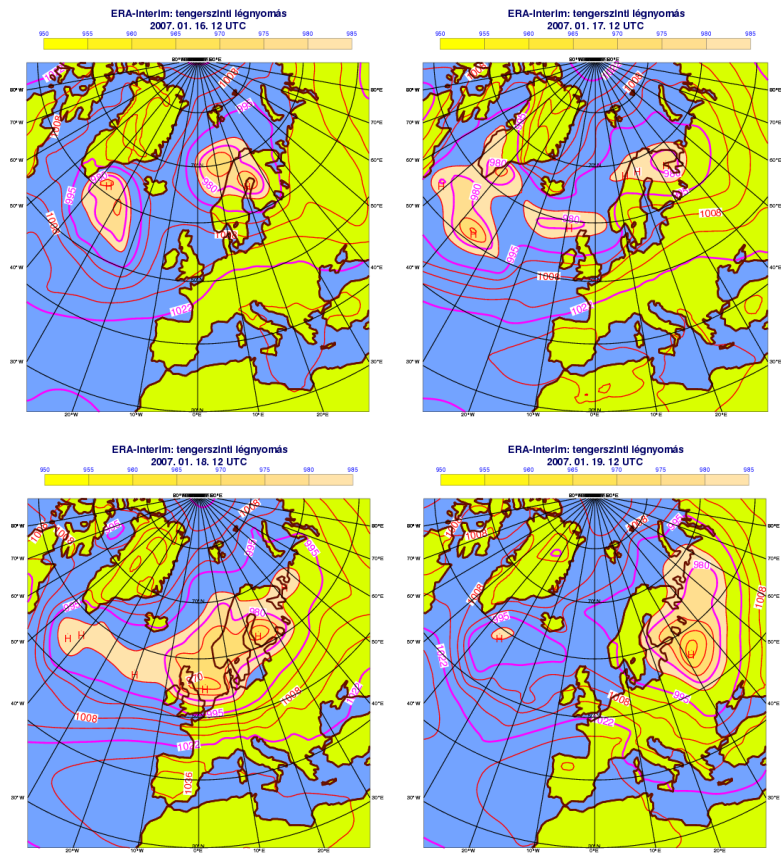
| | DJF | MÁM | JJA | SZON | Éves érték |
|----------------|------|------|------|------|------------|
| Északi-félteke | 26,4 | 9,2 | 0,5 | 9,7 | 45,9 |
| Déli-félteke | 3 | 6,5 | 10,7 | 6,2 | 26,4 |
| Globális érték | 29,5 | 15,7 | 11,2 | 15,9 | 72,3 |

III. táblázat: viharciklonok évszakos és éves gyakorisága 1979-1999 között Lim és Simmonds (2002) vizsgálata alapján (Lim & Simmonds, 2002). (Jelmagyarázat: DJF=December, Január, Február; MÁM=Március, Április, Május; JJA=Június, Július, Augusztus; SZON=Szeptember, Október, November)

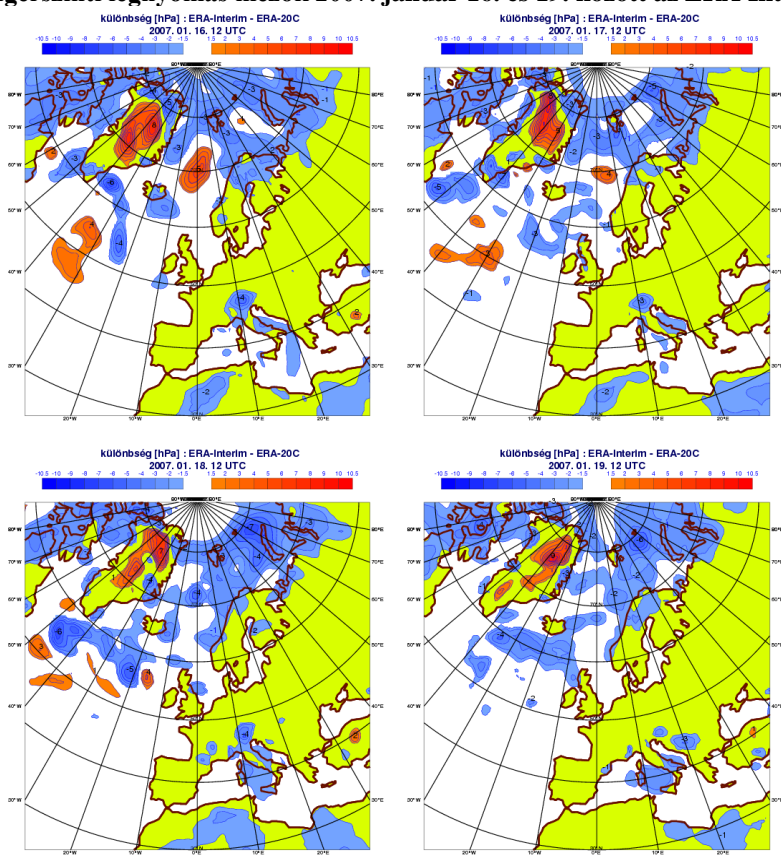
3.3.1. A 2007. januári Kyrill viharciklon vizsgálata

A reanalíziseket extrém időjárási helyzetek megfigyelésére a hazai gyakorlatban még kevésbé alkalmazták. Emiatt fontosnak tartom a viharciklonok gyakoriságának és térbeli elhelyezkedésének elemzését.

Esettanulmányként a 2007 januárjában Európa több országát is sújtó Kyrill viharciklont tanulmányozom (20. ábra). A rendszer eredetileg Új-Fundland felett épült ki január 15-én, majd az Atlanti-óceán fölött áthelyeződve január 17-én elérte Írországot és Nagy-Britanniát. A vihar ezt követően a német és holland partoknál érte el a szárazföldet január 18-án, majd kelet felé elérte Lengyelországot és a Balti-tengert január 19-én. A Kyrill egy több centrummal rendelkező viharciklon volt, amely óriási károkat okozott heves esőzések és a rendkívül erős szél által Nyugat-Európa szerte. A 20. ábra a tengerszinti légnyomás mezőit mutatja be 2007. január 16. és 19. között. A térképeken jól nyomon követhető a viharciklon kialakulása és erősödése, emellett a január 18-i térképen már jól kivehető a viharciklon több centrumú jellege is. A 21. ábrán a tengerszinti légnyomás mezők vannak bemutatva az ERA-Interim és az ERA-20C különbségmezői alapján 2007. január 16. és 19. közötti időszakra. A jelentős különbségek annak köszönhetően jelennek meg, hogy a két reanalízis nem pontosan ugyanott jelöli ki a viharciklon középpontját.



20. ábra: Tengerszinti légnyomás mezők 2007. január 16. és 19. között az ERA Interim alapján



21. ábra: Tengerszinti légnyomás mezők az ERA Interim és az ERA-20C különbségei alapján 2007. január 16. és 19. között

3.3.2. Viharciklonok statisztikai vizsgálata

A reanalízisekben az extrém időjárási események tanulmányozását a viharciklonok detektálhatóságában illetve gyakoriságának időbeli változásában vizsgálom. A viharciklonok detektálására *Kurunczi* (2009) módszere alapján FORTRAN nyelvű programot fejlesztettünk ki. Kezdeti biztató eredményeink alapján két fő célt tűztünk ki. Először az ERA-20C és az ERA-Interim közös időszakából az 1981 és 2010 közötti harmincéves időszakban vizsgálom a viharciklonok gyakoriságát és térbeli elhelyezkedését. Második lépésben az ERA-20C alapján három időszakra bontottan vizsgálom a kiválasztott viharciklonok gyakoriságát és térbeli elhelyezkedését. A vizsgált időszakok: 1921-1950, 1951-1980 és 1981-2010. Munkám harmadik részében az ERA-20C alapján gyakoriság vizsgálatnak vetem alá az 1951 és 2010 közötti hatvanéves időszakot.

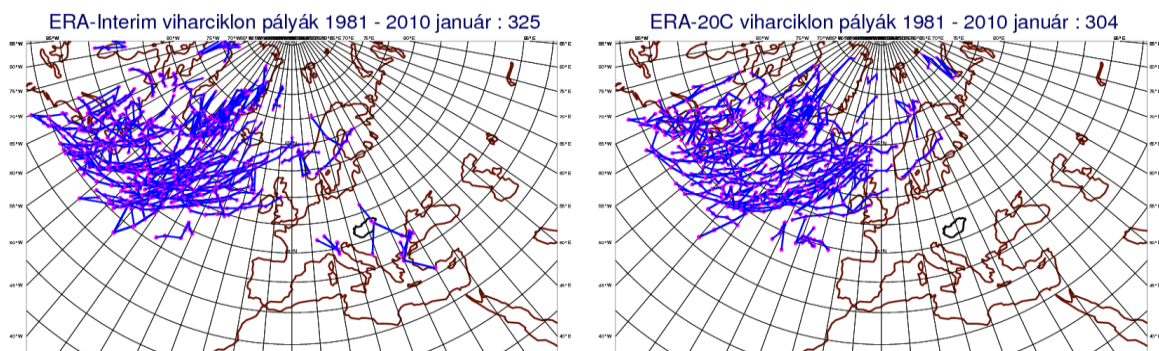
3.3.2.1. Viharciklonok havi bontású vizsgálata

Az alábbiakban a 22.–33. ábrák a viharciklonok pályáit térképeken ábrázolják az Északi-félteke Atlanti-térségében 1981 és 2010 között, havi bontásban (januártól decemberig). Az első ábra minden hónapra lebontva az ERA-Interim, míg a második az ERA-20C alapján készült térképeket hivatott bemutatni. Minden ábra jobb felső sarkában feltüntetett szám az adott hónapbeli viharciklon darabszámot jelenti. Bár ezek a számok nagyok tűnhetnek, fontos megjegyezni, hogy minden olyan időpont, amikor a 24 hPa-os nyomáscsökkenés detektálható volt az egy-egy esetnek számít. Ezt egy példán bemutatva, ha az előbbi kijelentés egy nap a három óránkénti nyomástérképek alapján hétszer volt detektálható, akkor az hét esetnek számít, nem pedig egynek.

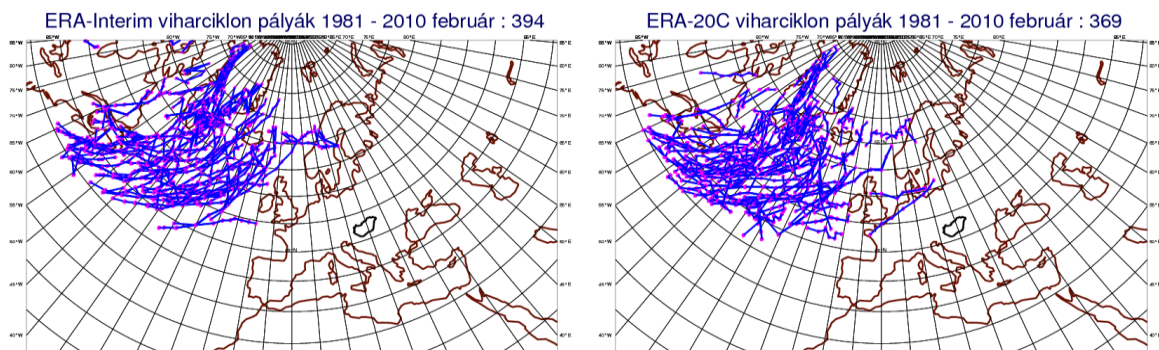
A térképeket megfigyelve észrevehető a viharciklonok gyakoriságának éves menete mind a két reanalízis alapján. Ennek fényében a decemberi és januári hónapban felismerhető a viharciklon-gyakoriság maximuma, minimuma pedig a május, június és júliusi hónapokban figyelhető meg. Emellett mind az ERA-Interim mind az ERA-20C ugyanabban a térségben mutat nagy viharciklon gyakoriságot, azaz Új-Fundland keleti partjától egészen az Atlanti-óceán középső régióin át a keleti partszakaszokig. Minden hónapban megfigyelhető, hogy a viharciklonok térbeli elhelyezkedése a magasabb szélességek mentén, az északi szélesség 45° és 75° között a leggyakoribb. A két reanalízis alapján készült térképeket megfigyelve a

hónapról-hónapra megfigyelt viharciklonok számában már különbségeket vélhetünk megfigyelni. Ugyanis az év nagy részében az ERA-20C adatai alapján készült térképeken kevesebb viharciklon figyelhető meg, mint az ERA-Interim adatai alapján készült térképek esetén. Ennek valószínű oka az ERA-20C jóval durvább horizontális felbontásában kereshető. Fontos megjegyezni azonban, hogy május-júniusban viszont több viharciklon detektálható az ERA-20C alapján. A különbség az év bármely hónapjában döntően abból adódik, hogy az adott napon ciklon mindkét reanalízisben jól detektálható, csak esetenként a viharciklonokra jellemző 24 hPa/nap nyomásváltozási kritérium az egyik rendszerben éppen teljesül, a másik rendszerben pedig kicsivel alatta marad.

Mindezek mellett, ha a viharciklonok jellegét szeretnénk megvizsgálni, felismerhető hogy a viharciklonok – viharciklon stádiumban – csak a téli hónapokban jutnak el Európa kontinentális területeire. Legyengült állapotban már más évszakokban is megfigyelhető egy-egy hasonló eset.

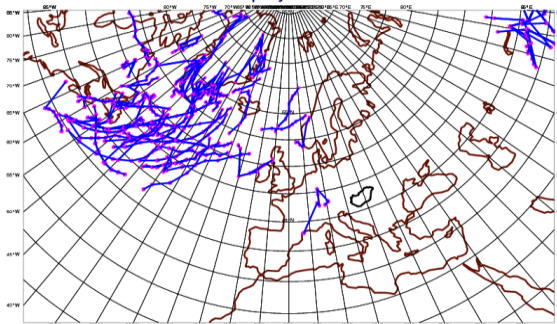


22. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 január: ERA-Interim – ERA-20C

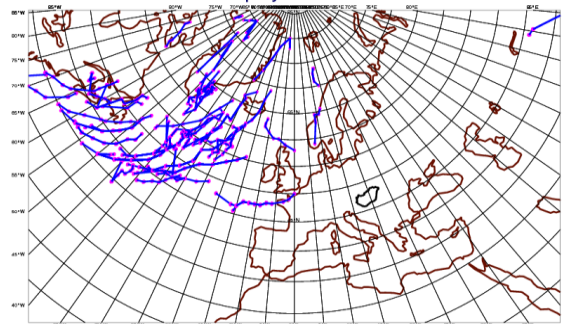


23. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 február: ERA-Interim – ERA-20C

ERA-Interim viharciklon pályák 1981 - 2010 március : 187

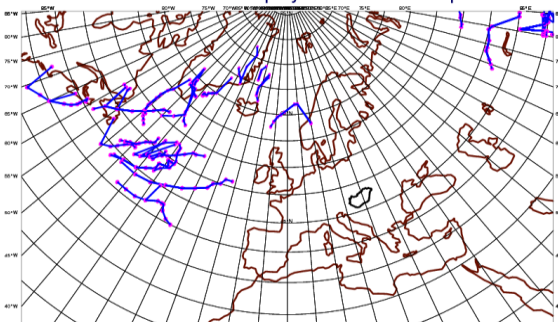


ERA-20C viharciklon pályák 1981 - 2010 március : 110

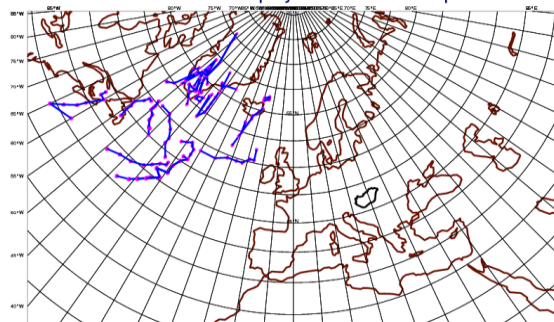


24. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 március: ERA-Interim – ERA-20C

ERA-Interim viharciklon pályák 1981 - 2010 április : 62

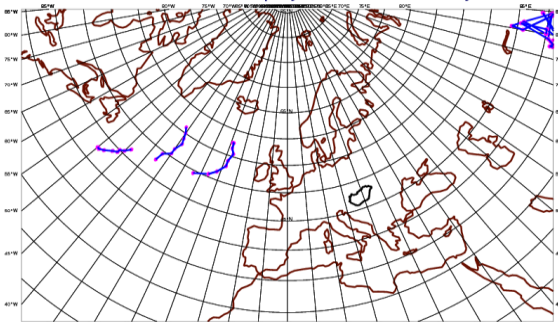


ERA-20C viharciklon pályák 1981 - 2010 április : 44

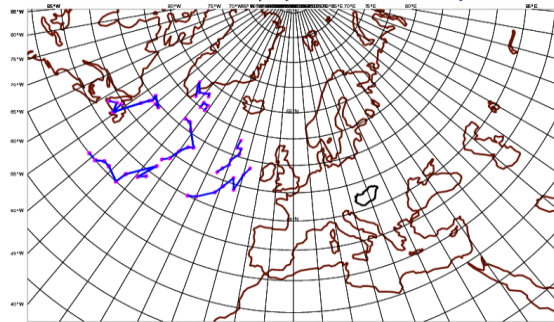


25. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 április: ERA-Interim – ERA-20C

ERA-Interim viharciklon pályák 1981 - 2010 május : 10

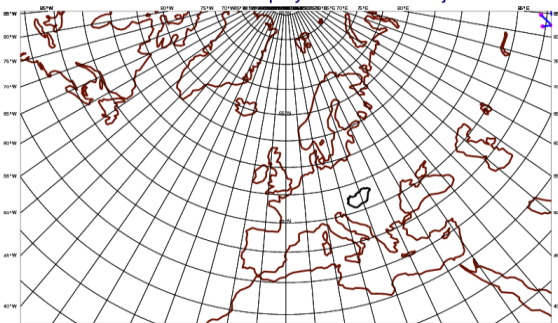


ERA-20C viharciklon pályák 1981 - 2010 május : 13

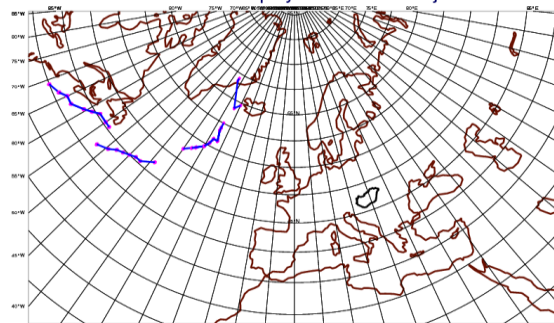


26. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 május: ERA-Interim – ERA-20C

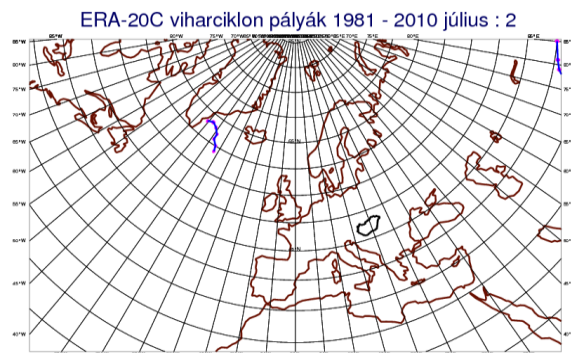
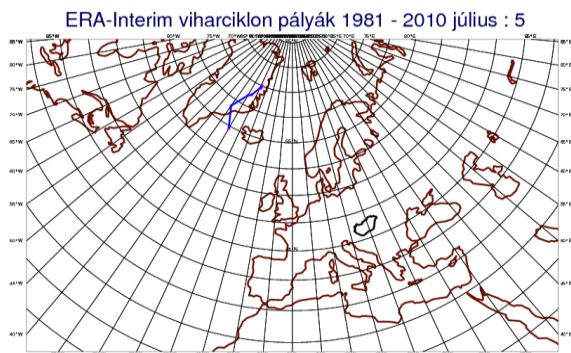
ERA-Interim viharciklon pályák 1981 - 2010 június : 3



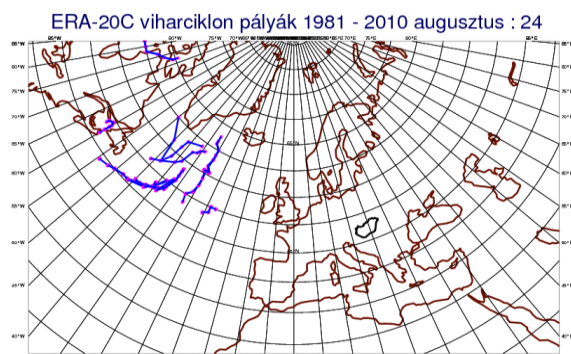
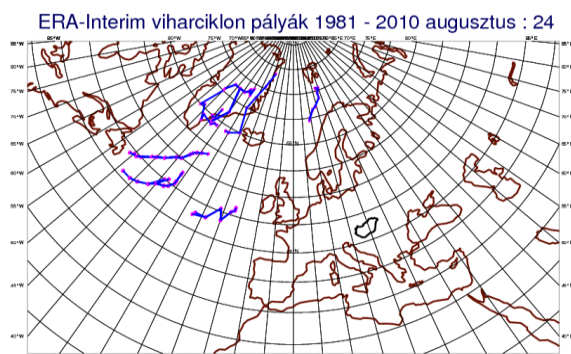
ERA-20C viharciklon pályák 1981 - 2010 június : 11



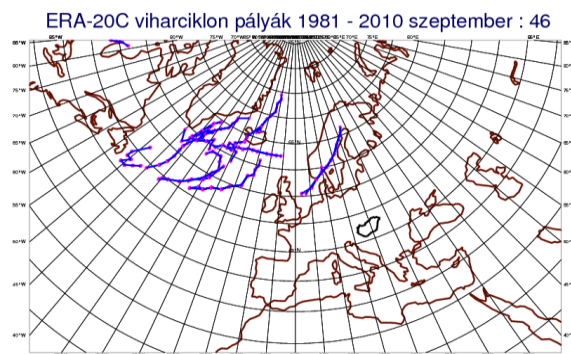
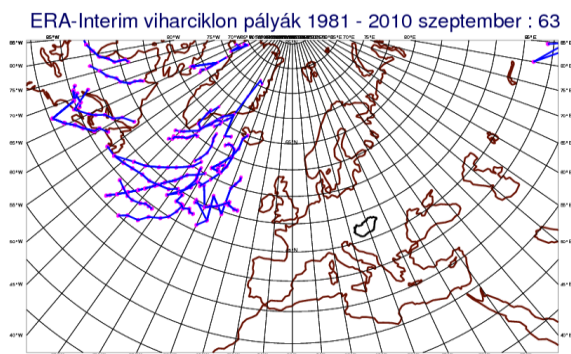
27. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 június: ERA-Interim – ERA-20C



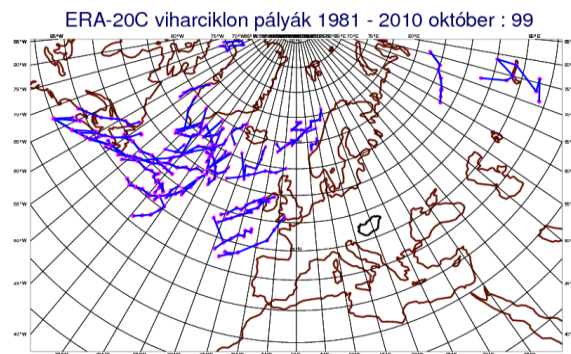
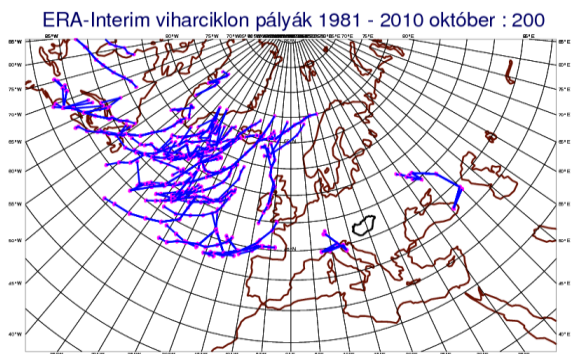
28. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 július: ERA-Interim – ERA-20C



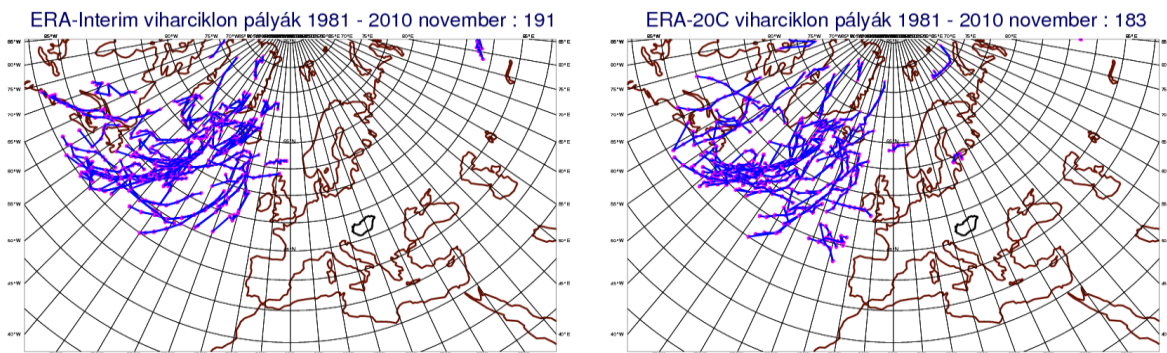
29. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 augusztus: ERA-Interim – ERA-20C



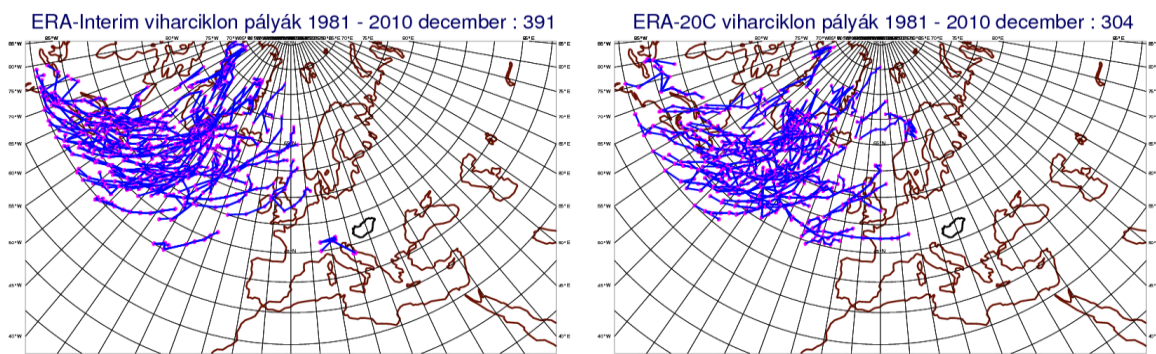
30. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 szeptember: ERA-Interim – ERA-20C



31. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 október: ERA-Interim – ERA-20C



32. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 november: ERA-Interim – ERA-20C



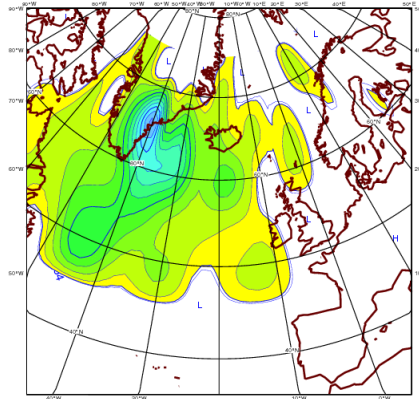
33. ábra: viharciklon pályák, 1981-2010 december: ERA-Interim – ERA-20C

Az eddigiekben a viharciklonok pályái alapján vizsgáltam a viharciklonok gyakoriságát az ERA Interim és az ERA-20C alapján. A 34. ábrán a viharciklon-gyakoriság térkép látható az 1981 és 2010 közötti teljes időszakra az ERA-20C alapján. A térkép is a viharciklonok térbeli elhelyezkedését reprezentálja az Atlanti-Európai térségben. A sárga szín jelzi a legkisebb viharciklon gyakoriságot, ez erősödik a zöld színen keresztül a legnagyobb viharciklon gyakoriságig, azaz a kék színig.

Jól észrevehető, hogy az északi szélesség 45° és 75° között detektálhatóak leginkább a viharciklonok a feltüntetett időszakban. E szélességi körök között az egész Atlanti-óceán térségben megfigyelhetőek viharciklonok. A legnagyobb gyakoriság Grönland déli-délkeleti területein, és a szigettől délkeleti irányban figyelhető meg. Közepes gyakoriság több területen is észlelhető. Ezek is elsősorban Grönlandtól délre helyezkednek el, nagyjából az északi szélesség 45° -ig, emellett Izland szigetétől délre, és Írország partjaitól délnyugatra. Az utóbbiak azok, amelyek a legnagyobb valószínűséggel elérhetik Európa partjait, egyúttal nagy hatással lehetnek a földrész kontinentális területeinek időjárására. Az ERA-20C durvább felbontásának köszönhetően az egész harminc éves időszakra vizsgált viharciklon-

gyakoriság térképen ezek az esetek nem kerültek fel színjelzéssel, mivel ritka esetekről van szó.

ERA-20C: 1981-2010: viharciklon gyakorisag



34. ábra: viharciklon gyakoriság az 1981 és -2010 közötti teljes időszakban az ERA-20C alapján

3.3.2.2. Viharciklonok statisztikai vizsgálata az 1921 és 2010 közötti időszakban az ERA-20C alapján

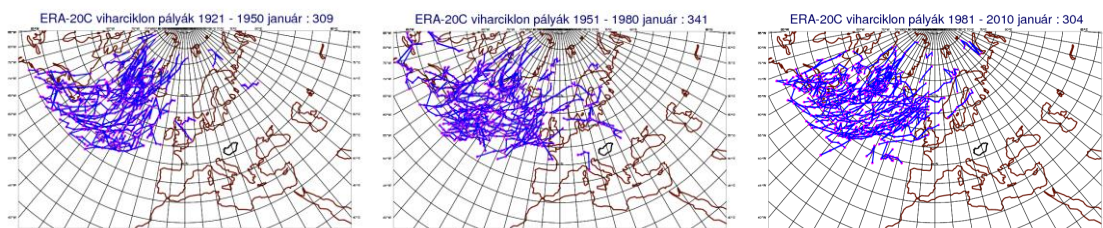
Ebben az alfejezetben az ERA-20C alapján három időszakra bontottan vizsgálom a viharciklonok gyakoriságát és térbeli elhelyezkedését (35.– 46. ábra). Minden egyes ábra egy-egy hónapot mutat be januártól decemberig, sorban a következő vizsgált időszakokra: 1921-1950, 1951-1980 és 1981-2010.

E térképsorozat esetén is megfigyelhető a viharciklonok éves menete, a gyakoriság téli maximuma és késő tavaszi, nyár eleji minimuma. Először a három időszakot és a különböző hónapokban számolt pályákat összevetve nem lehet egyöntetű kijelentéseket tenni. Amit biztosan kijelenthetünk, hogy a téli hónapokban átlagosan nőtt a pályák száma, míg a május-július közötti időszakban amikor is a legkisebb a viharciklonok gyakorisága egyértelműen csökkent a pályák száma az idő előrehaladtával. Ősszel és márciustól áprilisig átlagosan a középső, 1951-1980-as időszakban detektálható a legtöbb.

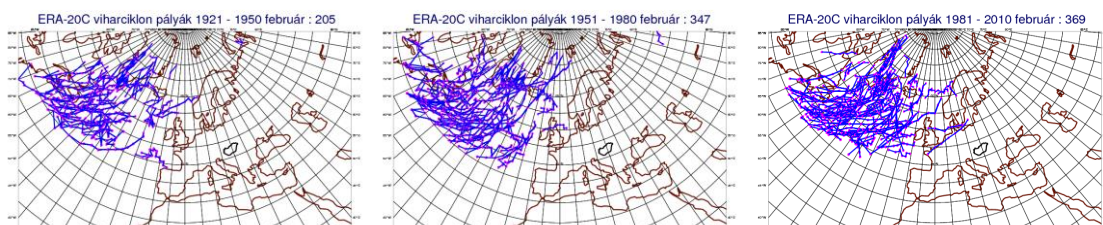
A következő bekezdésben mind a három időintervallumot együttesen vizsgálom hónapról hónapra. Ebben az esetben a pályákat szemügyre véve ugrásszerű csökkenés vehető észre a februári hónapot követően, amely tovább folytatódik egészen júliusig. Ebben a hónapban (40. ábra) figyelhető meg mind a tizenkét hónap és mind a három időszak esetén a legkevesebb viharciklon pálya. Ettől kezdve pedig a viharciklonok számában folyamatos

emelkedés figyelhető meg. Míg októberről novemberre mind a három időszak esetén nagyjából duplázódik a pályák száma, novemberről decemberre 1921-1950 között még csak durván másfélszeresére, majd 1951-1980 és 1981-2010 között ugyancsak duplázódik a darabszámuk.

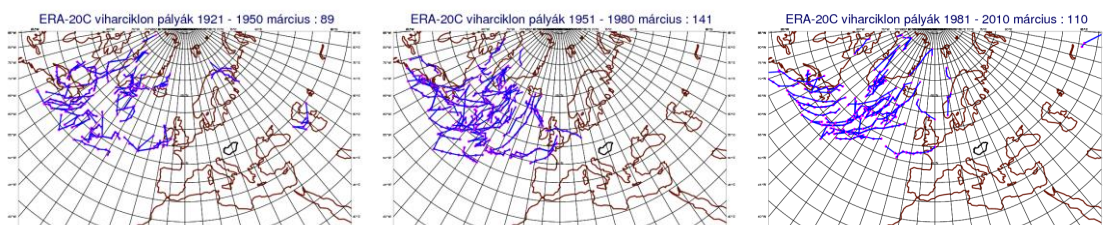
A viharciklon pályák térbeli elhelyezkedését figyelembe véve számos következtetést levonhatunk. Januárban és februárban a viharciklonok pályái nagyon sűrűn beborítják az egész Atlanti-régiót. A hónapok előrehaladtával ez a kép folyamatosan változik. A tavaszi hónapokban, de leginkább májustól egészen az augusztusi hónapig a pályák egyre ritkásabbak lesznek és legfőképpen az Atlanti-óceán központi területein koncentrálnak. Szeptembertől újra kiszélesedni látszik a viharciklon pályák területe, ősz elején megint megjelennek Észak-Amerika keleti partjai mentén, majd decemberben a január, februári képhez hasonlóan az egész atlanti-óceáni régiót beborítják.



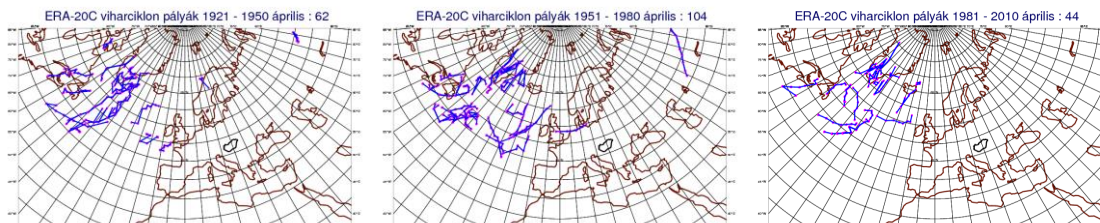
35. ábra: januári viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



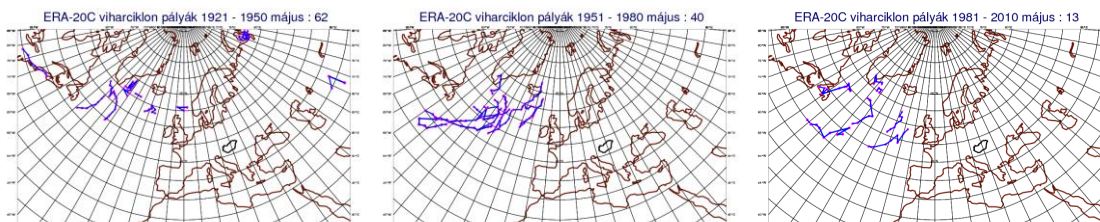
36. ábra: februári viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



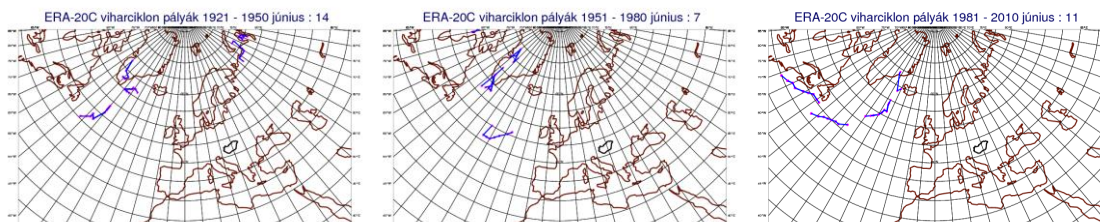
37. ábra: márciusi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



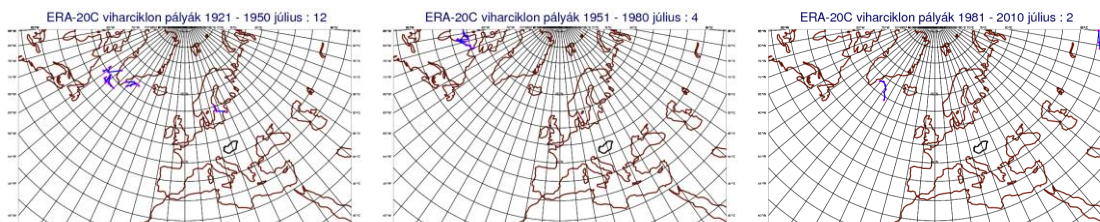
38. ábra: áprilisi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



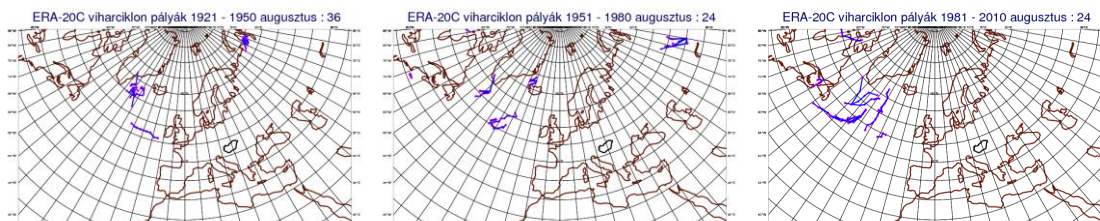
39. ábra: májusi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



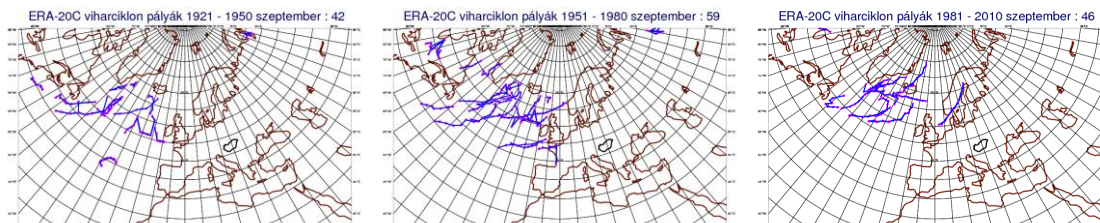
40. ábra: júniusi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



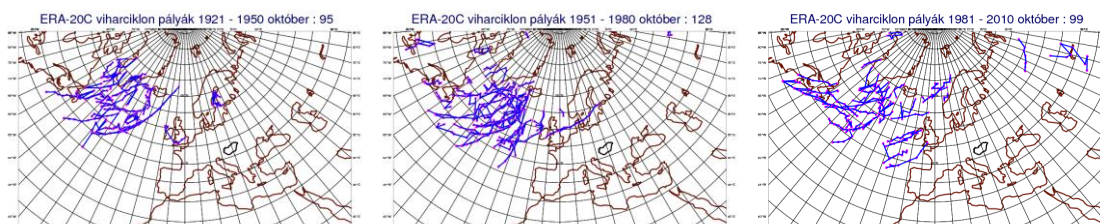
41. ábra: júliusi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



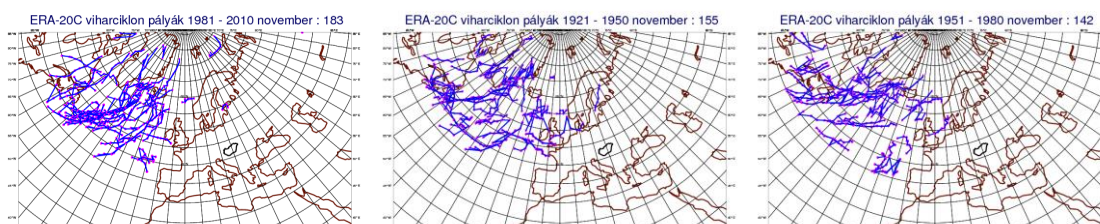
42. ábra: augusztusi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



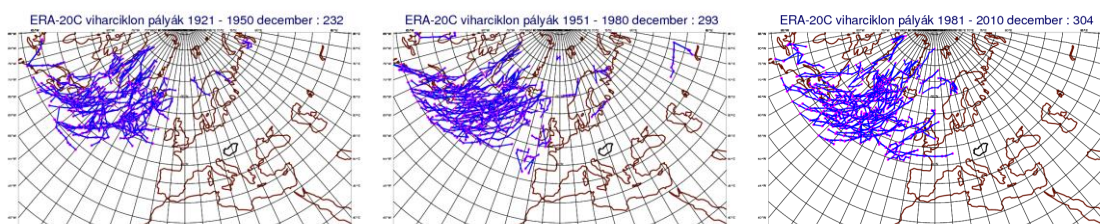
43. ábra: szeptemberi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



44. ábra: októberi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



45. ábra: novemberi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



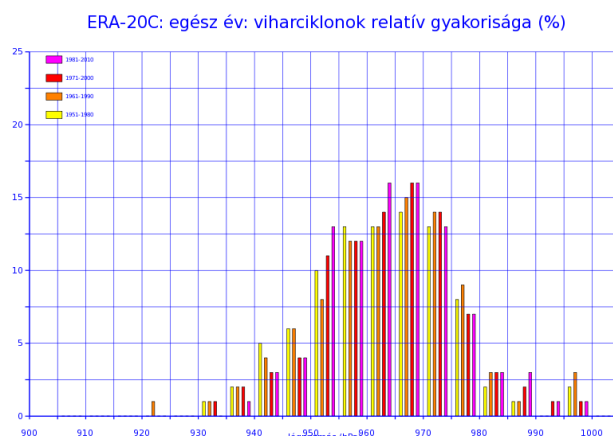
46. ábra: decemberi viharciklon pályák az 1921-1950, az 1951-1980 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján

3.3.2.3. Viharciklon gyakoriság vizsgálatok az 1951-2010 időszakban az ERA-20C alapján

A 47. ábra a viharciklonok intenzitásának éves gyakoriságát ábrázolja az ERA-20C alapján, a következő négy időszakra: 1951-1980 (citromsárga), 1961-1990 (narancssárga), 1971-2000 (piros) és 1981-2010 (lila). Alatta pedig ugyanezekre az időszakokra látható féléves bontásban ugyanez a paraméter a nyári félévben (48. ábra) és a téliben (49. ábra).

Mindegy egyes hisztogram pontosan ugyanarra az atlanti-európai területre készült (északi szélesség 40°-80°és nyugati hosszúság 90°- keleti hosszúság 90°) az Északi-féltekén, mint a saját munkám bármelyik előző térképe. A hisztogramos vizsgálat segítségével több tényező együttes hatását vizsgálhatjuk meg. Ebben az esetben a gyakorisági sűrűség és gyakoriság egyenesen arányos, hiszen az osztályok, azaz a téglalapok ugyanolyan szélesek. Ez a vizsgálatot megkönnyíti, hiszen a téglalapok magassága, amely arányos az adott osztály gyakoriságával összehasonlítható, emellett gyakoriságként értelmezhető.

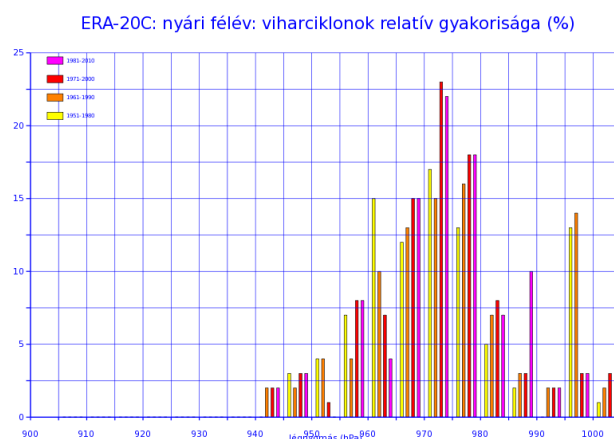
A 47. ábrát megfigyelve látszik, hogy a viharciklon intenzitás éves gyakorisága – egyetlen 922 hPa körüli értéktől eltekintve – 930 és 1000 hPa közötti értékeket vesz fel. Érdekes megfigyelni, hogy a kisebb légnyomási mezőkben még leginkább az 1951-1980 és 1961-1990-es időszakokban alakultak ki a legnagyobb valószínűséggel (5-6%) viharciklonok. Ez a valószínűségi érték megduplázódik a 950 hPa-os mezőnél, majd 960-970 hPa-nál eléri a maximumát nagyjából 15-16%-on azaz a kezdeti érték háromszorosára nő. Azt is érdemes megfigyelni, hogy ebben a tartományban már a XX. század utolsó, és XXI. század kezdeti időszakában alakultak ki ilyen – a kezdeti értékekhez képest – nagy valószínűséggel viharciklonok. 970-1000 hPa között nem lehet egyértelmű következtetést levonni az időszakokat illetően, csak annyit, hogy egyértelmű esés mutatkozik meg a viharciklon intenzitásban. 980 hPa-ig még csak közel felére, majd ezután nagyjából 2%-ra esik le az érték. A teljes tartományra tehát egyértelmű kijelentéssel nem élhetünk, egy biztos, hogy a viharciklon intenzitás éves gyakoriságának maximuma abszolút az 1970-2010-es időszak közötti időintervallumra tehető.



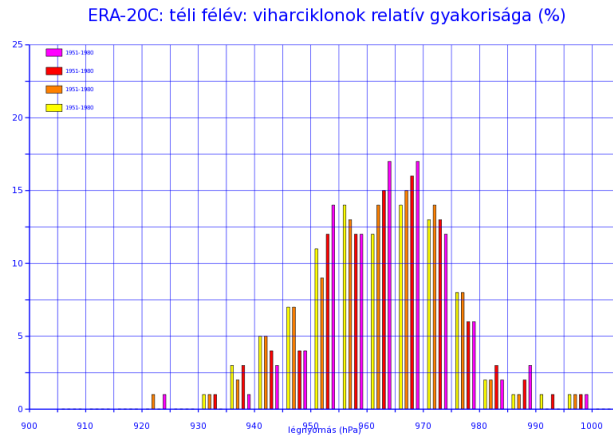
47. ábra: viharciklon intenzitás éves gyakorisága az 1951-1980, az 1961-1990, az 1971-2000 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján

Az alábbi két hisztogramon a nyári félév (48. ábra) és a téli félév (49. ábra) értékei vannak feltüntetve, ugyanazon paraméterek szerint, mint a fentebb látható éves gyakoriság hisztogramján. A nyári félév az áprilistól szeptemberig való időszakot, míg a téli félév az októbertől márciusig tartó időszakot fedik le. Annak köszönhetően esett erre a két tartományra a választás, mert a viharciklonok számát tekintve az október már télies, az április pedig nyárias jellegűnek mondható. Már első ránézésre is szembetűnő, hogy a téli félév sokkal jobban hasonlít a teljes év menetére, itt is a hisztogram eloszlása ugyanolyan. 930 és 1000 hPa között mutatkoznak értékek, amelyek 950 hPa-ig egyértelműen az 1951-1980 és 1961-1990-es időszakokban maximalizálódnak 5-7%-on. Majd ettől a ponttól kezdve megugranak az értékek, és a teljes évhez hasonlóan 960-970 hPa-os légnyomáson érik el a maximumukat a valószínűségi értékek cirka 16-17%-on.

A maximum értékek a téli félév esetén is az 1971-2000 és 1981-2010 közötti periódusokhoz tartoznak. A nyári félév esetén a tartomány magasabb légnyomásértékek irányába való eltolódását figyelhetjük meg, amely az általános cirkuláció évszakos változásával van összhangban. Látható, hogy 940 hPa-tól 1000 hPa-ig kapunk értékeket erre a félévre, amelyek nem is egy darab maximumban csúcsosodnak ki. A három, szembetűnő maximum érték 960, 970 é 995 hPa-on található. Míg a 970 hPa-os, egyben legmagasabb valószínűségi érték (~21-22,5%) az 1971-2000-es időszakhoz köthető, 960 hPa-on a maximum (15%) már az 1951-1980 közötti időszakhoz, míg a 995 hPa-i csúcsérték (~13%) 1961-1990 között mutatkozik. Az áprilistól szeptemberig tartó időszakban sokkal nagyobb ingadozások figyelhetők meg a valószínűségi értékekben az időszakokra lebontva, mint október és március között.

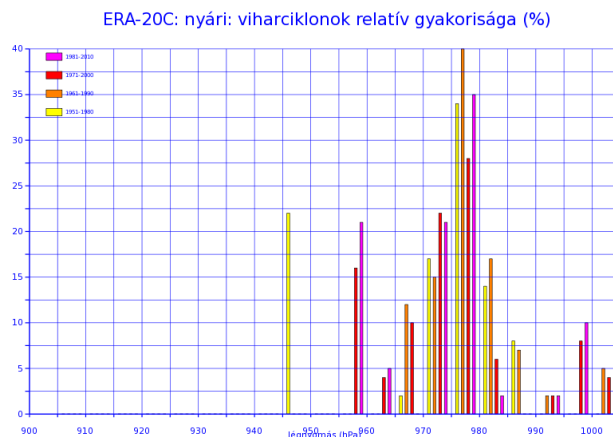


48. ábra: viharciklon intenzitás gyakorisága a nyári félévben az 1951-1980, az 1961-1990, az 1971-2000 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján

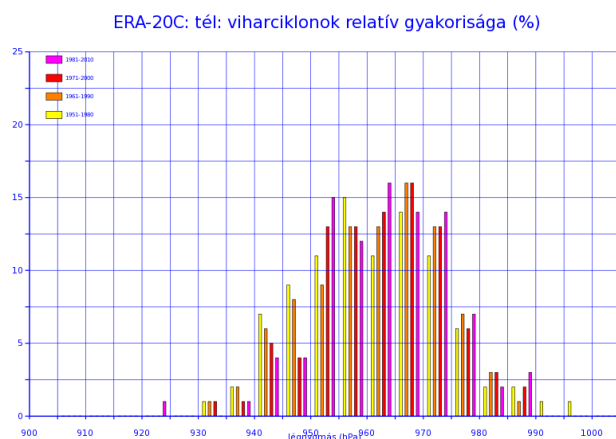


49. ábra: viharciklon intenzitás gyakorisága a téli félévben az 1951-1980, az 1961-1990, az 1971-2000 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján

Míg eddig éves és féléves bontásokkal foglalkoztam, a hisztogramos vizsgálat utolsó részében tovább szűkítve az időszakokat a nyári évszakot (50. ábra) és a télit (51. ábra) elemzem. A nyári évszak a június, júliust és augusztust, míg a téli a december, január és február hónapokat foglalja magában. A két hisztogram összehasonlítása során megint arra juthatunk, hogy a telet bemutató ábra sokkal jobban hasonlít a téli félév és egyben az éves adatok alapján készült hisztogramokra. A téli évszak viharciklon intenzitásának maximum valószínűsége újra a 960-970 hPa-os értékek körül mozog, nagyjából 15-16%-on. Ebben az esetben viszont most először az 1961-1990, az 1971-2000 és az 1981-2010 időszak esetén is mutatkoznak csúcsértékek. Különbség emellett a téli félévhez és az éves hisztogramhoz viszonyítva, hogy a tél esetén nem éri el a tartomány az 1000 hPa-os értéket. A nyarat bemutató hisztogramon mutatkoznak a legnagyobb ingadozások.



50. ábra: viharciklon intenzitás gyakorisága a nyári évszakban az 1951-1980, az 1961-1990, az 1971-2000 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján



51. ábra: viharciklon intenzitás gyakorisága a téli évszakban az 1951-1980, az 1961-1990, az 1971-2000 és az 1981-2010 időszakban az ERA-20C alapján

A hisztogramos vizsgálat alapján egyértelműen kijelenthetjük, hogy a viharciklon intenzitás éves gyakoriságához a téli félév és a téli hónapok adták a legnagyobb egyezéseket. Ennek oka, hogy ezekben a hónapokban alakul ki éves szinten a legtöbb viharciklon. A nyári félév és a nyári évszak hisztogramjai sokkal kevésbé mutatnak egyenletes képet, nagyok a valószínűségek közötti ingadozások a különböző osztályok és a különböző légnyomás tartományok esetén. Az eredmények alapján viszont egyértelműen kijelenthetjük, hogy viharciklonok igenis kialakulhatnak a nyári félévben is. Emellett a nyári időszak az, ahol kiemelkedő valószínűségi értékeket kaptam, amelyekhez hasonló egyszer sem jelentkezett a téli hónapok esetén. Ezek a kiemelkedő értékek az éves adatokat bemutató hisztogramon azért nem mutatkoznak meg, mert nagyon ritka alkalmakról van szó. Mindezek mellett a valószínűségi értékek maximumai mindig a 960-980 hPa között tartományban mutatkoznak, 960-970 hPa-on a téli időszakban, és az éves időszakban, a magasabb 970-980 hPa felé a nyári hónapokban tolódik el a csúcserték. Egyedül a nyári évszak esetén fordult elő, hogy ez az érték nem az 1971-2000 vagy az 1981-2010 közötti időintervallumhoz tartozik. Így összességében kijelenthető, hogy a XX. század végén, és a XI. század elején a legnagyobb valószínűséggel a 950-980 hPa közötti tartományban mélyültek ki viharciklonok. Az 1951-1980 közötti harminc évben kiterjedtebb légnyomás tartományon, de összességében kisebb valószínűséggel alakultak ki ezek a veszélyes légköri jelenségek.

3.4. Az ERA5 és az ERA Interim összehasonlító vizsgálata

Az ERA5 reanalízis várhatóan 2018 végén lesz elérhető az 1979-től kezdődő teljes időszakra. Azonban már 2016 novemberében elérhetővé váltak órás bontású adatok a 2016. január februári kéthónapos tesztidőszakra. Az új ERA5 tesztadatok elérhetőségének ismeretében (2016 december) célul tűztük ki az ERA5 és az ERA-Interim összehasonlítását. A vizsgálatunk első részében havi átlagmezők vizsgálatát végzem, három óránkénti bontásban. A diplomamunkámban terjedelmi okokból ebben a részben csak az ERA5 mezőket mutatom be. Ezután az alfejezet második felében az ERA-Interim és az ERA5 esettanulmányokon keresztüli összehasonlító vizsgálatát végzem.

3.4.1. ERA5 havi mezők vizsgálata (2016 január– 2016 február)

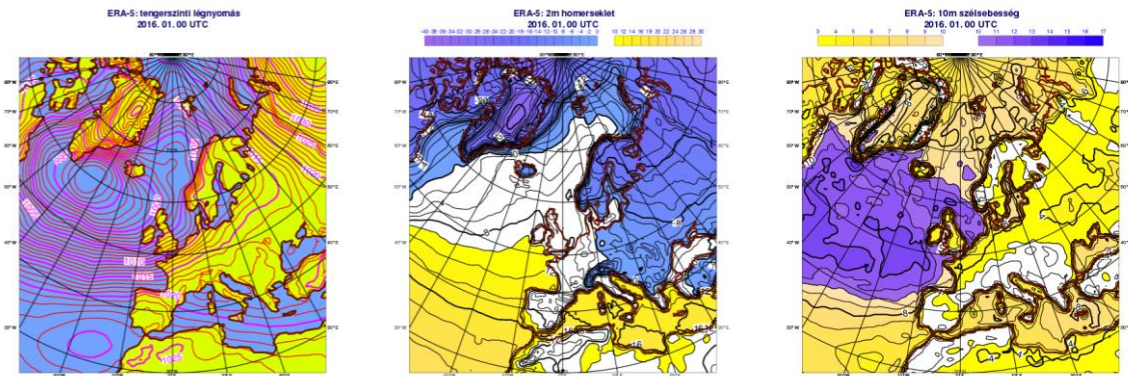
Vizsgálataim első részében az ERA5 által szolgáltatott tesztadatok alapján havi átlagmezők vizsgálatát háromóránkénti időbeli bontásban végeztem el. A két vizsgált hónap 2016 januárja és 2016 februárja. Célom a havi átlagmezők térbeli szerkezetének vizsgálata.

Tartomány kivágat: 90N, 180W, 20N, 180E

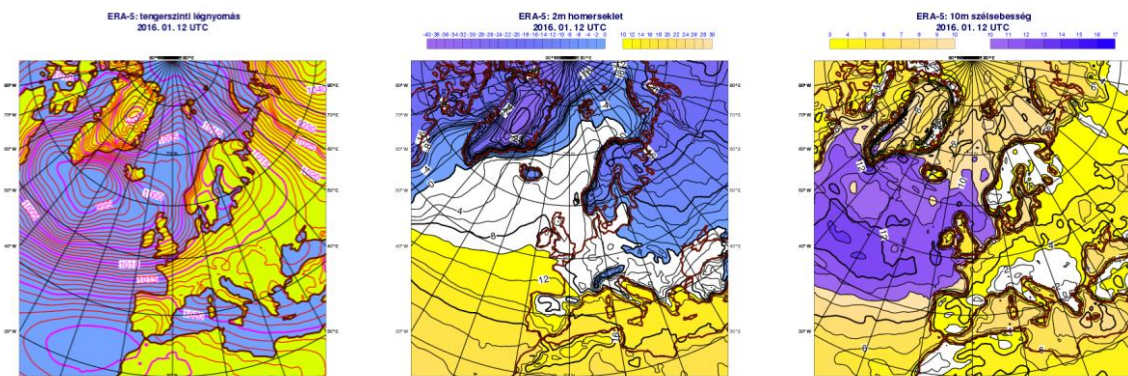
A vizsgált paraméterek:

paraméterek: tengerszinti légnyomás, 2 méteres hőmérséklet és a 10 méteres szélesség

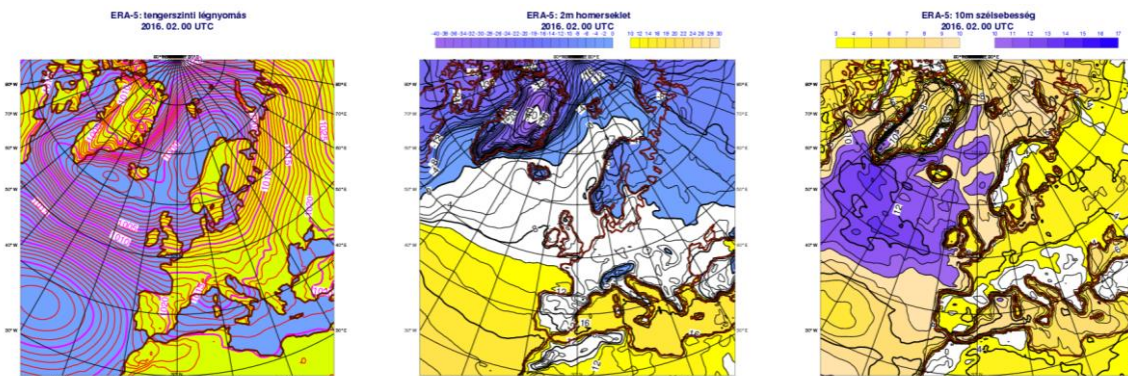
Mind a három paraméter esetén háromóránkénti összehasonlítást végzek, mivel az ERA-Interim három óránként szolgáltat adatokat (az ERA5, mint korábban már említettem, óránkénti analízist biztosít). A fenti adatok alapján most a januári és februári 00 UTC-t és 12 UTC-t ábrázoló térképeket mutatom be (52.–55. ábra). A teljes három óránkénti bontású térképsorozatot az 1. függelék tartalmazza.



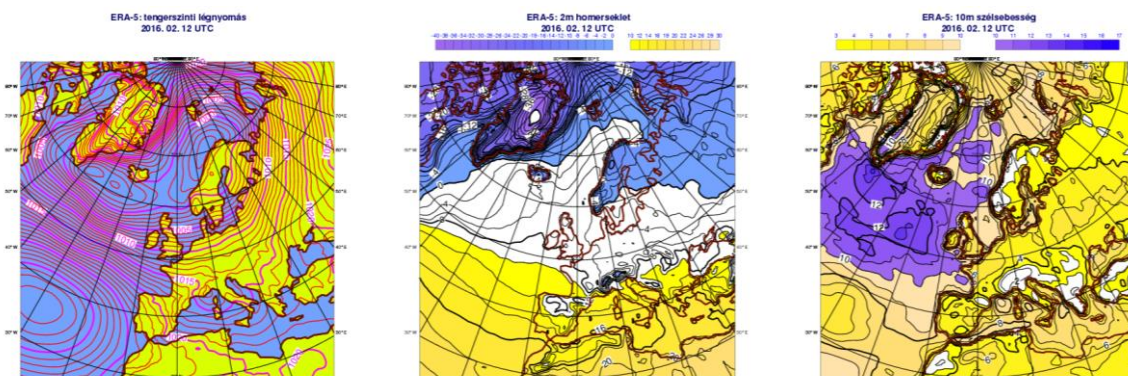
52. ábra: 2016. januári átlag légnyomás, 2m hőmérséklet, 10 szélesség az ERA5 alapján (00 UTC-kor)



53. ábra: 2016. januári átlag légnyomás, 2m hőmérséklet, 10 szélesség az ERA5 alapján (12 UTC-kor)



54. ábra: 2016. februári átlag légnyomás, 2m hőmérséklet, 10 szélesség az ERA5 alapján (00 UTC-kor)



55. ábra: 2016. februári átlag légnyomás, 2m hőmérséklet, 10 szélesség az ERA5 alapján (12 UTC-kor)

A háromóránkénti havi mezők finom térbeli struktúrában adják vissza a vizsgált meteorológiai paramétereket, emellett az időbeli változás bemutatása is nagyon jó (1. függelék). Az ERA5 31 kilométeres horizontális felbontásának köszönhetően – amely egyértelműen felülmúlja elődjeit – a térképek sokkal részletgazdagabbak.

Mind a három paraméter esetén jól kivehető az Észak-Atlanti-áramlat hatása. Ennek köszönhető az, hogy a 2 méteres hőmérséklet térképeken míg Új-Fundland területén (térkép bal felső sarka) akár mínusz húsz Celsius-fokot is láthatunk, az azonos szélességi körön kelet felé haladva Norvégia partjánál a tenger 0°C körüli hőmérsékletű. Az áramlat nem csupán az óceánhoz közeli partszakaszok, de egész Európa éghajlatára kedvező hatással van. Az ERA5 alapján készített térképeken ez is jól kivehető. Jótékony hatása különösen fontos az észak-európai telekre nézve, amelyek sokkal zordabbak lennének az áramlat jelenléte nélkül.

A 10 méteres szélesség mezőkön jól látszik a Kárpát-medencében egy északnyugat-délkelet irányú szelesebb sáv. Ez a bizonyos Mosonmagyaróvár-Szeged szeles tengely, amit a térképeken észrevehetünk. A Duna Dévényi-szorosban a Kárpát-medencébe történő belépése körzetében a völgyben - a Bernoulli-törvény miatt – az áramlás felgyorsul. A Kárpát-medence földrajzi sajátosságai miatt a medence délnyugati harmada, valamint az Északi-középhegység déli előtere és a Tiszántúl északi része szélvédett marad.

3.4.2. Az ERA5 és az ERA-Interim összehasonlítása esettanulmányokon keresztül

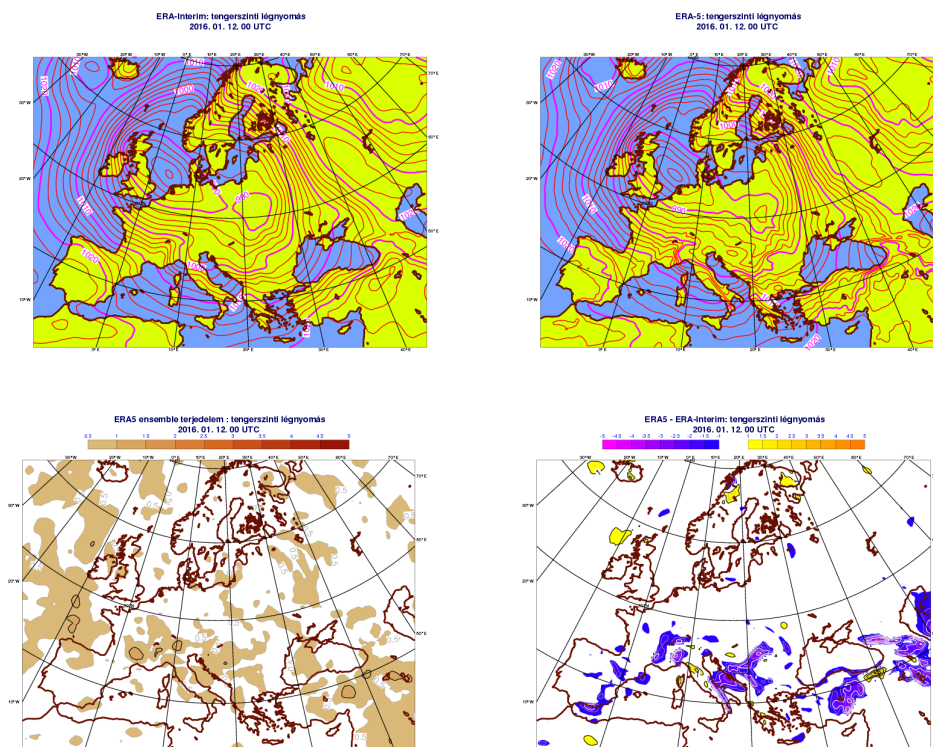
Az OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) honlapján elérhető időjárási napijelentés térképek felhasználásával olyan öt időjárási helyzetet választottunk ki, amikor a közép-európai térség időjárását ciklon határozta meg. Ezt követően az ugyanezen időpontokra készült ERA5 és az ERA-Interim mezőket vizsgáltam, illetve hasonlítottam össze. Az ERA5 és ERA-Interim alapján készült térkép kivágatok közel azonosak a napijelentés térkép kivágatával, hiszen arra törekedtem, hogy a térképek minél inkább összehasonlíthatóak legyenek egymással.

Az esettanulmányban vizsgált paraméter ebben az esetben - a napijelentés térképen is analizált - tengerszinti légnyomás volt. Az 56. ábrán látható térképcsoporton legfelül az időjárási fronttérkép, alatta a két reanalízis eredményei, legalul az ERA5-beli ensemble

terjedelem, illetve az ERA5 – ERA-Interim különbségmező. Alább a 2016. január 12-i esetet mutatom be, a további négy esettanulmányt a 2. függelék tartalmazza.

Természetesen a fő objektumok mind a két reanalízis esetén ugyanott helyezkednek el, viszont az ERA5 finomabb térbeli felbontásának köszönhetően részletgazdagabb képet nyújt, mint az ERA-Interim. Az ERA5 ensemble terjedelem térkép alapján megállapítható, hogy nem mutatható ki kapcsolat az időjárási objektumokkal. Egy példán szemlélítve, nem nagyobb a ciklonokban az ensemble terjedelem, mint az anticiklonok esetén. A nagyobb ensemble terjedelem a fejlett adatasszimilációs technikának köszönhetően nagyon jól kijelöli az aktuálisan bizonytalan területeket, így segítve a precízebb előrejelzések készítését.

Az ERA5 és ERA-Interim különbségmezők alapján sem mutatható ki sem a SYNOP hálózat sűrűségével való kapcsolat, sem a szárazföldi vagy tengeri hatás. A nagyobb számú kék folt jelzi, hogy az ERA5 esetén nagyobb területen mutatható ki negatív irányú eltérés, mint pozitív irányú az ERA-Interimhez képest. Mindezek mellett figyelemreméltó, hogy a Kaukázus térségében mind az öt esettanulmány esetén nagyobb eltérések jelentkeznek, de ez más magas hegyvidéki területeken – így az Alpokban, Pireneusokban és Kárpátokban – nem tapasztalható (2. függelék).



56. ábra: 2016. január 12.: 1. sor: időjárási napijelentés térkép [forrás: www.met.hu]; 2. sor: ERA5, ERA-Interim tengerszinti légnyomás mező; 3. sor: ensemble terjedelem, ERA5 – ERA-Interim különbség mező

Összefoglalás

Diplomamunkámban az ERA-Interim és az ERA-20C reanalízisek összehasonlító vizsgálatát végeztem el. A cél egy újszerű összehasonlítás készítése volt. Ennek érdekében kifejezetten nagy hangsúlyt fektettem arra a törekvésemre, hogy bemutassam, melyek azok a területek és időszakok, amelyekben a két reanalízis jobban korrelál, és melyek azok, amelyekben kevésbé.

A dolgozatom első részében a számszerű időjárásjelző modellek rövid történeti áttekintése után a reanalízis fogalmának bevezetésére koncentráltam, majd a 2. fejezetben a reanalízisek megjelenésének körülményeivel, térhódításának mikéntjével foglalkoztam. A reanalízisek megjelenése mérföldkönek számít nemcsak az előrejelző rendszerek pontosságának ellenőrzése szempontjából, de a globális éghajlatváltozás tanulmányozásának céljából is. Így ebben a fejezetben, az 1990-es években az ECMWF által készített első generációs ERA-15 rövid jellemzésétől egészen a napjainkban még fejlesztés alatt álló ötödik generációs ERA5 reanalízis teljes körű bemutatására törekedtem.

Az ECMWF reanalíziseire alapozott vizsgálataim során elsősorban az ERA-Interim és az ERA-20C-t igyekeztem bemutatni. Legelőször az ERA-20C alapján készített átlagtérképek vizsgálatával foglalkoztam az 1901-2000, 1901-1950 és 1951-2000 időszakokra lebontva. A vizsgált paraméterek a tengerszinti légnyomás és a tengeri jégborítottság voltak. Ennek a reanalízisnek vitathatatlan előnye, hogy a teljes XX. század vizsgálata megoldható általa. Mind a tengerszinti légnyomás, mind a tengeri jégborítottság mezőkön észrevehető az éghajlatváltozás erősödése a XX. század második felére. A tengerszinti légnyomás mezőkön ez a magasabb légnyomású rendszerek nagyobb kiterjedésében, míg a tengeri jégborítottság esetén az egyre kisebb októberi tengeri jég kiterjedésben mutatkozik meg. Emellett a század második felében a téli és a tavaszi tengeri jégborítottság mértéke is kisebb, azaz nem csak a nyári olvadás mértéke nőtt, hanem télen egyre kisebb mértékben épül ki a tengeri jég az Északi-sarkvidék területén.

Második lépésben az ERA-Interim és az ERA-20C összehasonlító vizsgálatát végeztem az 1981-2010 közötti 30 éves időszakot alapul véve. Ebben a részben a 30 havi átlagmező-párból számított korreláció mezők térbeli szerkezetének vizsgálata volt a célunk. A korrelációs vizsgálat során felhasznált paraméterek a tengerszinti légnyomás, a 850 hPa hőmérséklet és 500 hPa magasság voltak. Az analízis során arra a következtetésre jutottunk,

hogy alacsonyabb volt a korreláció a nyári időszakra, ezen belül is leginkább a szubtrópusi területeken. Az ERA-Interim és az ERA-20C között kisebb volt a korreláció a légkör magasabb rétegeiben (850 hPa), viszont erősebben korreláltak tengerszinten. Emellett a magaslégköri vizsgálat során szembetűnő, hogy az ERA-20C reanalízisben nincsen mód a magaslégkörből származó információk felhasználására, hiszen a XX. század első felében a műholdas és rádiószondás technológiák még nem voltak elérhetőek. Ennek köszönhető az 500 hPa magassága esetén a két reanalízis közötti magasabb korrelációs érték. Így vizsgálataink eredményei alátámasztották, hogy az ERA-20C reanalízis elsősorban a felszínközeli meteorológiai folyamatok leírására alkalmas.

Diplomamunkámban fontosnak tartottam extrém időjárási helyzetek vizsgálatát is. Mivel nagy jelentőséggel bír a viharciklonok keletkezésének megértése és precízebb előrejelzésük, így dolgozatomban is előtérbe helyeztem ezeket a jelenségeket. A 3.3-as alfejezetben először röviden tárgyaltam a viharciklonok jellemzőit, és a szakirodalomban való megjelenésüket, majd a 2007 januárjában Nyugat-Európában nagy károkat okozó Kyrill viharciklont mutattam be esettanulmányként. A viharciklon keletkezésének nyomon követésére az ERA-Interim adatai alapján készítettünk térképeket. A térképeken jól kivehető a ciklon mélyülése, és több centrumú jellege, az ERA-Interim megfelelően használható e jelenségek fejlődésének és szerkezetének vizsgálatához.

Mindezek után a viharciklonok statisztikai vizsgálatával foglalkoztam a 3.3.2-es alfejezetben. Ehhez először az ERA-Interim és ERA-20C közös 1981-2010 közötti időszakában havi bontásban vizsgáltam a viharciklonok gyakoriságát és térbeli elhelyezkedésüket. Egyértelműen megmutatkozott mind a két reanalízis alapján a viharciklon gyakoriságának éves menete. Előfordulásuk decemberben és januárban volt a legtöbb, míg a május és július közötti három hónapban a legkevesebb. Térbeli elhelyezkedésüket tekintve leginkább az Új-Fundland keleti partjától az Atlanti-óceán középső térségein át Európa keleti partszakaszáig voltak megfigyelhetőek, emellett leggyakoribb elhelyezkedésük az északi szélesség 45° és a 75° közé tehető. A térképeket hónapról hónapra megfigyelve kitűnt az ERA-20C durvább horizontális felbontása. Ennek következménye, hogy az év nagy részében ezeken a térképeken kevesebb viharciklon volt megfigyelhető, mint az ERA-Interim adatai alapján készült térképeken. A viharciklonok Európát érintő pályáit tanulmányozva arra a következtetésre jutottunk, hogy a viharciklonok csak a téli hónapokban jutnak el a földrész kontinentális területeire.

A következő lépésben csak az ERA-20C reanalízis alapján az 1921-1950, 1951-1980 és 1981-2010 közötti időszakokban vizsgáltam a viharciklonok gyakoriságát és térbeli elhelyezkedését havi bontásban. Ebben az esetben is jól kivehető volt a viharciklon gyakoriság éves menete, emellett pedig az is, hogy februári hónapot követően csökkenés figyelhető meg a pályák számában, amely egészen nyár közepéig tart. Júliusban figyelhető meg mind a tizenkét hónap és mind a három időszak esetén a legkevesebb viharciklon pálya. Augusztustól újra növekedésnek indul a pályák száma, amely októberről novemberre ugrásszerűen megnő. A három időszakot megfigyelve, az idő előrehaladtával a téli hónapokban átlagosan nőtt a viharciklon pályák száma, míg a tavaszi, nyári időszakban csökkenés mutatkozott. A pályák térbeli elhelyezkedését tekintve a téli időszakban a viharciklon pályák sűrűn beborították az egész Atlanti-térséget. Tavasszal és nyáron a pályák egyre ritkásabban helyezkedtek el, és az az Atlanti-óceán középső területein koncentráálódtak. Majd ősztől télig újra sűrűsödtek a viharciklonok pályái, és a térbeli elhelyezkedésük is kiszélesedik.

A viharciklonokat érintő utolsó lépésként gyakoriság vizsgálat keretein belül vizsgáltam az 1951 és 2010 közötti hatvanéves időszakot az ERA-20C alapján. A következő harmincéves időszakokkal dolgoztam: 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000, és 1981-2010. A gyakoriság vizsgálatot elvégeztem egész éves, nyári és téli félév, nyári és téli évszakra egyaránt. Az analízis alapján megállapítottuk, hogy a téli félév és a téli évszak mutatott legnagyobb mértékű egyezést a viharciklon intenzitás éves gyakoriságával, míg a nyári félév és a nyári évszak esetén nagyok voltak a valószínűségek közötti ingadozások a különböző osztályok és a különböző légnyomás tartományok esetén. Mindazonáltal egyértelműen kijelenthetjük az eredmények tükrében, hogy a nyári félévben is kialakulhatnak viharciklonok, nem csak a téliben. Ráadásul a nyári időszak volt az, amikor kiemelkedő valószínűségi értékeket kaptam egyes légnyomás tartományokban, amelyhez hasonló egyszer sem fordult elő a téli időszakban. A vizsgálat alapján az is kijelenthető, hogy a legnagyobb valószínűséggel a 950-980 hPa közötti tartományban mélyültek ki viharciklonok a XX. század végén és a XXI. század elején.

Saját munkám utolsó részében a jelenleg fejlesztés alatt álló ERA5 és az ERA-Interim összehasonlító vizsgálatát végeztem el. Első lépésként az ERA5 tesztadatok alapján havi átlagmezőket vizsgáltam, háromóránkénti időbeli felbontásban 2016 januárjára és februárjára. A vizsgált paraméterek a tengerszinti légnyomás, a 2 méteres hőmérséklet és a 10 méteres szélesség voltak. Az ERA5 alapján készített térképek sokkal részletgazdagabbak voltak,

ez az analízis sokkal jobb horizontális felbontásának köszönhető. Ezt követően az ERA5 és az ERA-Interim összehasonlítását öt esettanulmányon keresztül végeztem el. A vizsgált paraméter minden esetben a tengerszinti légnyomás volt. Ebben az esetben a fő objektumok térképeken való elhelyezkedése megegyezett a két reanalízis esetén, de itt is sokkal részletesebb képet kaptunk az ERA5 adatait felhasználva, mint az ERA-Interim esetén. A két reanalízis különbségmezői alapján készült térképen nem figyelhető meg a SYNOP hálózat sűrűségével való összefüggés, sem a tengeri vagy szárazföldi hatás.

Összességében kijelenthető, hogy a reanalízisek összehasonlító vizsgálata sok új információt adott. Átfogó képet kaptam az ERA-Interim és az ERA-20C előnyeiről és hátrányairól. Emellett az ERA5 tesztadatai alapján alátámasztható, hogy a felhasználók igényeinek minél teljesebb mértékű kielégítéséhez a reanalízisek folyamatos fejlesztésére szükséges. Ugyanis minél pontosabb információt kaphatunk a légkör múltbeli és jelenbeli állapotáról, a szakemberek annál pontosabban tudnak becslést adni a légkör állapotának jövőbeli várható alakulására. Ez pedig kifejezetten fontos szempont az éghajlatváltozás elleni küzdelemben.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Ihász Istvánnak a rengeteg inspiráló ötletért, és tanácsért, a témában szerzett tudásom megszerzésében nyújtott rengeteg segítségért. Köszönöm, hogy munkájával hozzájárult mind szakmai mind személyiségem fejlődéséhez, és nem utolsósorban köszönet a lelkiismeretes munkájáért, amivel hozzájárult a diplomamunkám létrejöttéhez.

Továbbá szeretném megköszönni Barcza Zoltánnak, meteorológia tanszéki konzulensemnek hogy munkámat figyelemmel kísérte és tanácsaival, észrevételeivel segítette.

Emellett köszönetemet szeretném kifejezni családomnak, barátaimnak és mindazoknak, akik valamilyen formában hozzájárultak a dolgozatom elkészültéhez.

Irodalomjegyzék

Berrisford, P., Kallberg, P., Kobayashi, S., Dee, D., Uppala, S., Simmons, A.J., Poli, P., Sato, H., 2011: Atmospheric conservation properties in ERA-Interim. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 1381–1399.

Charney, J. G., Fjortoft, R., Neumann, J., 1950: Numerical Integration of the barotropic vorticity equation, *Tellus*, 2, 237-254.

Dee, D. and Calnan, R., 2014: Start of the ERA-CLIM2, *ECMWF Newsletter*, 139, 6.

Dee, D. and Riddaway, B., 2014: Climate reanalysis, *ECMWF Newsletter*, 139, 15-21.

Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., Van de Ber, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.J., Park, B.K., Puebey, C., Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.N., Vitart, F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 553–597. DOI:10.1002/qj.828

ECMWF, 2016: ECMWF Strategy 2016-2025, 30.

Gibson, J.K., Kållberg, P., Uppala, S., Nomura, A., Hernandez, A., Serrano, E., 1997: ERA Description. *ECMWF Re-Analysis Project Report Series*.

Haiden, T., Janousek, M., Hersbach, H., 2016: ERA5 aids in forecast performance monitoring, *ECMWF Newsletter*, 150, 8.

Hersbach, H., Dee, D., 2016: ERA5 reanalysis is in production. *ECMWF Newsletter*, 147, 7.

Kallberg, P., Simmons, A., Uppala, S., Fuentes, M., 2004: 17. The ERA-40 Archive, *ERA-40 Prejects Series*, ECMWF, 32.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, B., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D., 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.

Klinker, E., Rabier, F., Kelly, G., and Mahfouf, J.-F., 2000, The ECMWF operational implementation of four-dimensional variational assimilation. III: Experimental results and diagnostics with operational configuration. *Q. J. R. Met. Soc.*, 126, 564, 1191.

Kurunczi, R., 2009: Viharciklonok objektív detektálása az atlanti-európai térségben. *Diplomamunka*, ELTE TTK, Budapest, 77.

Lim, E.-P., Simmonds, I., 2002: Explosive Cyclone Development in the Southern Hemisphere

and a Comparison with Northern Hemisphere Events. *Monthly Weather Review*, 130, 2188-2191

Mahfouf, J.-F. and Rabier, F., 2000, The ECMWF operational implementation of four-dimensional variational assimilation. II: Experimental results with improved physics. *Q. J. R. Met. Soc.*, 126, 564, 1171.

Práger, T.,1982: Numerikus prognosztika, *Tankönyvkiadó, Budapest*, 10-16.

Poli, P., Hersbach, H., Dee, D., Berrisford, P., Fuentes, M., Domingues, J.J., Manaoussakis, M., 2014: ERA-20C goes public for 1900-2010. *ECMWF Newsletter*, 141, 9.

Rabier, F., Järvinen, H., Klinker, E., Mahfouf, J.F. and Simmons, A., 2000, The ECMWF operational implementation of four-dimensional variational assimilation. I: Experimental results with simplified physics. *Q. J. R. Met. Soc.*, 126, 564, 1143.

Raoult, B., 2001: MARS on the Web: a virtual tour. *ECMWF Newsletter*, 90, 9-17.

Sanders, F., Gyakum, J. R., 1980: Synoptic–dynamic climatology of the ‘‘Bomb’’. *Monthly Weather Review*, 108, 1589–1594.

Siemen, S. and Lamy-Thépaut S., 2010: MAGICs++ 2-8 – New developments in ECMWF’s meteorological graphics library. *ECMWF Newsletter*, 122, 32-33.

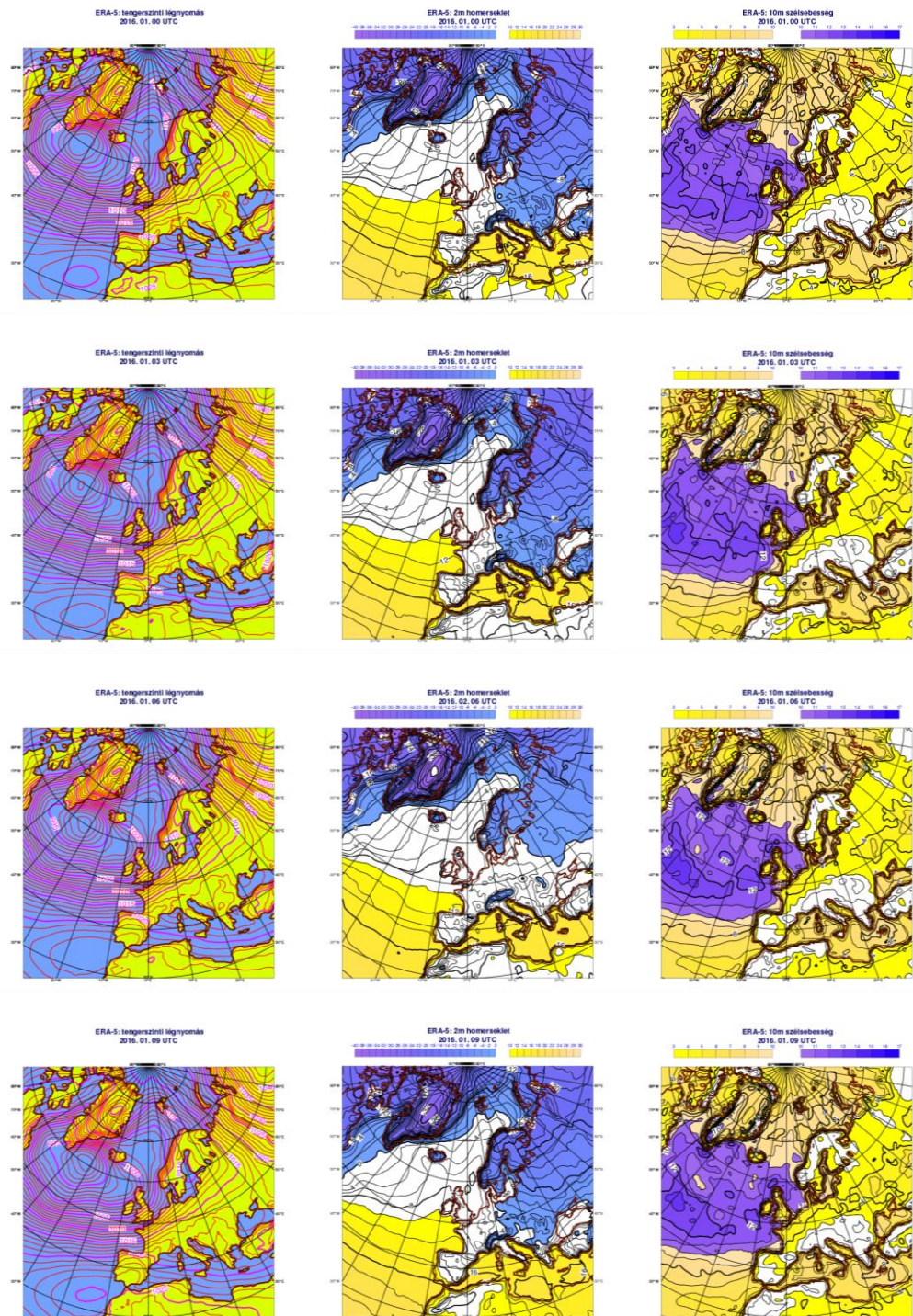
Uppala, S. M., Kallberg, P., Simmons, A. J., Andrae, U., Da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G. A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A., Beljaars, A. C. M., Van De Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, L., Janssen, P. A. E. M., Jenne, R., McNally, A. P., Mahfouf, J. F., Morcrette, J. J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J.. 2005: The ERA-40 re-analysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131, 2961–3012.

Woods, A., 2005: Medium-Range Weather Prediction – The European Approach. *Springer*, 270.

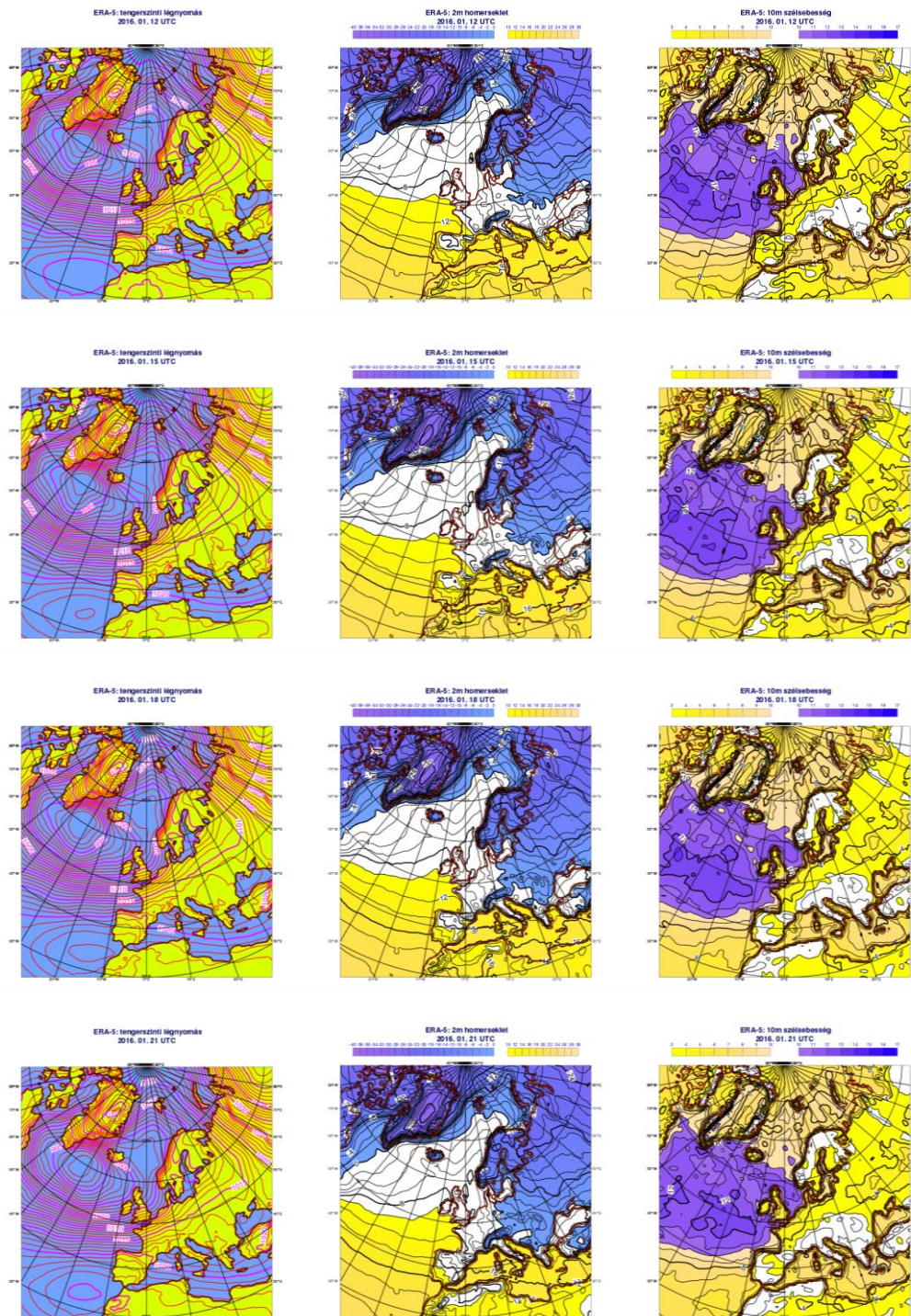
[www.ecmwf.int] <http://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production>

[climate.copernicus.eu] <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>

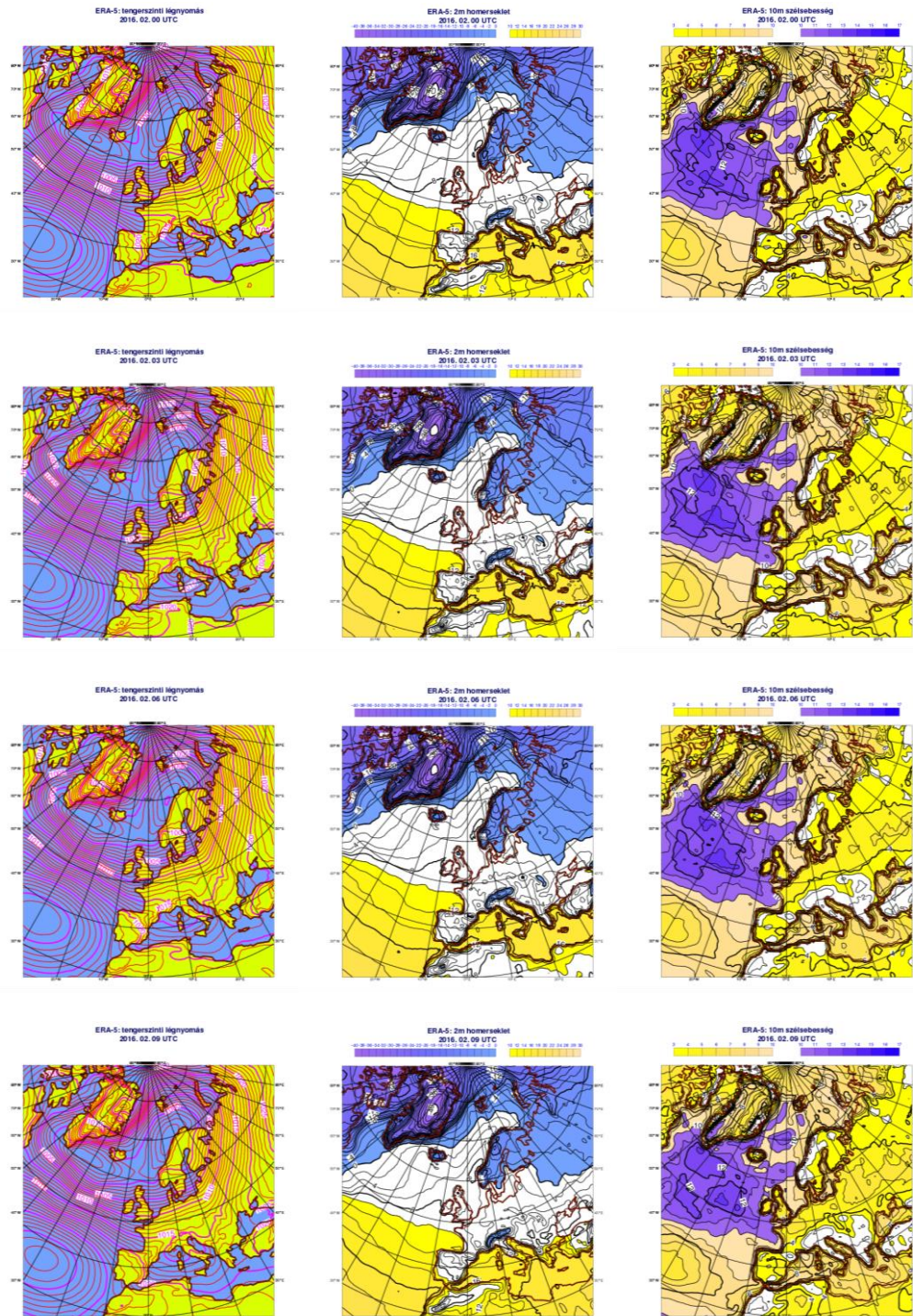
1. Függelék



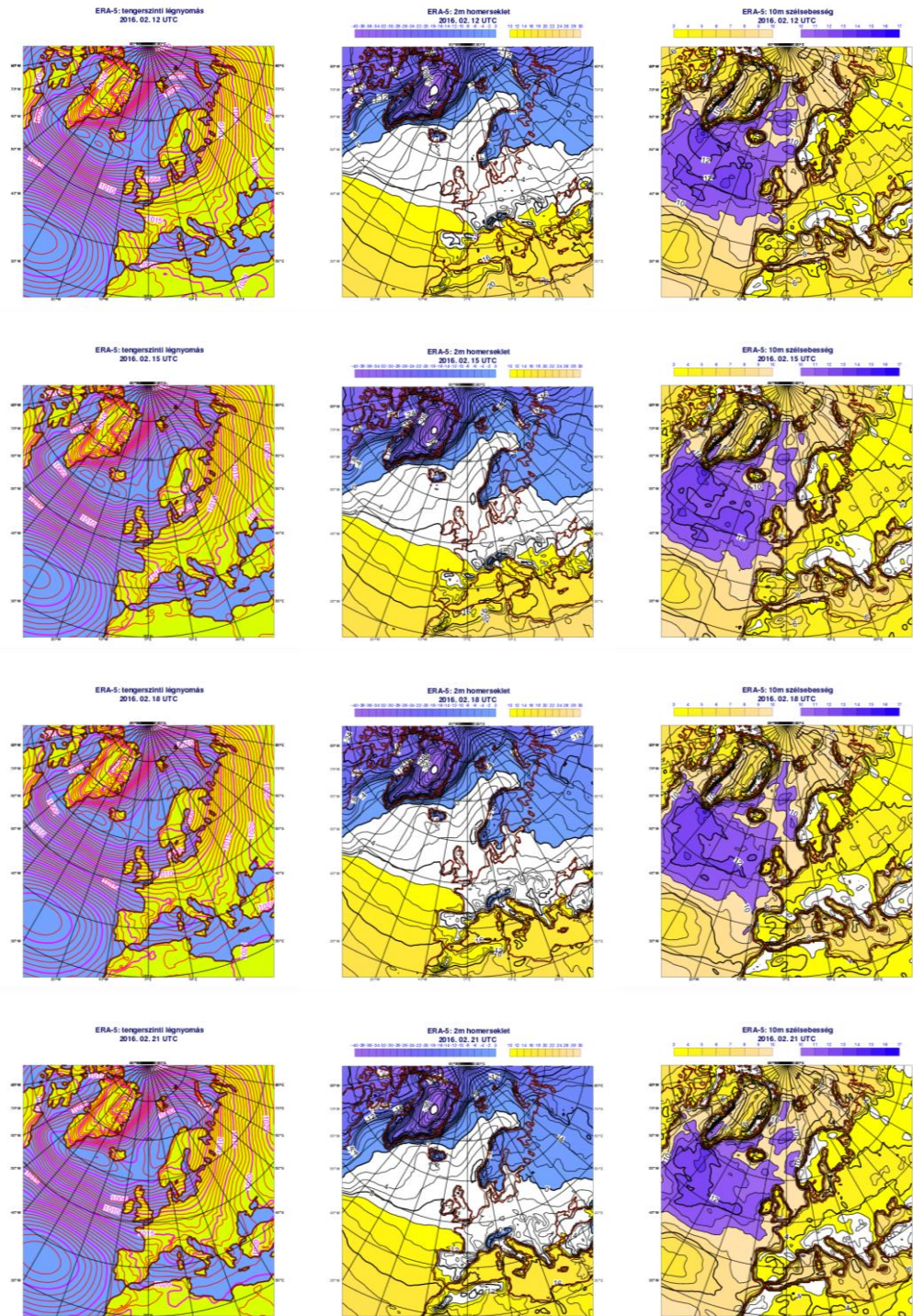
F1-1. ábra: 2016. januári havi átlag légnyomás, 2m hőmérséklet, 10 szélesség az ERA5 alapján (00, 03, 06 és 09 UTC-kor)



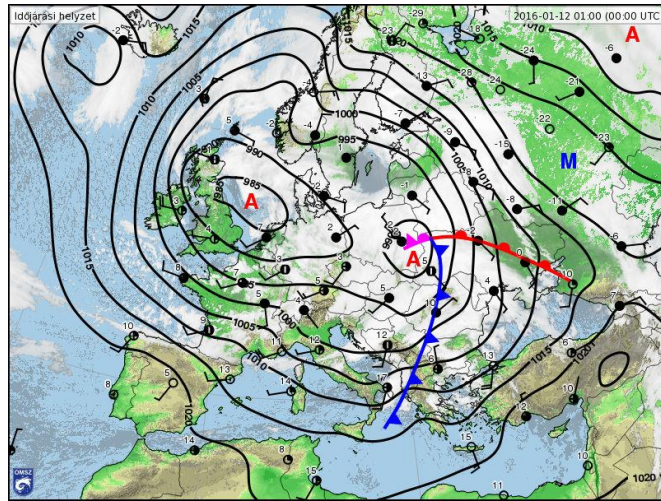
F1-2. ábra: 2016. januári havi átlag légnyomás, 2m hőmérséklet, 10 szélesség az ERA5 alapján (12, 15, 18 és 21 UTC-kor)



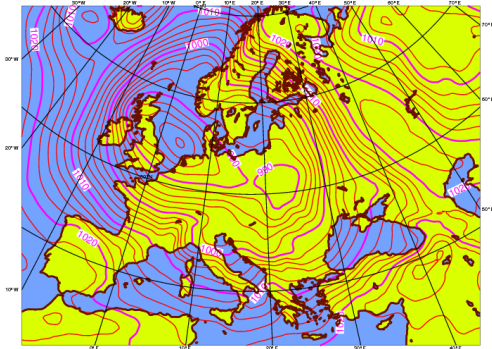
F1-3. ábra: 2016. februári havi átlag légnnyomás, 2m hőmérséklet, 10 szélsébség az ERA5 alapján (00, 03, 06 és 09 UTC-kor)



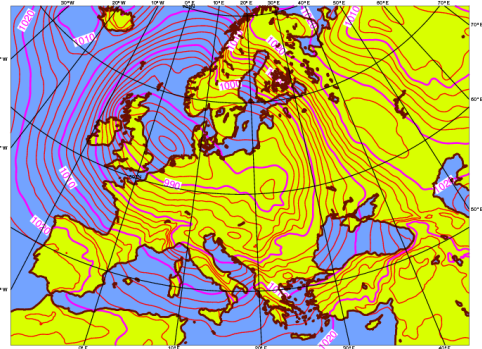
F1-4. ábra: 2016. februári havi átlag légnomás, 2m hőmérséklet, 10 szélsőesség az ERA5 alapján (12, 15, 18 és 21 UTC-kor)



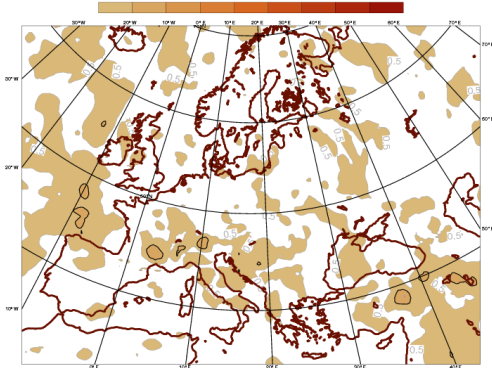
ERA-Interim: tengerszinti légnymás
2016. 01. 12. 00 UTC



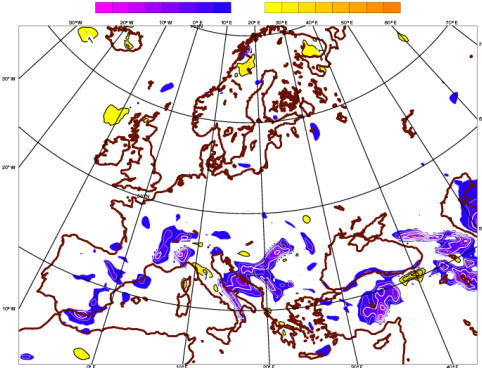
ERA-5: tengerszinti légnymás
2016. 01. 12. 00 UTC



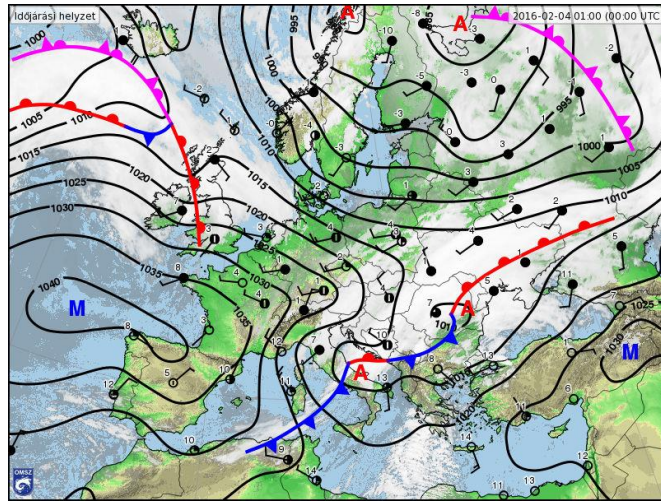
ERA5 ensemble terjedelem: tengerszinti légnymás
2016. 01. 12. 00 UTC



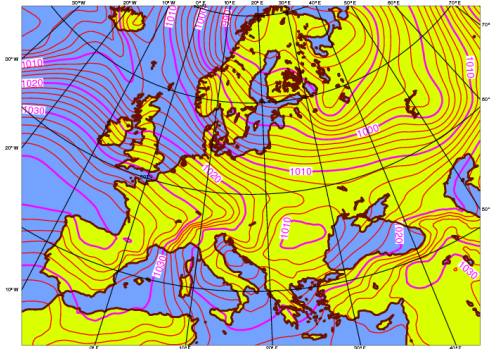
ERA5 - ERA-Interim: tengerszinti légnymás
2016. 01. 12. 00 UTC



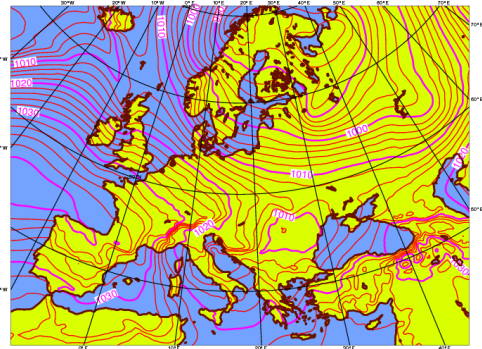
F2-2. ábra: 2016. január 12.: 1. sor: időjárási napijelentés térkép [forrás: www.met.hu]; 2. sor: ERA5, ERA-Interim tengerszinti légnymás mező; 3. sor: ensemble terjedelem, ERA5 – ERA-Interim különbség mező



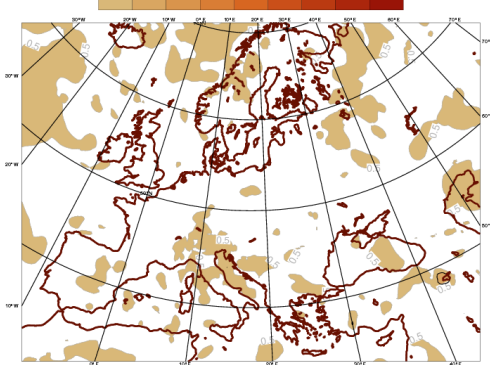
ERA-Interim: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 04. 00 UTC



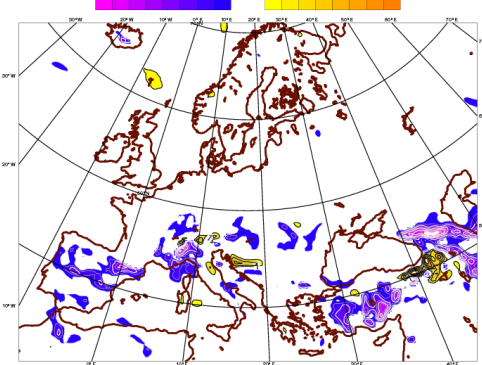
ERA-5: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 04. 00 UTC



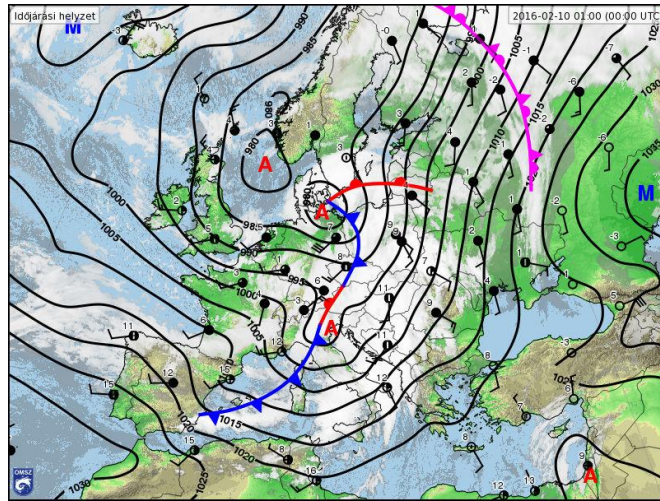
ERA5 ensemble terjedelem: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 04. 00 UTC



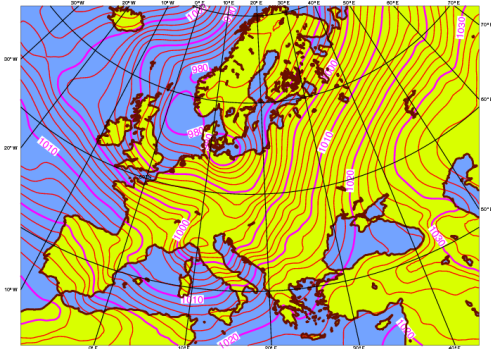
ERAS - ERA-Interim: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 04. 00 UTC



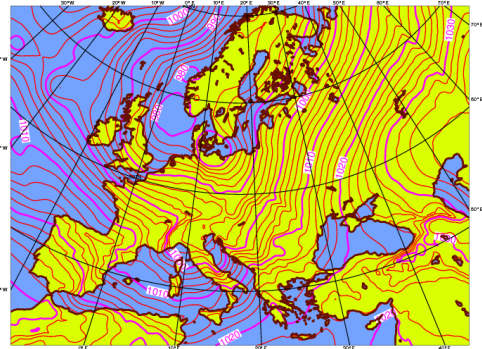
F2-3. ábra: 2016. február 4.: 1. sor: időjárás napijelentés térkép [forrás: www.met.hu]; 2. sor: ERA5, ERA-Interim tengerszinti légnyomás mező; 3. sor: ensemble terjedelem, ERA5 – ERA-Interim különbség mező



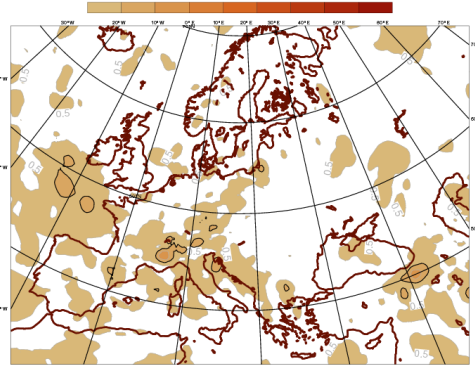
ERA-Interim: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 10. 00 UTC



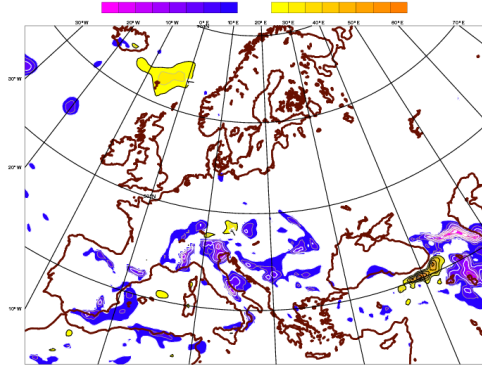
ERA-5: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 10. 00 UTC



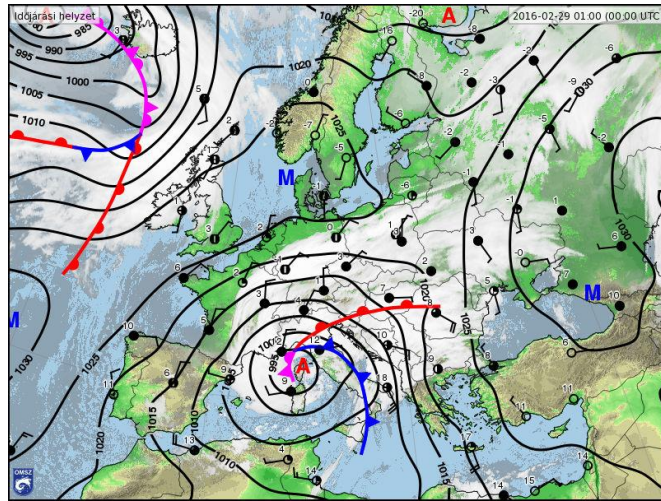
ERA5 ensemble terjedelem : tengerszinti légnyomás
2016. 02. 10. 00 UTC



ERA5 - ERA-Interim: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 10. 00 UTC

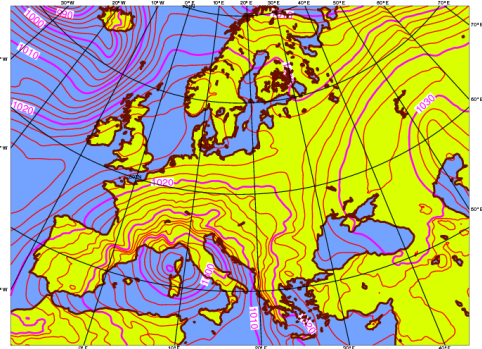
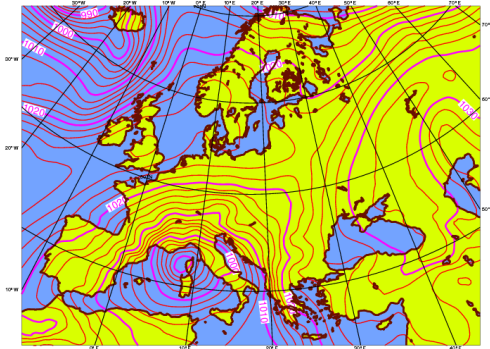


F2-4. ábra: 2016. február 10.: 1. sor: időjárás napijelentés térkép [forrás: www.met.hu]; 2. sor: ERA5, ERA-Interim tengerszinti légnyomás mező; 3. sor: ensemble terjedelem, ERA5 – ERA-Interim különbség mező

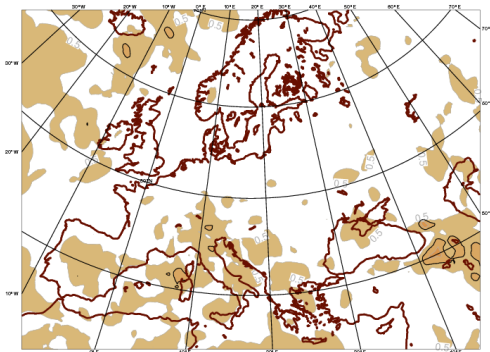


ERA-Interim: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 29. 00 UTC

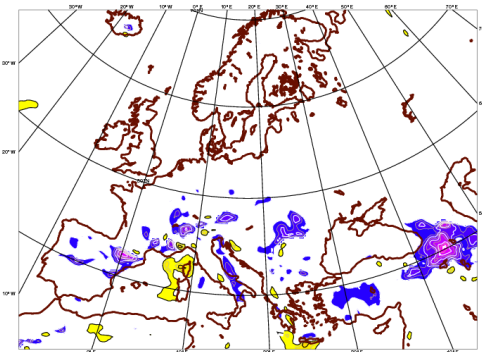
ERA-5: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 29. 00 UTC



ERA5 ensemble terjedelem: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 29. 00 UTC



ERA5 - ERA-Interim: tengerszinti légnyomás
2016. 02. 29. 00 UTC



F2-5. ábra: 2016. február 29.: 1. sor: időjárás napijelentés térkép [forrás: www.met.hu]; 2. sor: ERA5, ERA-Interim tengerszinti légnyomás mező; 3. sor: ensemble terjedelem, ERA5 – ERA-Interim különbség mező