

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Hegyvidéki sport és turizmus az éghajlatváltozás tükrében

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

Bata Judit

Meteorológus mesterszak,
Időjárás-előrejelző szakirány

Témavezetők:

Soósné Dr. Dezső Zsuzsanna

Dr. Pieczka Ildikó

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2017

TARTALOM

I. BEVEZETÉS	2
II. AZ ALPOK.....	3
III. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
1. Alpesi síközpontok vizsgálata hóbiztosság szempontjából.....	7
2. Hóval kapcsolatos extrém indexek vizsgálata.....	9
IV. SAJÁT SZÁMÍTÁSOK.....	14
1. A felhasznált adatbázisok bemutatása	14
2. Az Alpok éghajlatának általános jellemzése	17
A. Csapadék	17
B. Hőmérséklet	23
C. Szilárd halmazállapotú csapadék	28
V. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSHOZ VALÓ ALKALMAZKODÁS, AZ ALPESI TURIZMUS LEHETSÉGES JÖVŐJE.....	34
VI. ÖSSZEFOGLALÁS.....	39
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	41
VII. IRODALOMJEGYZÉK	42
Internetes hivatkozások	44

I. BEVEZETÉS

Alapszakos szakdolgozatomban a téli olimpiák meteorológiai hátterét vizsgáltam szinoptikus és klimatológiai értelemben. Bemutattam, hogy az ilyen eseményeken az meteorológia szerepe kulcsfontosságú, gyakran a rendezvény sikerét befolyásolhatja egy-egy időjárási esemény (Bata, 2015). Most folytatom ezt a témát, de már nemcsak a négyévente sorra kerülő olimpia, hanem a mindennapi élet, a sport és a turizmus szempontjából is vizsgálom a hegyvidéki életet az éghajlatváltozás tükrében.

Európa legnagyobb hegysége az Alpok, melynek területe 190 ezer km², és több mint 14 millió embernek ad otthont. Az Alpok Európa egyik legkedveltebb turisztikai célpontja, évente körülbelül 120 millióan keresik fel. Ezért választottam épp az Alpokat vizsgálataim helyszínéül. Az Alpok kifejezetten érzékeny az éghajlatváltozásra, a múlt évszázadban megfigyelt hőmérséklet-emelkedése nagyobb a globális átlagnál.

Diplomamunkámban bemutatom az Alpok elhelyezkedését, az országainak sokszínűségét, majd két fontos esettanulmányt ismertetek, melyek azt vizsgálták, hogy a milyenek a jelenlegi, illetve milyenek lehetnek a jövőbeli hóviszonyok az Alpokban. Két adatbázis (EURO4M-APGD és HISTALP) segítségével saját számítások alapján ismertetem az Alpok múltbeli hőmérsékleti és csapadékviszonyait, különös tekintettel a hóhelyzetre. Végül bemutatom, hogy milyen jövő vár a téli sportokra, illetve, hogy hogyan tud a turizmus alkalmazkodni a folyamatosan változó klimatikus viszonyokhoz.

II. AZ ALPOK

Az Alpok Európa legmagasabb hegysége. A kontinens szívének is szokták nevezni, hiszen az európai történelem meghatározó színhelye volt régen is, és napjainkban is. Ehhez a szerepéhez nagymértékben hozzájárul, hogy összetett, minden szempontból sokszínű területről beszélünk. Egyedülálló természeti kincs, melynek domborzata, flórája és faunája igen változatos. Ezenkívül Európa egyik legfontosabb ökológiai, gazdasági, kulturális és turisztikai központja, mely nyolc nemzetnek ad otthont. Téli sportja és turizmusa egyedülálló, az Alpok tíz téli olimpiának, és számtalan egyéb sportversenynek adott otthont.

Az Alpok völgyeit évezredek óta lakják, hágóin keltek át a punok Hannibál vezetésével Kr. e. 218-ban. Az időjárásnak is történelemalakító szerepe volt: Hannibál seregével októberben kelt át az Alpokon. Az észak-afrikai harcosok számára szokatlan hideg, zord idő és a hó miatt húszezer emberéletet követelt az átkelés (*Kertész, 2006*).

Az Alpok nyolc országa közül Svájc az egyik legkedveltebb utazási célpont, nemcsak turisztikai, hanem üzleti célból is sokan keresik fel. Már nagyon korán elkezdődött a polgárosodás, lakossága területileg elkülönült, és egymással laza viszonyban álló kantonokba rendeződött. Földrajzi fekvésének, domborzati tagoltságának és tengerszint feletti magasságának köszönhetően semleges országgá vált, mely még a világháborúknak is nagy nyertese lett: a háború sújtotta országok tőkéje Svájcba áramlott, így lett nemzetközi pénzközpont (*Probáld et al., 2007*). Függetlensége miatt pedig számos nemzetközi szervezet központja található területén. Ma a demokrácia fellegvéra Svájc, szinte minden fontos kérdésben népszavazással döntenek. Az idegenforgalom is jelentős, egyrészt az átmenő forgalom nagy, a jól kiépített infrastruktúrát rengetegen használják. A turizmus egyik legfontosabb eszköze a vonat, mely télen sokkal jobban használható, mint az autó, hiszen a magashegységi hágók autópályáinak nagy része csak júniustól októberig használható. Az autópályák forgalma is igen nagy, és ez környezetvédelmi problémákat okoz (*Probáld et al., 2007*). Svájc a téli sportok, a gyógy- és üdülőhelyek, illetve a túrázók országa, igazi turistaparadicsom.

Ausztria területének nagy része az Alpokhoz tartozik. A Német-római Birodalom után a Habsburgok uralták területét, és létrehozták az Osztrák Császárságot. Később létrejött az Osztrák–Magyar Monarchia, mely az I. világháború után szétesett. Ausztria kevésbé volt szerencsés a második világháborúban, mint Svájc: területét leigázták a németek, majd a

győztes hatalmak szállták meg, és csak 1955-ben vált újra függetlenné (*Probáld et al.*, 2007). A szolgáltatóipar itt is jelentős, idegenforgalma a hegyvidéki üdülőknek, a falusi turizmusnak, a gyógyfürdőknek és a gyönyörű Duna-völgynek köszönhetően igen nagy.

Bár Franciaország területének igen kis hányada esik az Alpok térségébe, a Francia-Alpok nagy idegenforgalmat vonz. Az olaszországi területeken is sok, igen kedvelt síparadicsom található, illetve a turisták szívesen keresik fel az Alpok déli lábánál elhelyezkedő gleccserek vájta tavakat (pl. Comói-tó, Garda-tó). Szlovénia területére a Júliai- és a Kamniki-Alpok esik. A fenyvesek és havasi rétek, valamint a tengerszemek várják a kikapcsolódni vágyókat (*Probáld et al.*, 2007). A dél-német tartományok kedvelt turistacélpontjai az alpesi tavak és a világhírű üdülőhelyek (mint például Garmisch-Partenkirchen, mely az 1936-os téli olimpiának adott otthont). Az Alpok területén található még a két törpeállam, Liechtenstein és Monaco, melyek kedvelt turisztikai célpontok. Liechtenstein kiválóan alkalmas alpesisízésre, még liechtensteini olimpiai bajnoka is van a számnak. Egyéb hegyvidéki sportok kedvelői is szívesen felkeresik, területén lehetőség nyílik túrázásra, vadvízi evezésre, horgászatra és kerékpározásra is.

Az éghajlatváltozás már napjainkban is szemmel látható, de a klímakutatók még nagyobb változásokra hívják fel a figyelmet: magasabb átlaghőmérséklet, gyakoribb és intenzívebb csapadék- és hőmérsékleti extrémumok, az alacsonyabban fekvő területeken kevés hó, a magasban az állandóan fagyott területek olvadása várható. Az alpesi országok korán felismerték a klímaváltozás veszélyeit. Ezért az 1990-es évek elején létrehozták az Alpine Convention¹-t, mely egy nemzetközi szerződés, és célja az Alpok védelme és a fenntartható fejlődés elősegítése, az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás stratégiájának kidolgozása [1]².

A hegyvidéki területek időjárási és klimatológiai vizsgálata igen összetett és nehézségekbe ütközik. Ezeknek a nehézségeknek *Barry* (1981) szerint három fő oka van. Az első az, hogy az emberi tevékenységek fő helyszíne gyakran a hegyvidékektől távol esik. A hegyvidéki meteorológiai állomások telepítésének és karbantartásának nehézségei miatt gyakran könnyen megközelíthető helyeken, völgyekben vannak az állomások. A második ok, hogy a hegyvidéken kis területen nagyon változatos helyi időjárási körülmények alakulhatnak ki, ezért egy-egy állomás mérései csak kis területre lesznek reprezentatívak. Nagy gond

¹ Alpine Convention: Alpesis Szerződés

² Az internetes források az Irodalomjegyzék végén találhatóak

viszont, hogy a hegyekben sokkal ritkább a mérőhálózat, mint síkvidéken. A harmadik ok, hogy a hegyvidéki állomásokon komoly nehézségekbe ütközik a szokásos meteorológiai mérések és megfigyelések kivitelezése.

Bár egyes hegységek nagyon különböznek egymástól, közös jellemzőjük, hogy a topográfia minden hegyvidéken igen összetett. Az orográfia miatt az egyes meteorológiai paraméterek gradiense nagy, és változásuk is gyors. A hőmérséklet- és csapadékmennyiség változása kis távolságon belül nagy, ez befolyásolja a lefolyást és az eróziót (*Beniston, 2005*).

A hegyvidékek különösen érzékenyek az éghajlatváltozásra, ezért megfelelőek a klímaváltozás ökológiai, hidrológiai, társadalmi hatásainak vizsgálatára (*Beniston, 2005*). A hegységek a hidrológiai ciklus fontos részei, hiszen számos folyó forrása található a területükön, és a gleccserekből táplálkoznak. Az éghajlatváltozás során megváltozik a csapadék szezonális és területi eloszlása. Ez nagy hatással lesz a folyóvizekre, és ez társadalmi-gazdasági változásokat okozhat (*Beniston et al., 1997*).

A meteorológiai értelemben legjobban ismert hegység az Alpok. Bajorországban, az Alpok előterében található a legrégebbi hegyvidéki meteorológiai állomás, a Hohenpeißenbergi Obszervatórium, melyben 1781 óta végeznek rendszeres méréseket (*Barry, 1981*).

Az Alpok kb. 800 km hosszú, átlagosan 2500 m magas, íves hegyvonulat, melyet mély völgyek tagolnak. Legmagasabb hegye a Mont Blanc, melynek csúcsa a tengerszint felett 4808 m-rel található. Az alpesi időjárás azért különösen változatos, mert a domborzat megváltoztatja az áramlási viszonyokat, és egyedi időjárási jelenségeket (pl.: fön, lee oldali ciklogenezis) hoz létre (*Schär et al., 1998*).

Az Alpok éghajlatválasztó hegység: az óceáni, a kontinentális és a mediterrán térségek között húzódik, így ezek az éghajlattípusok mind hatással vannak az Alpok klímájára. A hőmérséklet a magassággal csökken: a téli félévben 100 m-enként átlagosan 0,4 °C a csökkenés, nyáron 0,7 °C (*Gábris et al., 2007*). A két érték közti különbség oka, hogy télen gyakori a hőmérsékleti inverzió, azaz a medencékben „beragad” a hideg, ködös idő, míg a hegycsúcsokon süt a nap. Az inverziós helyzet a völgyekben a légszennyező anyagok feldúsulását eredményezi. A völgyekben a délre néző lejtők több napsugárzást kapnak, mint az északiak, ezért a hőmérsékletben is jelentős eltérés mutatkozik (*Gábris et al., 2007*).

A csapadékmennyiség területi eloszlása igen változatos. Általánosságban elmondható, hogy a csapadékösszeg nő a magassággal, de a pontos mennyiség függ az évszaktól és a területtől (*Schär et al.*, 1998). Az átlagos éves csapadékmennyiség 500 és 3000 mm között alakul, a pontosabb területi eloszlásról a IV. fejezetben írok bővebben.

III. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

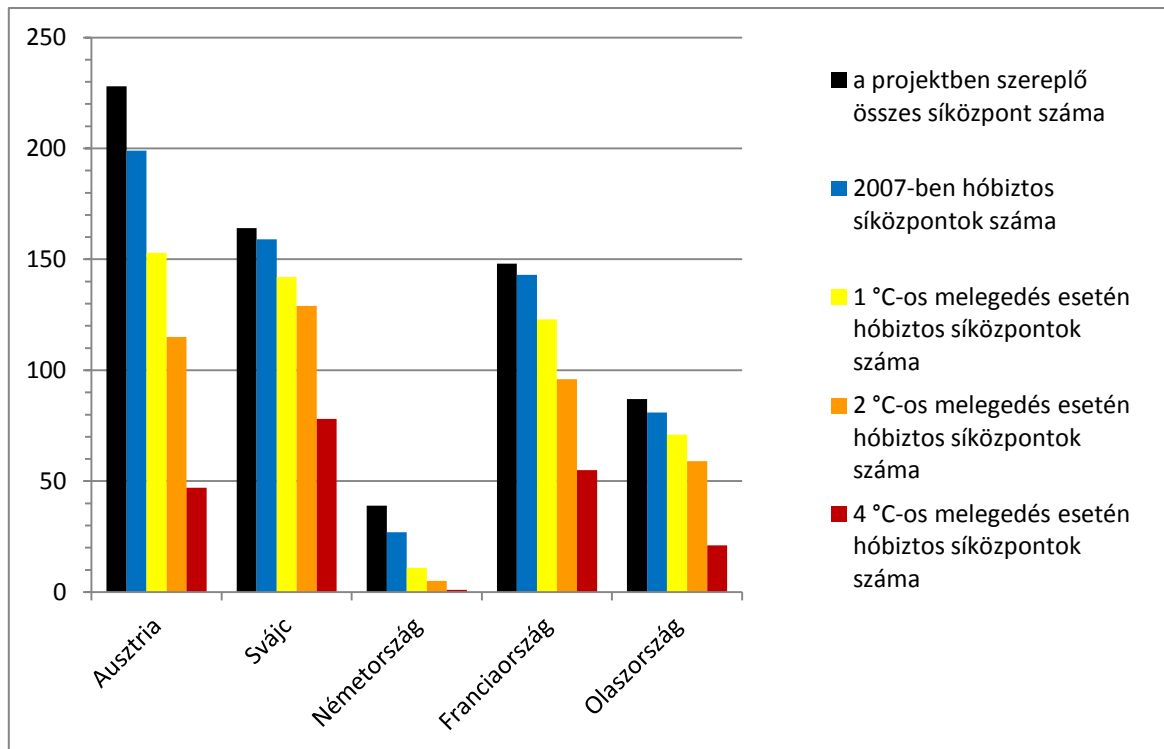
1. Alpesi síközpontok vizsgálata hóbiztosság szempontjából

Bruno Abegg és munkatársai 2007-es kutatásukban (*Abegg et al.*, 2007) Ausztria, Franciaország, Németország, Olaszország és Svájc síközpontjait vizsgálták hóbiztosság szempontjából. Csak olyan síközpontokat vettek figyelembe, melyek egész télen nyitva vannak, a pályák minimum 5 km hosszúak, és tartozik hozzájuk legalább három sífelvonó. Ezekkel a követelményekkel 666 sípályát találtak: Ausztriában 228-at, Svájcban 164-et, Franciaországban 148-at, Olaszországban 87-et, Németországban pedig 39-et.

A síszezon általában december elejétől április közepéig tart, 120 vagy több napig vannak nyitva a sípályák. A minimális hóvastagság pályafüggő, de általánosságban elmondható, hogy 30 cm megfelelő, 50 cm jó, 75 cm pedig kiváló mennyiségnek számít. Az úgynevezett „100 napos szabály” szerint akkor üzemeltethető sikeresen egy síközpont, ha szezononként legalább száz napig megfelelő a hó mennyisége (*Abegg et al.*, 2007).

A klímaváltozás miatt a hóhatár a jövőben magasabbra húzódik, kutatások szerint 1 °C-os melegedés 150 m-rel megemeli az állandó hó szintjét. *Abegg* és munkatársai a kutatásban a természetes hóbiztosság határát a 100 napos szabály szerint határozták meg. A természetes hóbiztosság határa nagyban függ attól, hogy a sípályák milyen fekvésűek és milyen a lejtőszögük. Az észak felé néző pályákon sokkal tovább megmarad a hó, mint a déli fekvésűeken. Ez a tanulmány ezeket a tulajdonságokat nem vizsgálja.

A kutatásban megvizsgálták, hogy 1 °C, 2 °C, illetve 4 °C-os átlaghőmérséklet-emelkedés esetén a 666 síközpontból mennyi lesz hóbiztos. Azért éppen ezt a három küszöbértéket vizsgálták, mert egyes előrejelzések szerint 2025-re 1 °C-os, 2050-re 2 °C-os, 2100-ra akár 4 °C-os is lehet a hőmérséklet-emelkedés. Akkor tekintették a pályát hóbiztosnak, ha legalább a pálya felső fele a természetes hóbiztosság határa fölött helyezkedik el. A kutatás idején a 666-ból 609 (91%) volt hóbiztosnak mondható, míg 1 °C-os melegedés esetén várhatóan 500 (75%), 2 °C-os melegedés esetén 404 (61%), illetve 4 °C-os hőmérséklet-emelkedés esetén már csak 202 (31%) lesz az.



1. ábra. A kutatásban résztvevő alpesi országok hóbiztos síttereinek száma a hőmérséklet-emelkedéstől függően (adatok forrása: Abegg et al., 2007)

Az 1. ábra megmutatja, hogy a melyik országban hány síközpont van, és hogyan változik a hóbiztosságuk a hőmérséklet-emelkedés függvényében. Látható, hogy a németországi területek a legérzékenyebbek a hőmérséklet-emelkedésre, míg a svájciak a legkevésbé.

Ausztriában található a legtöbb sípálya (228), melyek közül már 2007-ben kevesebb, mint 200 pálya hóbiztos. 1 °C-os melegedés esetén jelentősen csökken a hóbiztos sítterepek száma, de fontos megjegyezni, hogy még így is több sípálya marad, mint bármely más országban ugyanekkora hőmérséklet-emelkedésnél. A sípályák átlagos tengerszint feletti magassága viszonylag alacsony, és a pályák legalacsonyabban fekvő pontja gyakran 1000 m alatt van. Ezért már 2 °C-os melegedés esetén elvesz a sípályák felének hóbiztossága. A 4 °C-os emelkedés Ausztria síközpontjait nagyon veszélyezteti: 21%-ra csökken a hóbiztos sítterepek száma. Ausztria területileg megosztott: az északi, északkeleti területek sokkal érzékenyebbek a hőmérsékletváltozásra, mint a déliek (Abegg et al., 2007).

Svájcban található a második legtöbb síközpont, melyek igen hóbiztosak: 2 °C-os melegedés esetén is közel 79%-uk lesz hóbiztos. Valais és Grisons kantonok sítterepei várják a legkedvezőbb helyzetből a melegedést: Valaisban az összes síközpont hóbiztos 2 °C-os melegedéskor, Grisonsban pedig a 36-ból 35. 4 °C-os hőmérséklet-emelkedés esetén ebben a

két kantonban a sípályák 80%-a hóbiztos lesz, mert a sípályák igen magasan találhatóak. Svájc többi kantonja érzékenyebben reagál a klímaváltozásra.

A németeknél a többi vizsgált országhoz képest kevés síközpont található. Már ezelőtt tíz évvel a harminckilencből csak huszonhét sítérp volt hóbiztos. 4 °C-os melegedés esetén pedig csak egyetlen, felső-bajorországi sípálya maradna hóbiztos. Ennek oka a sípályák alacsony fekvése (a pályák legalacsonyabb pontja átlagosan 800 m-rel van a tengerszint felett).

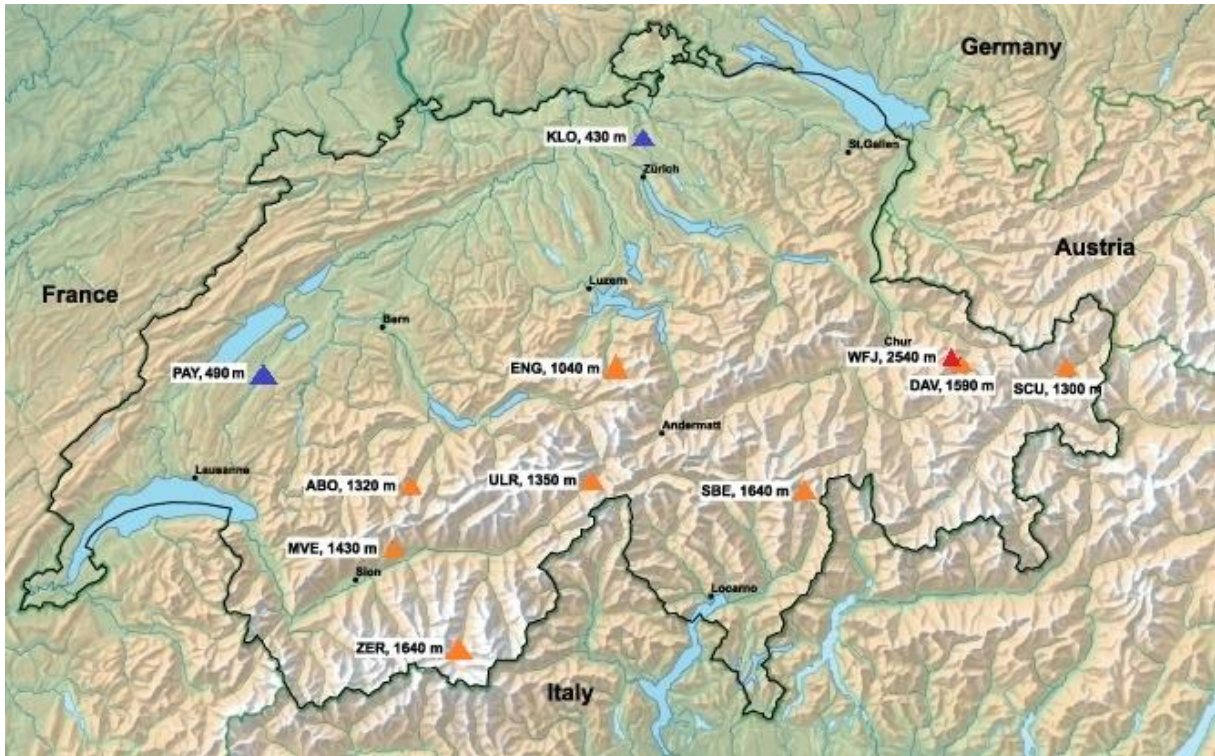
Franciaországban a sok népszerű sítérp (pl. Tignes, La Plagne) igen magasan (akár 1500 m-rel a tengerszint fölött) található, ezért kevésbé érzékenyek a klímaváltozásra. Azonban a déli, délnyugati területek, illetve azok a sípályák, melyek alacsonyabban fekszenek, igen veszélyeztetettek. Így 1 °C-os melegedés esetén még a sítérpek 83%-a lesz hóbiztos, 4 °C esetén azonban már csak 37% (Abegg *et al.*, 2007).

Olaszországban a vizsgált sítérpek magasan fekszenek, a legalacsonyabb pontjuk is átlagosan tszf. 1500 m körül található. Ennek köszönhető, hogy még 300 m-es hóhatár-emelkedés esetén is a sítérpek 68%-a lesz hóbiztos. A 4 °C-os hőmérséklet-emelkedés (600 m-es hóhatár-emelkedés) azonban az olasz sítérpek háromnegyedének hóbiztosságát veszélyeztetné (Abegg *et al.*, 2007).

2. Hóval kapcsolatos extrém indexek vizsgálata

A hó a hegyvidéki élet alapvető kelléke, ezért Edgar Schmucki és munkatársai (Schmucki *et al.*, 2015) kutatásukban arra keresték a választ, hogy hogyan alakul Svájc éghajlata a XXI. században ebből a szempontból. A hó ugyanis hidrológiai, ökológiai, turisztikai és gazdasági szempontból is fontos szerepet tölt be az alpesi országokban.

A projekt során 11 automata meteorológiai állomást vizsgáltak (2. ábra), melyeket tengerszint feletti magasság szerint három kategóriába soroltak: alacsony, közepes és magas. Az alacsony kategóriába két állomás került, melyek 500 m alatt találhatóak. Ezeken az állomásokon jelenleg sincs állandó hó, csak időszakos. A közepes kategóriába az 1000 és 1700 m közötti állomásokat sorolták. Itt nyolc állomás található, melyek különböző klimatológiai régiókba esnek, ezért ez a legkevésbé egységes kategória a csapadék szempontjából. A magashegységi (2000 m fölötti) kategóriába egyetlen állomás került, a Weissfluchjoch, mely 2540 m magasan fekszik.



2. ábra. A kutatásban használt meteorológiai állomások. Kék: alacsonyan (tszf. 500 m alatt), narancssárga: középmagasan (tszf. 1000–1700 m), piros: magasan (tszf. 2000 m fölött) fekvő állomások (forrás: Schmucki et al., 2014)

A projekt célja, hogy bizonyos társadalmilag, gazdaságilag, ökológiailag fontos, hóval kapcsolatos jelzőszámok (extrém indexek) jövőbeli fejlődését vizsgálja. Fontos még, hogy ezzel a tanulmánnyal segítséget kívánnak nyújtani a döntéshozóknak (pl. turisztikai beruházások megtervezésében, lavina elleni védekezésben, stb.).

A projektben állomási adatokat és a SNOWPACK [2] egydimenziós meteorológiai modell számításait használták fel. A modell információt nyújt a tér egy adott pontjában a hóállapotról, ezen belül pl. a friss hó mennyiségéről és sűrűségéről. A SNOWPACK végeelem-módszerrel oldja meg a parciális differenciálegyenleteket, melyek a hótakarón belüli tömeg-, momentum- és energiátranszportra vonatkoznak. A modell fizika alapú, tartalmazza az energiaegyensúlyi folyamatokat, a tömegegyensúlyt, a vízmozgást, a szél általi szállítást és a fázisátalakulásokat (*Schmucki et al.*, 2014). A bemenő meteorológiai adatok órás felbontásban álltak rendelkezésre, és a következők voltak: léghőmérséklet, relatív nedvesség, szélirány és szélesség, bejövő rövidhullámú sugárzás, csapadékmennyiség. A referenciaidőszakra (1984–2010) a modell elég jól reprodukálta a mért eredményeket, átlagosan 9%-os volt a modellhiba (*Schmucki et al.*, 2015).

A jövőre vonatkozó becslésekhez tíz, adott GCM³-hez tartozó RCM⁴ szimulációt használtak fel az ENSEMBLES projektből. A hőmérsékletet, csapadékot, és a visszaverődő hosszuhullámú sugárzást perturbálták a tíz különböző szimuláció outputjaival, a relatív nedvességet, a szelet és a bejövő rövidhullámú sugárzást pedig változatlanul hagyták. Az IPCC⁵ által (*Nakićenović et al.*, 2000) meghatározott kibocsátási scenáriókra, az A1B-re és az A2-re készítették el az előrejelzéseket. Három, egymást részben átfedő harmincéves időszakot vizsgáltak: 2020–2049, 2045–2074, 2070–2099. A továbbiakban jelölje ezt a három időszakot az áttekinthetőség kedvéért rendre 2035, 2060 és 2085.

Az A1B scenáriót a nagyon gyors gazdasági növekedés jellemzi, az új és hatékony technológiák gyorsan elterjednek. A népesség a XXI. század közepéig nő, majd csökken. A regionális különbségek csökkennek társadalmi és kulturális szinten. A fosszilis és nem fosszilis energiahordozók használata kiegyenlített. Az A2 scenárió heterogén világot mutat be, ahol az önállóság és az önazonosság megőrzése a legfontosabb. A globális népesség az évszázad végéig folyamatosan nő. A gazdasági fejlődés regionális, ezért lassú és kiegyenlítetlen a technológiai megújulás (*Nakićenović et al.*, 2000).

A szimulációk a téli időszakra (novembertől áprilisig) 2,7 és 3,1 °C közötti melegedést, és 0–17%-os csapadéknövekedést jeleznek előre a század végéig, az A1B kibocsátási scenárióval. Az A2 scenárió esetén nagyobb mértékű (3,1 és 3,6 °C közötti) melegedést és hasonló csapadéknövekedést (0–17%) várhatunk (*Schmucki et al.*, 2015).

A hosszuhullámú sugárzás fontos szerepet játszik az energiaegyensúly fenntartásában, és nagyon hőmérsékletfüggő, ezért ezt figyelembe vették, és a hőmérséklet-változás függvényében módosították a légköri visszاسugárzás paraméterezett értékeit.

A vizsgált extrém indexek éves átlagértékeket jelölnek a referencia- illetve scenárióidőszakokra. Az évet a szeptembertől augusztusig tartó 12 hónapként definiálták. A vizsgált indexeknek mind van valamilyen gazdasági, társadalmi, környezeti hatása, ezért szerepeltek éppen ezek a kutatásban. Az *átlagos téli hóvastagság* index definíció szerint az évi átlagos hómennyiség a téli hónapokban (december, január, február). Ez a hó-víz egyenértékkel korrelál, ezért fontos a hidrológiai számításokban. A *folyamatosan hóval borított telek hányada* indexet azért vizsgálták, mert a téli turizmus egyik alapvető feltétele,

³ GCM: Global Climate Model: globális klímamodell

⁴ RCM: Regional Climate Model: regionális klímamodell

⁵ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change: Éghajlatváltozási Kormányközi Testület

hogy szezonálisan állandó, összefüggő hótakaró legyen. Akkor mondható összefüggő hótakarójúnak egy tél, ha legalább 30 napig 5 cm-nél vastagabb a hó. A *havas napok száma (SD5, illetve SD50)* index az olyan napokat számlálja meg évente, melyeken a hótakaró 5, illetve 50 cm-nél vastagabb. Ez az index azt mondja meg, hogy elég-e a hó mennyiség bizonyos téli sportok üzéséhez. Az 5 cm-nél több hó elegendő a sífutáshoz, a durvább talajon való sieléshez pedig szükséges 50 cm hó. A *friss havas napok száma* index azt mutatja meg, hogy hány napon hullik több mint 1 cm friss hó. Ez a közutak takarítása szempontjából fontos (Schmucki et al., 2015).

Elmondható, hogy mindhárom scenárioidőszakban csökkennek a hóindexek értékei. Az A1B és az A2 scenárió hasonló mértékű relatív csökkenést mutat a hóindexekben. Az első két scenárioidőszakban az A1B esetén valamelyest nagyobb a csökkenés, míg az évszázad végén az A2 scenárió esetén láthatunk nagyobb mértékű relatív csökkenést. Az A1B scenárióra vonatkozó 10 tagból álló ensemble-átlagok a következő eredményeket mutatják.

A magashegységi állomás hóhelyzetét befolyásolja legkevésbé a klímaváltozás. A 2025–49-es időszakra csapadéknövekedést jeleznek a modellek, és a hőmérséklet-növekedés ellenére télen még jórészt hó fog hullani, így az átlagos téli hóvastagság csak 3%-kal csökken. A század végére a relatív csökkenés már 23%-os, de még így is 95 cm-es átlagos téli hóvastagságra számíthatunk. A XXI. század során a vizsgált állomásokról csak a weissfluchjochi lesz minden télen állandóan havas. A havas napok számában is itt, a magashegységi állomáson várható a legkisebb relatív csökkenés. A 2070–99-es scenárioidőszakban az SD5 index csökkenése 21%-os, míg az SD50 index 26%-kal csökken, de még így is évente több mint 200 napon lesz 50 cm-nél több hó az állomáson. A friss havas napok számának abszolút csökkenése az évszázad végére a magasban a legnagyobb (30 nap), de a jelenlegi helyzethez viszonyított relatív csökkenés itt a legkisebb (26%).

A közepes magasságban található állomásokon már az első időszakban is jelentősen változik az átlagos téli hó mennyiség, a referenciaidőszakhoz képest körülbelül a kétharmadára csökken. A 2060-as scenárioidőszakban 49–70%-os a csökkenés, és az évszázad végére várhatóan az összes állomáson 20 cm alatti lesz az átlagos téli hóvastagság. Afolyamatosan hóval borított telek szempontjából igen nagy szórás van a különböző állomások között. A nagyobb csökkenés az alacsonyabban fekvő állomások esetén figyelhető meg. A század végén a magasabb állomásokon (tszf. 1350–1600 m) 10 télből 7-ben lesz még állandó hó. Az alacsonyabban fekvő állomásokon (Scuol, Engelberg) már a referenciaidőszakban sem volt

minden télen állandó hó, a század végére pedig csak a telek egyharmada lesz hóbiztos. A havas napok számában is láthatók a területi különbségek. Az SD50 index ott csökken a legtöbbet, ahol már a referenciaidőszakban is alacsony volt az értéke. Az évszázad végére négy közép magas állomáson nem lesz olyan nap, amikor 50 cm-nél vastagabb a hótakaró, és a többi állomáson is csak átlagosan 10 napon lesz 50 cm-nél több hó. A friss havas napok száma is csökken, a 2035-ös scenárioidőszakban 17–24%-kal, míg az utolsó időszakban már 50–60%-kal.

Az alacsonyan fekvő területeken az indexek értékeinek relatív csökkenése a legnagyobb, hiszen már a referenciaidőszakban sem volt túl magas az értékük. Ezek az állomásokon már most sincsenek folyamatosan hóval borított telek, illetve nem jellemző az 50 cm-nél vastagabb hótakaró. A többi index nagymértékben csökken a század során, évente átlagosan 2 napon fog esni a hó a 2085-ös időszakban.

Fontos, hogy a század végére már jelentős különbség van a projekciók között, attól függően, hogy az A1B vagy az A2 scenáriót használjuk: az A2 scenárió pesszimistább, a téli átlagos hőmennyiségben, a havas napok számában és a friss havas napok számában átlagosan 6%-kal nagyobb relatív csökkenést jelez előre az évszázad végére, mint az A1B scenárió. Azt is fontos megjegyezni, hogy az előrejelzések igen bizonytalanok. Bár az előbbiekben ensemble-átlagokat mutattam be, az ensemble-tagok szórása nem elhanyagolható, egyes esetekben két RCM közötti különbség 40–50%-os is lehet.

IV. SAJÁT SZÁMÍTÁSOK

1. A felhasznált adatbázisok bemutatása

Az Alpok meteorológiai vizsgálata igen bonyolult, mert a domborzat változatos, így kis területen belül nagy a meteorológiai állapotváltozók értékei közötti különbség. Az Alpok minél pontosabb megismeréséhez szükségünk van jó felbontású adatbázisokra. Ilyen adatbázist keresve találtunk rá az EURO4M⁶ projektre (*Isotta et al.*, 2014).

Az Európai Bizottság által támogatott EURO4M projekt [3] célja, hogy megfelelő minőségű adatokat szolgáltatson az európai éghajlat állapotáról és változásáról. A program keretében műholdas adatokat és felszíni méréseket, valamint regionális modell alapú reanalízis adatokat felhasználva készítették el az adatbázisokat. Az EURO4M-APGD⁷ az Alpokról és környékéről (é. sz. 43–49° /Franciaországban 47,6°, k. h. 4,8–17,5°) készült reanalízis adatbázis, mely 5 km-es rácsfelbontásban tartalmaz napi csapadékadatokat az 1971–2008-as időszakra (3. ábra). Az adatbázis készítésénél 8500 felszíni állomás adatait használták fel (*Isotta et al.*, 2014). Azért különleges ez a projekt, mert eddig nem volt ilyen finom felbontású adatbázis az Alpokra, pedig nagy szükség van a hegyvidékek ismeretére, kiváltképp most, amikor az éghajlatváltozás ténye megkérdőjelezhetetlen, és hatásai a hegyekben még a laikusok számára is szembetűnőek.

Sajnos az EURO4M-APGD adatbázis csak csapadékadatokat tartalmaz, ezért szükségem volt egy másik, hőmérsékleti adatokat is tartalmazó adatbázisra. A HISTALP⁸ projekt keretében létrehozott, szabadon hozzáférhető adatbázist használtam fel. A HISTALP projekt célja volt, hogy az Alpok területére készüljön egy jó minőségű, homogenizált, több meteorológiai elemet tartalmazó, a lehető legnagyobb időtartamra vonatkozó, felhasználóbarát adatbázis. Ennek létrehozásához nemzetközi összefogásra volt szükség. Az adatbázis az ún. Nagy Alpési Régióra (Greater Alpine Region) készült el, és több mint harminc közigazgatási szervezet (köztük az Országos Meteorológiai Szolgálat) adatait használták fel (*Auer et al.*, 2007). A Nagy Alpési Régió az é. sz. 43–49° és k. h. 4–19° közötti területet fedi le (3. ábra). A HISTALP projekt keretében különböző hosszúságú adatsorok készültek, homogenizált havi adatokból a következő meteorológiai paraméterekre:

⁶ EURO4M: European Reanalysis and Observations for Monitoring: Európai Reanalízis és Megfigyelés Monitorozási Célból

⁷ EURO4M-APGD: Alpine Precipitation Grid Dataset: Rácponti Alpi Csapadék-adatbázis

⁸ HISTALP: Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region: A Nagy Alpési Régió Történelmi Műszeres Felszíni Éghajlati Idősorai

hőmérséklet, nyomás csapadékmennyiség, napfénytartam, felhőzet és relatív páratartalom (Brunetti *et al.*, 2009). A hőmérsékleti (1780–2014) és csapadékadatokat (1801–2014) 5 szögperces felbontásban lehet letölteni a projekt honlapjáról [4]. Csapadékadatokból három fájl is rendelkezésre áll: a csapadékösszeg, a szilárd csapadék százalékos aránya, valamint a szilárd csapadék mennyisége. Ezek azonban nem független adatok, az adatbázisban a csapadék halmazállapotát a hőmérséklettel való statisztikai összefüggése alapján számolják.

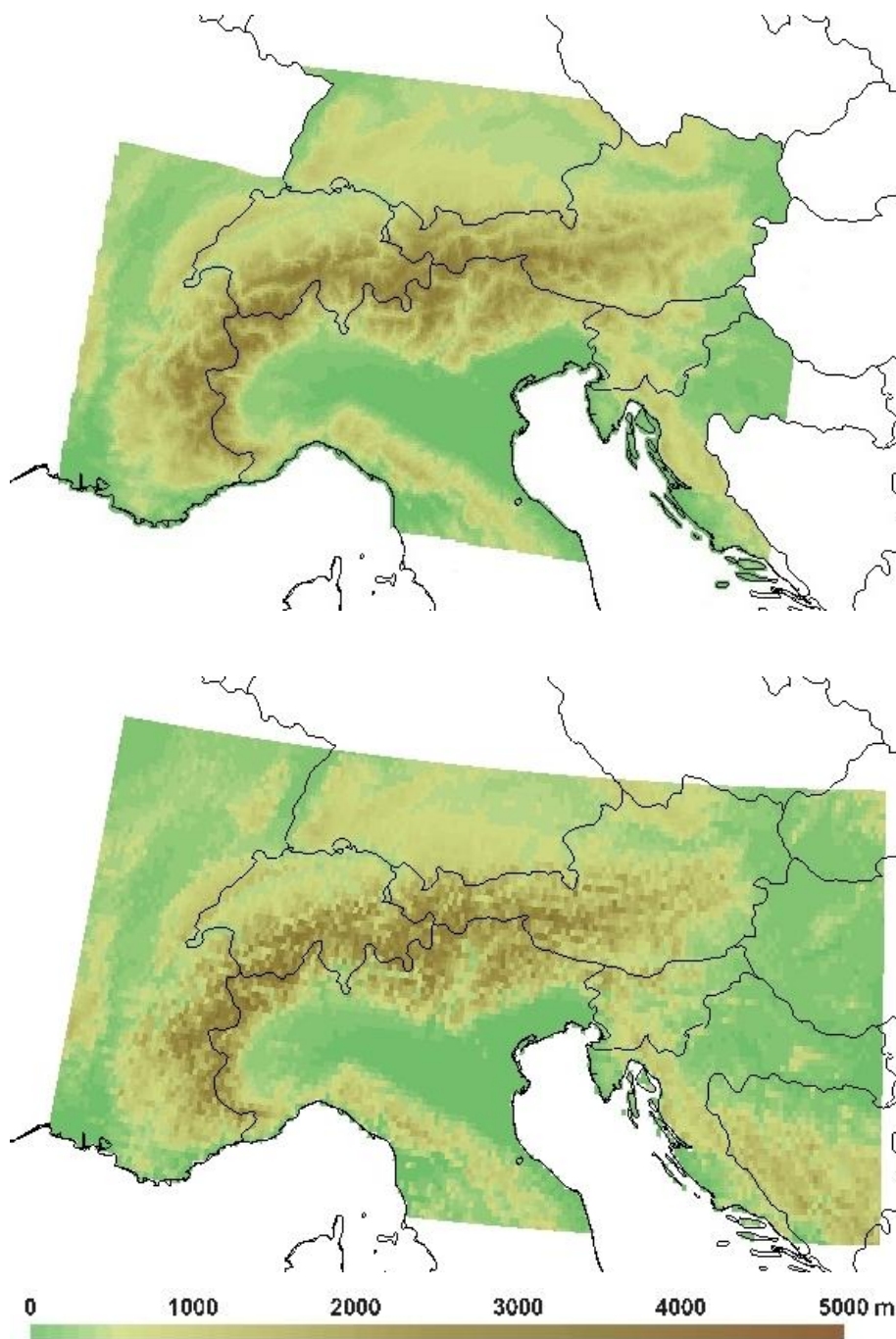
Az EURO4M-APGD és a HISTALP adatbázis térbeli felbontásának különbségét, illetve a két adatbázis által lefedett területet mutatja a 3. ábra. Az EURO4M adatbázis jobb felbontású (5 km x 5 km), mint a HISTALP (5 szögperc: kb. 6,5 km x 9 km). Míg az EURO4M-APGD adatbázis az Alpok szűkebb környezetét fedi le, a HISTALP által lefedett terület keleten Magyarország közepéig elnyúlik, délkeleten pedig majdnem a teljes Bosznia-Hercegovina rajta van a térképen.

Fontos megjegyezni, hogy a két adatbázis időbeli felbontása és az idősor hossza is különbözik. Az EURO4M-APGD adatbázis csak 38 évet ölel fel (1971–2008), de napi adatokat tartalmaz. A HISTALP projekt adatbázisa több mint 200 évet fed le (1780–2014, illetve 1801–2014), és havi adatokat tartalmaz. A tér- és időbeli felbontás különbsége miatt a két adatbázis más célokra használható.

Az EURO4M-APGD adatbázis felhasználható például környezeti modellezésre (hidrológia, mezőgazdaság, stb.), extrém csapadékú időjárási események vizsgálatára. Az éghajlat és az éghajlatváltozás jellemzéséhez fontos a meteorológiai változók átlagos értékeinek ismeretén túl a szélsőségek ismerete is. A klímakutatók a szélsőségek vizsgálatára különböző klímaindexeket definiáltak. Léteznek például hőmérsékletre (pl. fagyos napok száma, hőségnapok száma), illetve csapadékra (pl. csapadékos napok száma) vonatkozó indexek is. Az EURO4M-APGD adatbázis finom tér-és időbeli felbontása lehetővé teszi, hogy a csapadékra vonatkozó extrém indexeket vizsgáljuk, hiszen az extrém indexek nagy részét napi adatokból számoljuk.

Nemcsak extrém indexek vizsgálatára jó ez az adatbázis, hanem bizonyos heves csapadékkal járó időjárási események térképes megjelenítésére, illetve havi, évszakos átlagok számítására is. Az adatokból készített térképeken szépen kirajzolódnak az Alpok csapadékviszonyai.

A HISTALP adatbázis segítséget nyújt a klímaváltozás kutatásában: a hosszú idősor segítségével vizsgálni lehet, hogy különböző meteorológiai paraméterek hogyan változtak a múltban, és megfigyelhető-e bennük valamilyen trend, mely az éghajlatváltozásra enged következtetni.



3. ábra. Az EURO4M-APGD adatbázis (felül) és a HISTALP adatbázis (alul) domborzati térképe

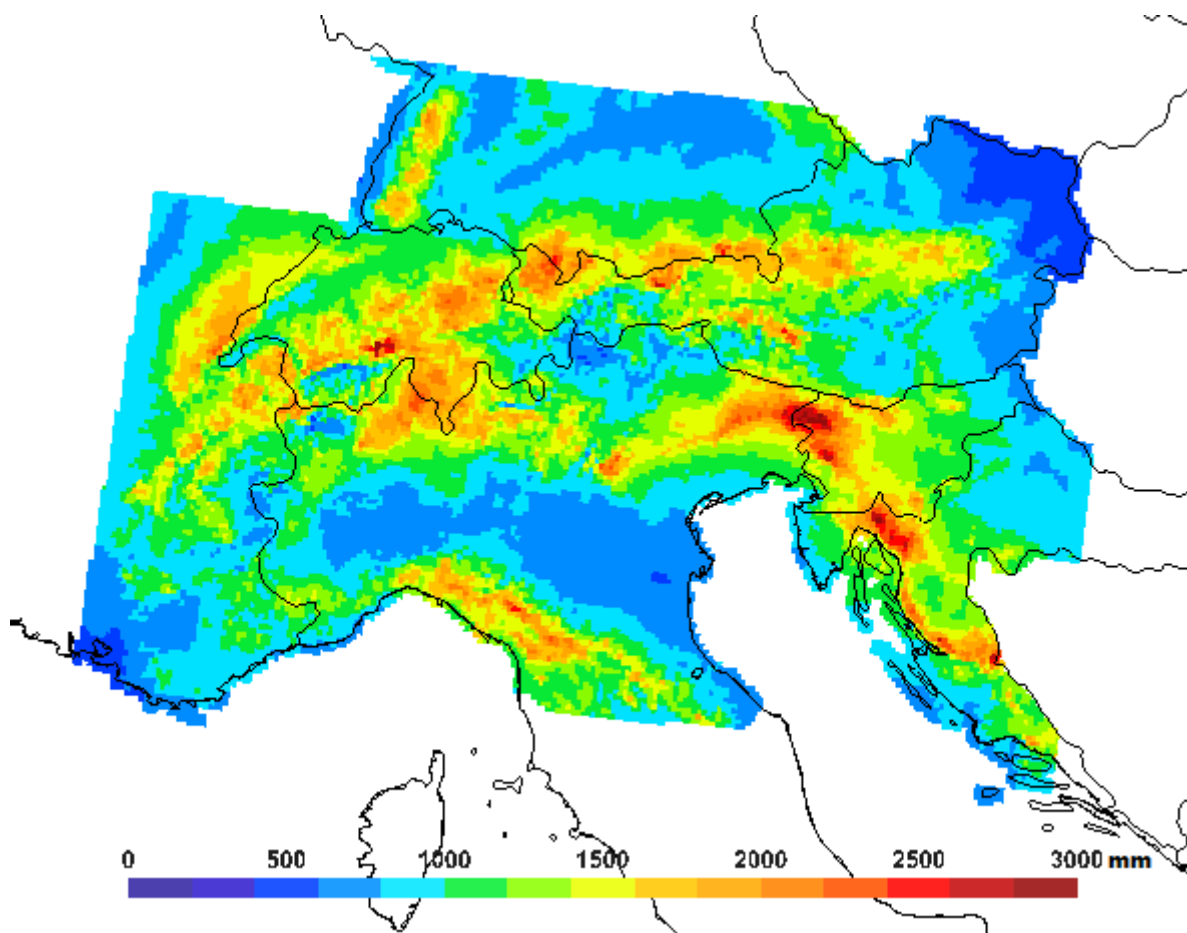
2. Az Alpok éghajlatának általános jellemzése

Az Alpok klímája igen összetett. Az Atlanti-óceán felől érkező enyhe, nedves légtömegek, a délről érkező meleg mediterrán levegő, az északi hideg poláris légtömegek, illetve a nyáron meleg, télen hideg kontinentális légtömegek is hatással vannak az éghajlat kialakítására. Ezenkívül, mint a magashegységekre általában, az Alpokra is jellemző az éghajlati zonalitás a tengerszint feletti magasság függvényében.

Az Alpok térségének éghajlati jellemzését mindkét adatbázist felhasználva készítettem el, azok átfedő időszakára (1971–2008). A csapadékviszonyokat az EURO4M-APGD adatbázis segítségével mutatom be, mert a finomabb térbeli felbontás részletesebb bemutatást tesz lehetővé, a hőmérsékleti viszonyokat pedig a HISTALP adatok alapján ismertetem. A szükséges számításokat CDO programmal [5] végeztem, a térképeket pedig az IDV [6] megjelenítő szoftver segítségével készítettem.

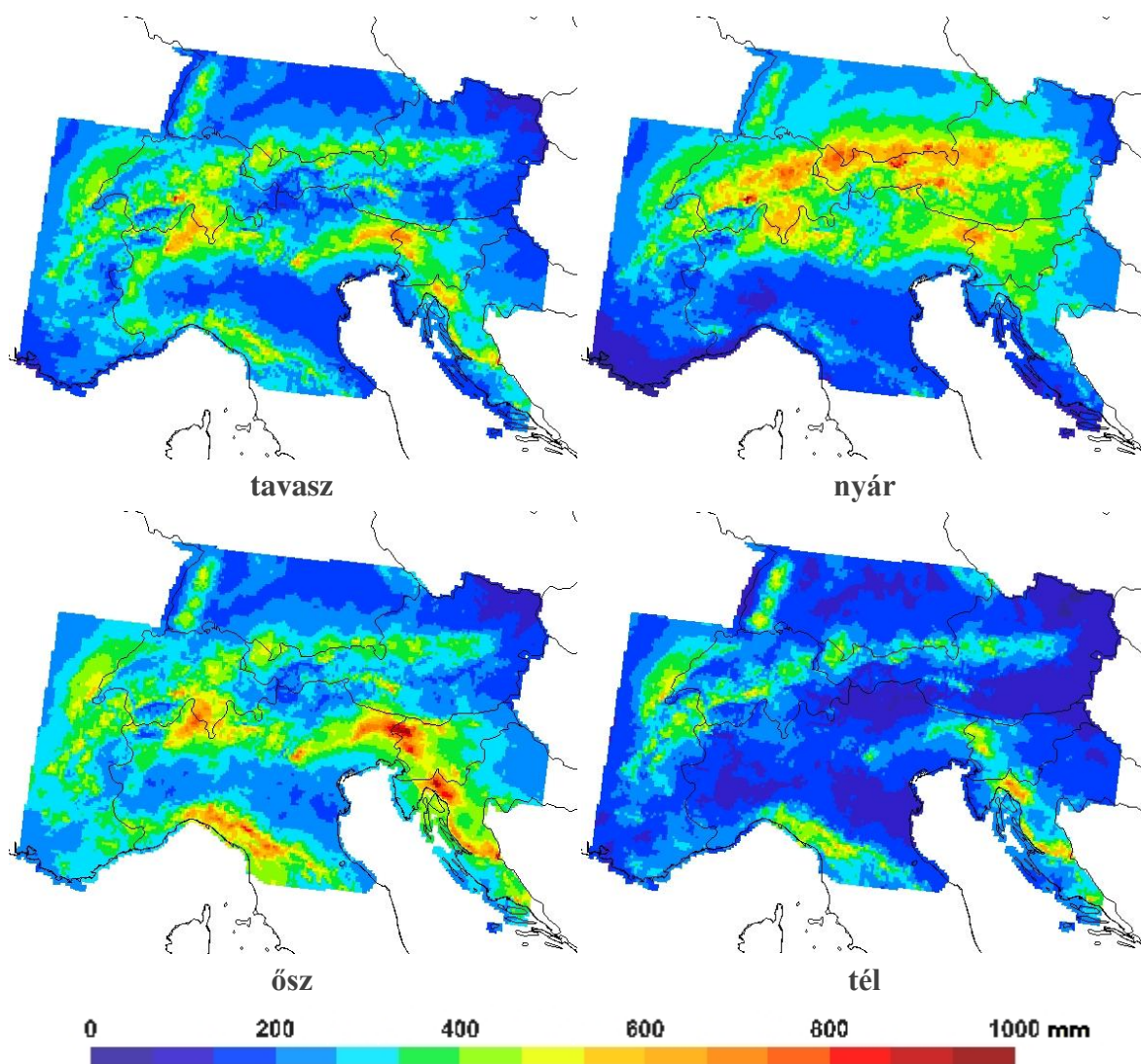
A. Csapadék

A 4. ábra az Alpok átlagos évi csapadékösszegét mutatja. Látható, hogy a projekt által lefedett teljes területen az évi csapadékösszeg igen változatos képet fest: 400 mm és 3000 mm között alakul. Általánosan elmondható, hogy a tengerszint feletti magassággal nő a csapadékmennyiség, és a domborzattól, valamint a helyi hatásoktól függ annak pontos mennyisége. Az északnyugat felől érkező ciklonok pályája gyakran keresztezi az Alpokat, ezért a fő hegyvonulat északi, északnyugati oldalán az évi átlagos csapadékösszeg eléri a 2500–3000 mm-t. Hasonlóan csapadékos területek találhatók az Alpok déli részén is: a svájci–olasz határ közelében, valamint a Dolomitokban és a szlovéniai Júliai-Alpokban a földközi-tengeri ciklonoknak köszönhetően. Feltűnő, hogy a belső völgyek igen szárazak. Ennek oka, hogy a nedves légtömegeknek útját állja a hegység, és a csapadék az orografikus emelkedés közben kihullik. Ilyen terület az északnyugat-olaszországi Aosta-völgy, és a határ túloldalán található svájci Valais kanton, valamint a Keleti-Alpokban található Inn völgye. Ezeken a területeken évente átlagosan körülbelül 600 mm csapadék hullik.



4. ábra. Az Alpok átlagos évi csapadékosszege az 1971 és 2008 közötti időszakra az EURO4M-APGD adatbázis alapján

A csapadék évszakonkénti eloszlása is különbözik az egyes területeken (5. ábra). A színezés jól mutatja, hogy a fő vonulat területén a legtöbb csapadék nyáron hullik, néhol 800 mm-nél is több. Érdekes belegondolni, hogy Magyarországon még a legcsapadékosabb területeken is átlagosan egy teljes év alatt hullik ennyi csapadék. Nyáron gyakoriak a heves esőzések, ezek katasztrófához (földcsuszamlás, lavina, villámárvíz) vezethetnek. Az olasz–szlovén határ mentén húzódó Dolomitok és Júliai-Alpok csapadékviszonyait meghatározzák a mediterrán hatások, ezért ott őszi csapadékmaximum figyelhető meg. A Genovai-öböl a mediterrán ciklonok kialakulásának egyik jellemző helye, ezért ott is őszi csapadékmaximum fordul elő, 700 mm körüli évszagos csapadékmennyiséggel. A teljes területet figyelembe véve télen hullik a legkevesebb csapadék. A fő hegyvonulat területén akár kétszer annyi is lehet a nyári csapadékösszeg, mint a téli. Az állandó hóhatár is csapadékmennyiség-, illetve domborzatfüggő: az Alpok északi oldalán tszf. 2400–2600 m, délen 2700–2900 m, a szárazabb belső területeken pedig 3000–3200 m körül húzódik (Gábris *et al.*, 2007).



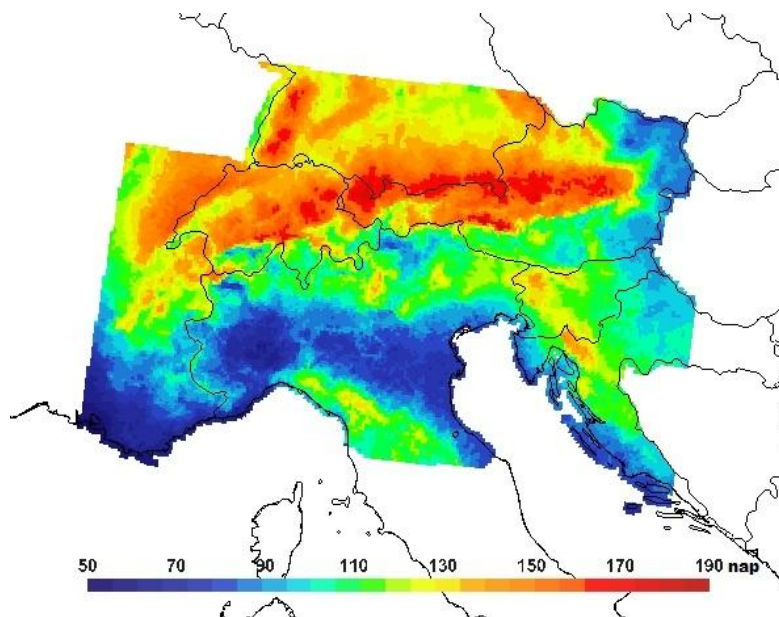
5. ábra. Átlagos évszakos csapadékösszegek az 1971 és 2008 közötti időszakra az EURO4M-APGD adatbázis alapján

Az átlagosnál bőségebb csapadékkal vagy tartós szárazsággal járó események, periódusok előfordulási gyakoriságát az extrém csapadékindexek idősoraival és a bekövetkezett változásokkal jellemezzük (Bartholy *et al.*, 2011). A napi csapadékatatok felhasználásával az 1. táblázatban található gyakran használatos csapadékindexeket vizsgáltuk. Az 50 mm fölötti csapadékmennyiség (RR50) nem egy gyakran alkalmazott csapadékindex, de fontosnak tartottam ezt is vizsgálni, hiszen az Alpokban nem ritkán hullik ilyen nagy mennyiségű csapadék egy nap alatt. Az extrém indexeket kiszámoltam a rendelkezésre álló összes évre, majd időben átlagoltam, és ezeket az átlagos értékeket jelenítettem meg a térképeken.

1. táblázat. A vizsgált extrém csapadék klímaindexek

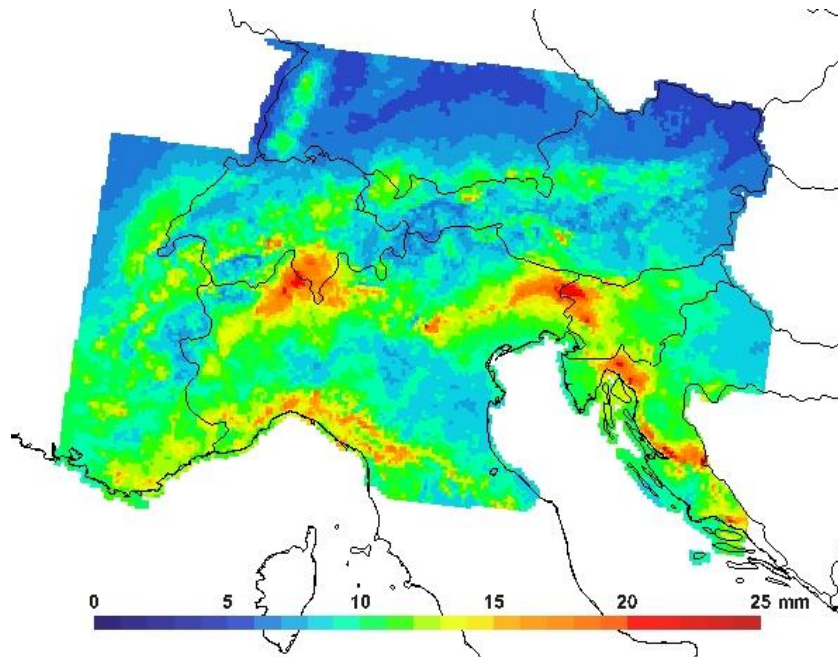
Extrém csapadék klímaindexek	
Név (jelölés)	Definíció (mértékegység)
csapadékos napok száma (RR1)	napi csapadékösszeg ≥ 1 mm (nap)
napi csapadékintenzitási index (SDII)	csapadékos napok ($R \geq 1$ mm) átlagos csapadékmennyisége (mm)
leghosszabb száraz időszak hossza (CDD)	leghosszabb olyan időszak, amikor a napi csapadékösszeg < 1 mm (nap)
leghosszabb csapadékos időszak hossza (CWD)	leghosszabb olyan időszak, amikor a napi csapadékösszeg > 1 mm (nap)
20 mm-t elérő csapadékösszegű napok száma (RR20)	azon napok száma, amikor a csapadékösszeg ≥ 20 mm (nap)
50 mm-t elérő csapadékösszegű napok száma (RR50)	azon napok száma, amikor a csapadékösszeg ≥ 50 mm (nap)
maximális napi csapadékösszeg (RX1)	az időszak során a legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség (mm)

A csapadékos napok átlagos éves számát (RR1) bemutató térképen (6. ábra) jól látható, hogy az EURO4M által lefedett terület északi részén hullik átlagosan a legtöbbször csapadék. A fő vonulat észak felé eső oldalán átlagosan kétnaponta (180 nap/év) hullik csapadék. Jól kirajzolódnak azok a területek is, ahol kevesebb a csapadékos napok száma. Ezek a területek gyakran azonosak azokkal a területekkel, ahol az évi átlagos csapadékmennyiség is viszonylag kevés (pl. Aosta-völgy, Keleti-Alpok-beli Inn-völgy, Pó-síkság).



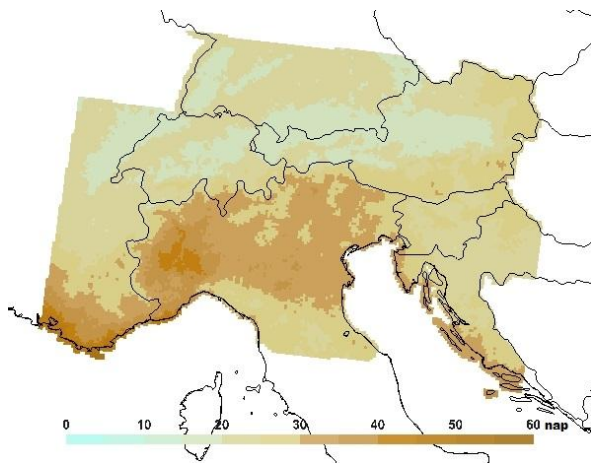
6. ábra. Csapadékos napok éves átlagos száma az 1971 és 2008 közötti időszakban az EURO4M-APGD adatbázis alapján

A csapadékos napok átlagos csapadékmennyisége (SDII) térképen (7. ábra) látható, hogy a Júliai-Alpok területén, illetve az olasz–svájci határ közelében hullik átlagosan a legtöbb csapadék naponta, 20 mm fölötti. Viszonylag nagy mennyiségű csapadék (13–15 mm) hullik a Genovai-öbölnél is a mediterrán ciklonoknak köszönhetően. Az Alpok fő hegyvonulatának észak felőli oldalán naponta átlagosan 10–12 mm csapadék hullik. A legszárazabb területeken is 5 mm fölötti a csapadékos napok átlagos csapadékmennyisége.

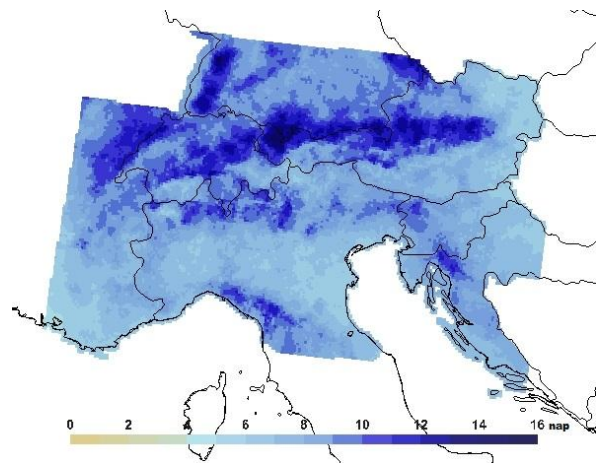


7. ábra. Csapadékos napok átlagos napi csapadékmennyisége az 1971 és 2008 közötti időszakban az EURO4M-APGD adatbázis alapján

A leghosszabb száraz időszak (CDD) a fő vonulat területén a legrövidebb (8. ábra), évente átlagosan 10 nap alatti. A hegység többi részén 20–30 napos ez az érték. A Pó-síkságon akár kéthónapos is lehet a szárazság. A leghosszabb csapadékos időszak átlaga (CWD) a teljes területen 5 nap fölötti (9. ábra), a fő vonulat területén 14–16 nap. A svájci–olasz határ mentén, illetve a Júliai-Alpokban is 10 nap fölötti a leghosszabb csapadékos időszakok átlagos hossza. A két térképet összehasonlítva láthatjuk, hogy szinte egymás ellentétei: ahol hosszú a leghosszabb száraz időszak, ott rövid a leghosszabb csapadékos időszak. Ez alól kivételt jelent az észak-olaszországi terület, ahol hosszú száraz időszakok (átlagosan 35–40 nap) és hosszú csapadékos időszakok (átlagosan 10–12 nap) egyaránt előfordulnak.

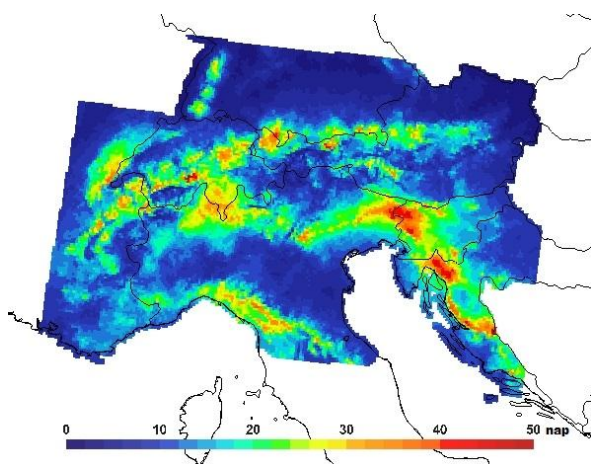


8. ábra. A leghosszabb száraz időszak évi átlagos hossza az 1971 és 2008 közötti időszakban az EURO4M-APGD adatbázis alapján

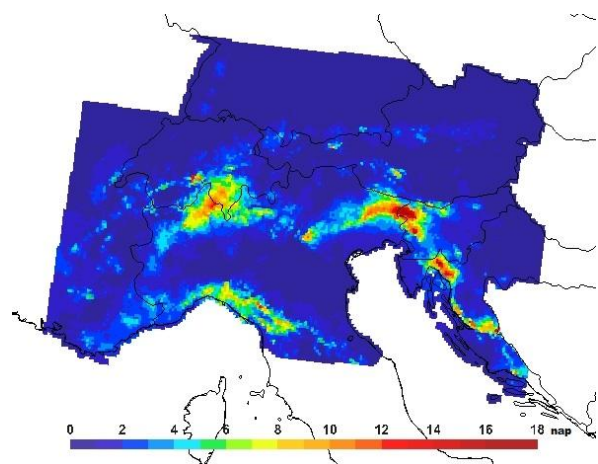


9. ábra. A leghosszabb csapadékos időszak évi átlagos hossza az 1971 és 2008 közötti időszakban az EURO4M-APGD adatbázis alapján

A 20 mm-t elérő csapadékmennyiségű napok átlagos száma (RR20) a Júliai-Alpokban a legnagyobb, 50 nap (10. ábra). A fő vonulat területén 25 nap fölötti ez az érték, a magasabb csúcsokon 35–40 nap. Itt is kirajzolódnak a szárazabb területek, az Aosta-völgyben, illetve a svájci–olasz–osztrák határ közelében 10 napnál kevesebb a 20 mm-t elérő csapadékos napok száma. Az 50 mm-t elérő csapadékmennyiségű napok (RR50) már sokkal kisebb területen fordulnak elő (11. ábra). A fő vonulat területén is évente 2–4 nap, a síkvidékeken pedig ennél kevesebb. Az Alpok délnyugati részén átlagosan évente 10–14 napon éri el a csapadékösszeg az 50 mm-t. Ez az index is a Júliai-Alpok területén veszi fel a legnagyobb értéket, itt átlagosan évente 16–18 napon is eshet ilyen nagy mennyiségű csapadék.

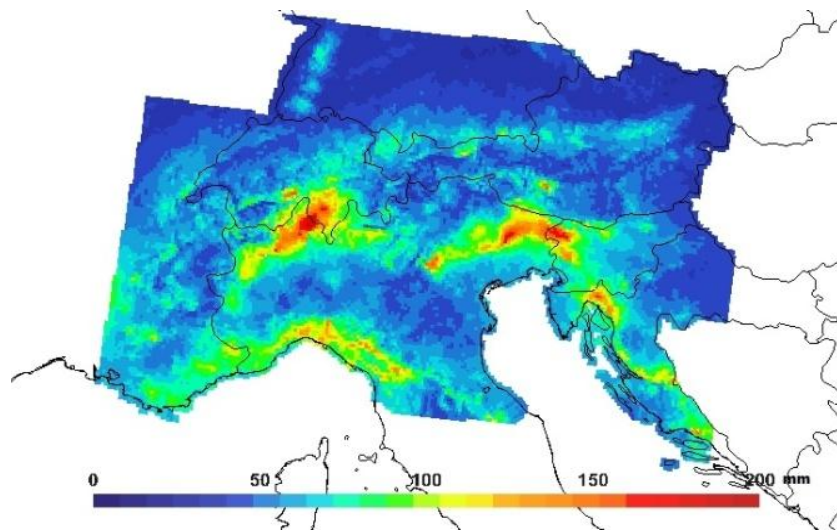


10. ábra. A 20 mm-t elérő csapadékösszegű napok átlagos évi száma az 1971 és 2008 közötti időszakban az EURO4M-APGD adatbázis alapján



11. ábra. Az 50 mm-t elérő csapadékösszegű napok átlagos évi száma az 1971 és 2008 közötti időszakban az EURO4M-APGD adatbázis alapján

Az évente előforduló maximális napi csapadékösszegek (RX1) átlagát bemutató térképen (12. ábra) látható, hogy ez az index is az Alpok délnyugati vonulatainál, illetve a Júliai-Alpok és a Dinári-hegység területén veszi fel a legnagyobb, 180–200 mm-es értéket. A Genovai-öbölben is igen nagy a maximális napi csapadékösszeg: 110–120 mm. Ennek oka a mediterrán ciklogenezis. Az Alpok fő vonulatán a maximális csapadékmennyiség átlagosan 50–80 mm körül van. Elmondható erről a területről, hogy bár évente átlagosan itt hullik a legnagyobb mennyiségű csapadék, az eloszlik időben, nem jellemző, hogy egyszerre nagyon nagy mennyiségű csapadék hulljon, inkább többször esik kevesebb. A síkvidékeken, illetve az Alpok belső területein az átlagos napi maximális csapadékmennyiség 30–40 mm között van.

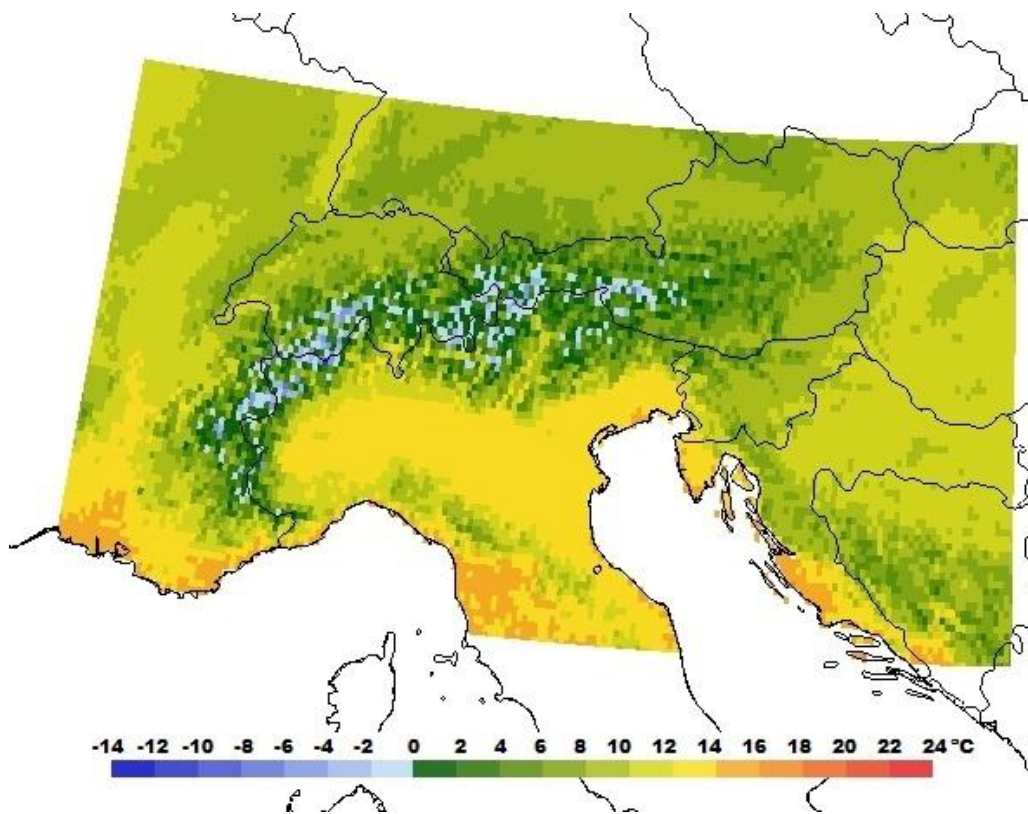


12. ábra. Az évenkénti maximális napi csapadékösszeg átlaga az 1971 és 2008 közötti időszakra az EURO4M-APGD adatbázis alapján.

B. Hőmérséklet

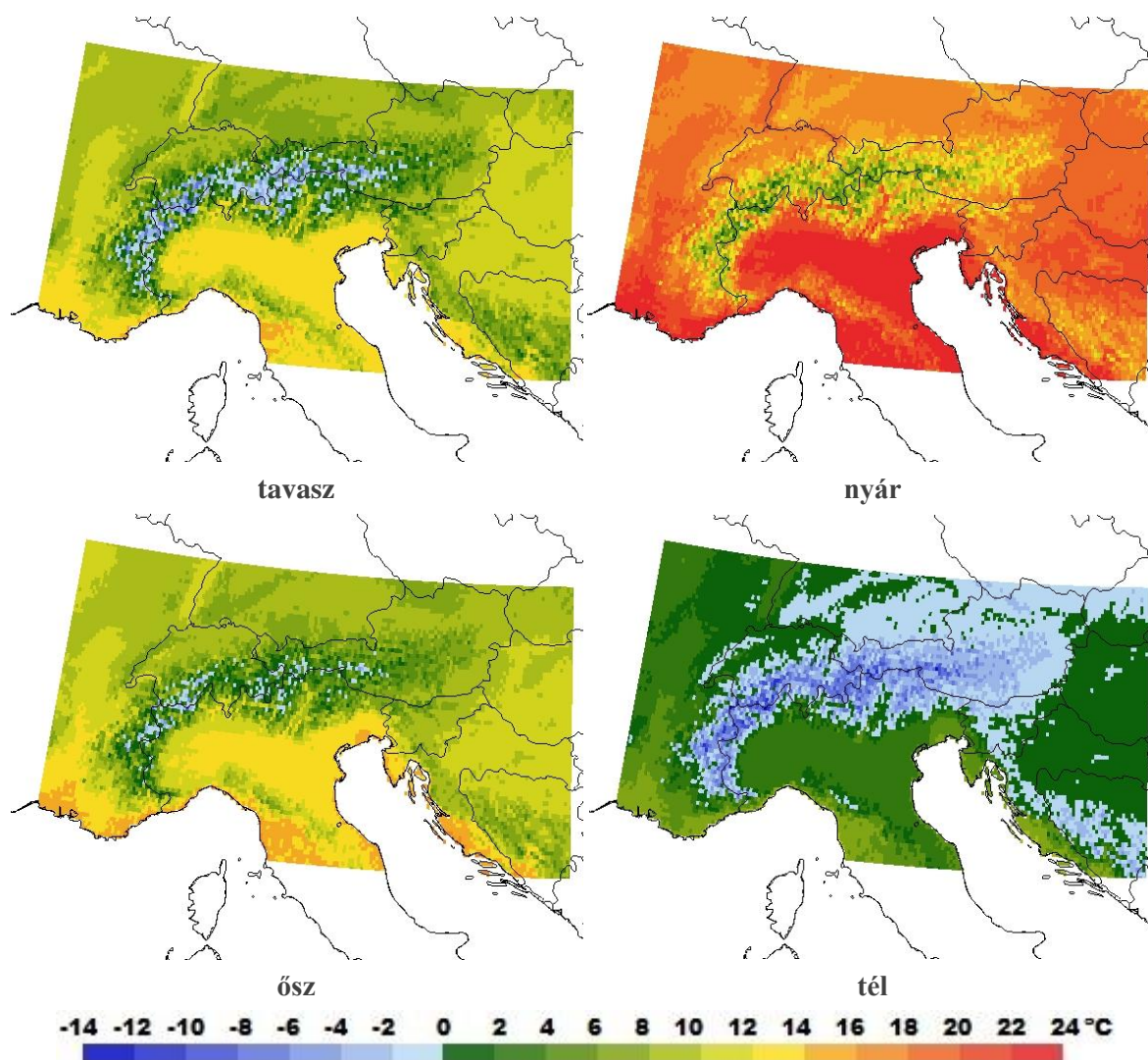
Az Alpok hőmérsékleti viszonyait is nagyban befolyásolja a tengerszint feletti magasság, az óceántól való távolság, a földrajzi szélesség és a domborzat. Mivel nem volt finom felbontású hőmérsékleti adatbázis, ezért a hőmérsékleti adatokat a durvább felbontású HISTALP-ból vettem ugyanarra az időszakra, amelyben az EURO4M-APGD csapadék-adatbázis rendelkezésre áll (1971–2008). A hőmérsékleti térképeken is jól kirajzolódik a domborzat, látható, hogy az Alpok legmagasabb pontjain fagypont alatti az évi átlagos középhőmérséklet (13. ábra), de a hegység többi részén is viszonylag alacsony, 2–6 °C. A projekt által lefedett teljes területet figyelembe véve a hegységtől délre, a Pó-síkságon, illetve a Földközi-tenger partjain a legmagasabb az átlagos évi középhőmérséklet: 14–16 °C körüli. A hegységet északról középhegységek és fennsíkok határolják, itt az évi középhőmérséklet alacsonyabb, mint a Pó-síkságon, 6–8 °C. A durvább felbontás miatt kevésbé látszanak a

kisebb skálájú domborzati viszonyok hatásai, mint az EURO4M-APGD adatbázis alapján készült csapadéktérképeken. Azonban egy-egy jellegzetes terület itt is jól kivehető, mint pl. az Adige folyó völgye Északnyugat-Olaszországban, melynek éves középhőmérséklete magasabb a környező területekénél.



13. ábra. Az Alpok és környezete évi átlagos középhőmérséklete az 1971 és 2008 közötti időszakban HISTALP adatok alapján

Az évszakos átlaghőmérsékletek területi megoszlása is jellegzetes, itt is szépen kirajzolódik a hegyvonulat (14. ábra). A legmagasabban fekvő területeken még nyáron is fagypont körül alakul az átlaghőmérséklet. A tavaszi és őszi középhőmérséklet hasonlóan alakul, de az ősz egy kicsit melegebbnek mondható. Tavasszal még jellemzően az egész hegyvonulat gerincén negatív az átlaghőmérséklet, míg ősszel az Alpok délnyugati részén már 0 °C fölé emelkedik az átlaghőmérséklet. A két évszak közötti hőmérséklet-különbség oka, hogy tavasszal a besugárzott hó nemcsak a légkör melegítésére, hanem a hóolvasztásra is fordítódik. A tél az Alpok teljes területén igen hideg, nemcsak a magashegységi részekben, hanem a középhegységi területeken is fagypont alatt alakul az évszakos középhőmérséklet. A legmagasabb csúcsok közelében –10 °C-nál is alacsonyabb ez az érték.

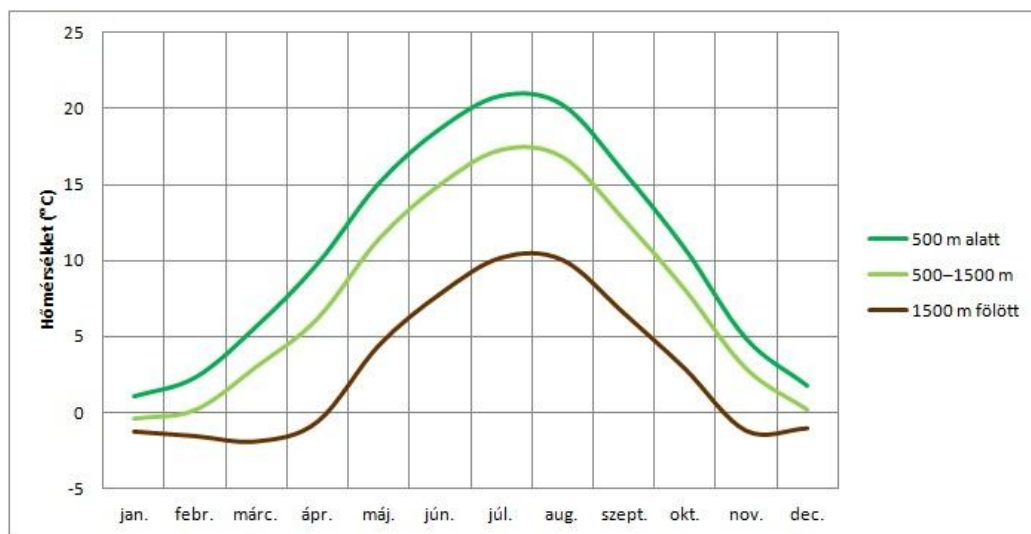


14. ábra. Az Alpok és környéke évszakos középhőmérséklete az 1971 és 2008 közötti időszakban HISTALP adatok alapján

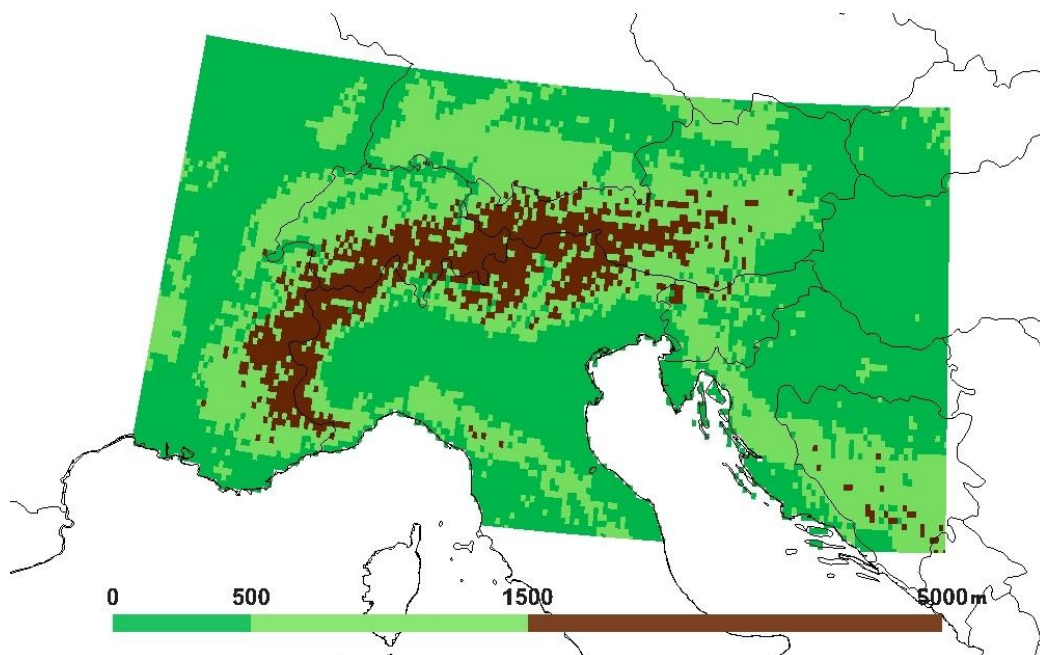
Az éghajlat jellemzésénél fontos az átlagos havi középhőmérséklet bemutatása. Mivel az adatbázis az alföldektől egészen a több ezer méter magas csúcsokig terjed, a havi középhőmérsékletet nem a teljes területre, hanem a klasszikus földrajzi beosztás szerinti három különböző szintre átlagolva mutatom be: alföldek (tszf. 500 m alatt), középhegységek (tszf. 500–1500 m) és magashegységek (tszf. 1500 m fölött) szintjén (15. ábra). Az átlagolást a 1971 és 2008 közötti időszakra végeztem el.

A 15. ábrán jól látható, hogy az alacsonyan fekvő területeken a legnagyobb az évi hőingás, és még a téli hónapokban is fagypont fölött alakul az átlagos középhőmérséklet. Az 500 m alatti területek elszórva helyezkednek el (16. ábra), és mivel az Alpok éghajlatválasztó hegység, ezért különböző – mediterrán, óceáni és kontinentális – éghajlatú területek is vannak a térképen, így ezen a szinten az átlagolás kiegyenlíti a különböző éghajlatok közötti jellegzetes különbségeket. Mivel dolgozatom témája a hegyvidék, ezért főképp az 500 m

fölötti területeket vizsgáltam. A középhegységi részek nem kizárólag az Alpok területén találhatóak (benne van az Appennini-hegység egy része, illetve a Dinári-hegység is). Az év legmelegebb hónapja a július, 17 °C körüli átlaghőmérséklettel, a leghidegebb pedig a január fagypont körüli értékekkel. A vizsgált magashegységi rácspontok szinte mind az Alpok területén találhatóak. Itt az átlagos havi középhőmérséklet az év felében, novembertől ápriliséig fagypont alatt alakul, és csak a két legmelegebb nyári hónapban (július és augusztus) haladja meg a 10 °C-ot.

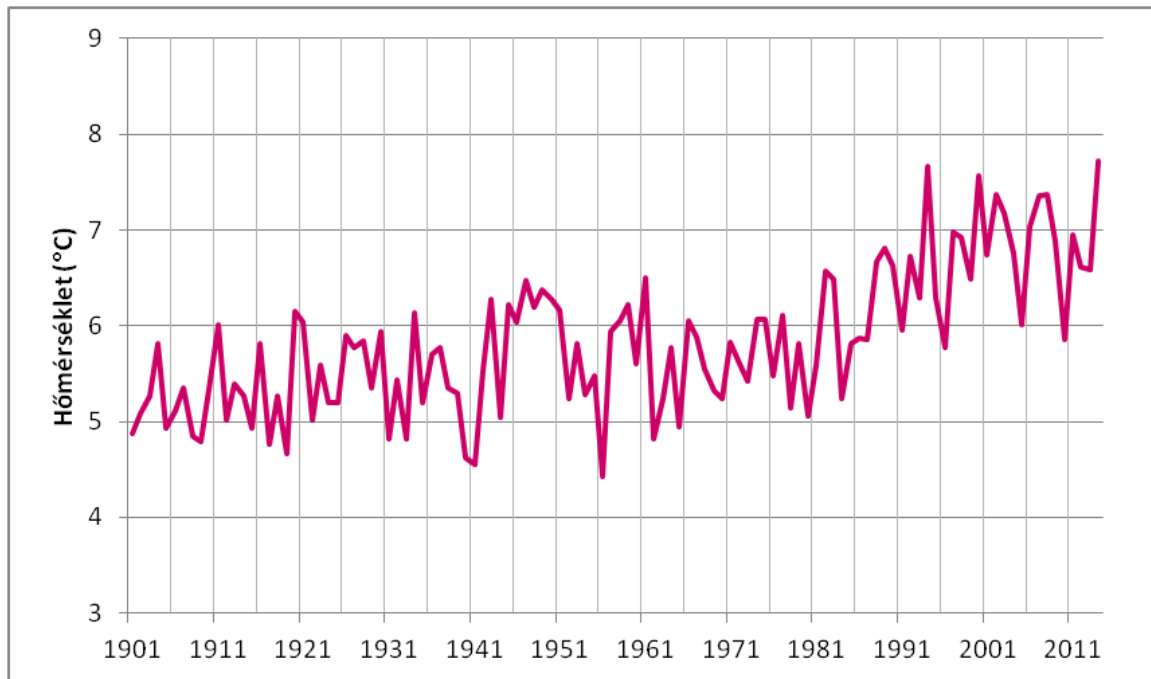


15. ábra. Átlagos havi középhőmérséklet az alföldi (sötétzöld vonal), a középhegységi (világoszöld vonal) és a magashegységi (barna vonal) rácspontokban az 1971 és 2008 közötti időszakban HISTALP adatok alapján



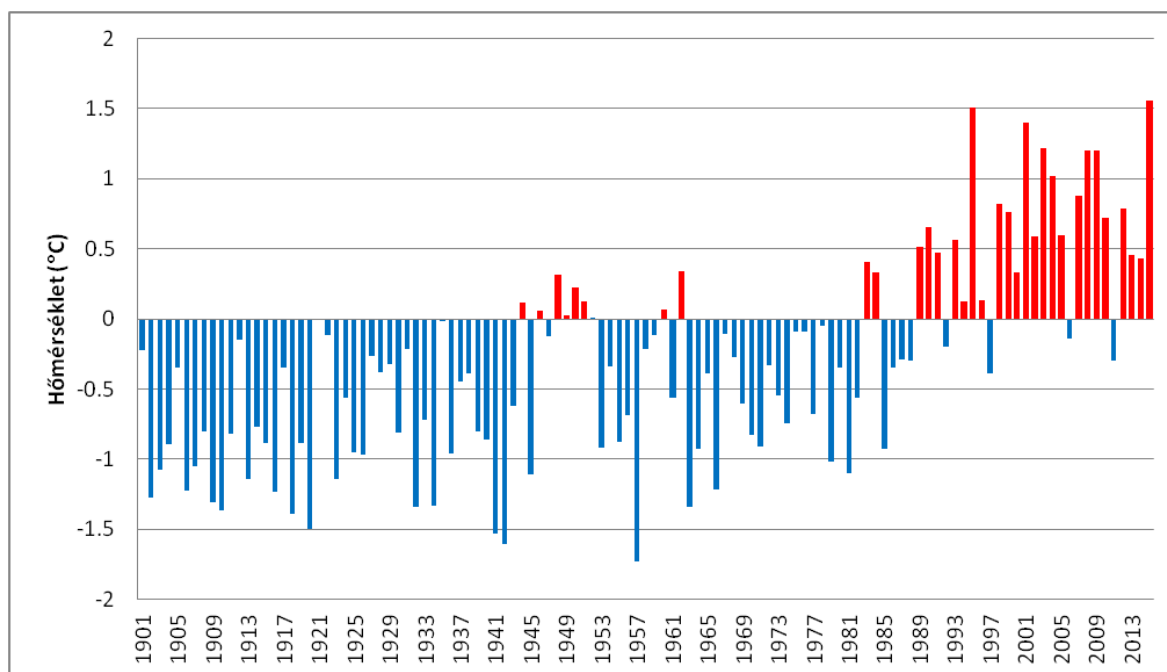
16. ábra. A HISTALP adatbázis által lefedett terület tengerszint feletti magasság szerint három szintre bontva: alföldi (sötétzöld), középhegységi (világoszöld) és magashegységi (barna) szint

A hegyvidékek különösen érzékenyek a klímaváltozásra. Ezt szemlélteti a 17. és 18. ábra. Az évi átlagos középhőmérsékleteket vizsgáltam a tszf. 500 m-nél magasabban fekvő területekre. Az évi átlagos középhőmérsékletek (17. ábra) a múlt század első felében 4,5–6,5 °C között alakultak. 1966 óta a középhőmérséklet minden évben 5 °C fölött alakul, és 1994-ben először haladta meg a 7 °C-t. A vizsgált időszak legmagasabb évi átlaghőmérséklete 2014-ben volt (7,7 °C).



17. ábra. Évi középhőmérsékletek az 1901 és 2014 közötti időszakban a tszf. 500 m fölötti területeken átlagolva HISTALP adatok alapján

Az 1971–2000-es normálidőszakhoz viszonyított hőmérsékletváltozás diagramja is jól mutatja a melegedést (18. ábra). A normálidőszak átlaghőmérséklete 6,2 °C. A XX. század első negyven évében a normálidőszakhoz képest negatív anomália mutatható ki, egyes esetekben 1,5 fokkal is az 1971–2000-es időszak átlaga alatt volt az évi átlaghőmérséklet. Az 1940-es évek végén a volt egy melegebb periódus, ekkor kevéssel, de a normálidőszak átlaga fölött alakult a hőmérséklet. Érdekes, hogy 1982-ig csak nyolc évben volt magasabb az átlaghőmérséklet a normálidőszakhoz viszonyítva, 1982 óta pedig huszonötöszer. Egyértelműen látható a klímaváltozás hatása, a '90-es évek óta csak négy évben volt hidegebb, mint az 1971 és 2000 közötti időszak átlaghőmérséklete. Itt is kitűnik, hogy a 2014-es év kifejezetten meleg volt, az 1,5 °C-ot is meghaladja az eltérés.



18. ábra. A tszf. 500 m felett található területek évi középhőmérsékletének eltérése az 1971–2000-es normálidőszak átlaghőmérsékletétől az 1901 és 2014 közötti időszakban HISTALP adatok alapján

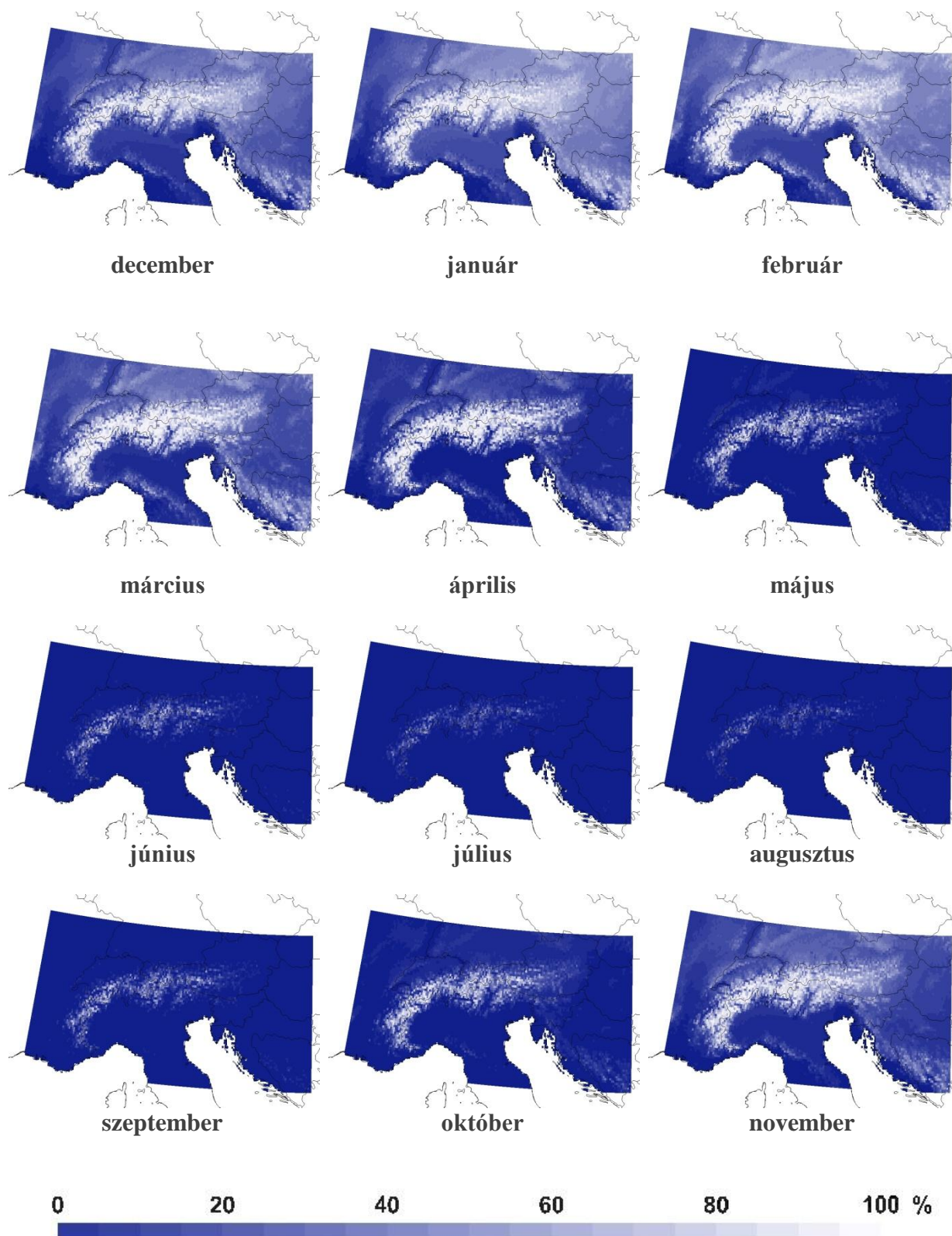
C. Szilárd halmazállapotú csapadék

A XX. században néhány évtizedig a meteorológiai mérési gyakorlat része volt a szilárd csapadék arányának meghatározása, azonban ez később, a mérések automatizálásával költségessége miatt majdnem mindenhol megszűnt (*Chimani et al.*, 2011). Az éghajlatkutatás szempontjából azonban nem elhanyagolható paraméter a szilárd csapadék. Mivel a téli sportok és a turizmus számára elengedhetetlenül fontos a hó, ezért a HISTALP projekt szilárd csapadék adatbázisát is felhasználtam. Figyelembe kell venni, hogy az adatbázis nem kifejezetten a hó, hanem mindenféle szilárd csapadék (hó, jégdara, jégeső) meghatározására készült, de mivel ezek közül a hó fordul elő leggyakrabban, ezért mégis használható a vizsgálatokhoz. A HISTALP projekt keretében a havi átlaghőmérséklet és a havi csapadékösszeg felhasználásával, matematikai módszerekkel származtatták a szilárd csapadék adatbázist. Ausztriában 170 állomáson naponta mérik a hőmérsékletet, csapadékot és csapadékfajtát. Ezen mérések (1950–2008) segítségével dolgozták ki a formulát, mely a szilárd csapadék aránya és a hőmérséklet közötti kapcsolatot írja le:

$$p = 50 \tanh(2a_1(T - a_2)) + 50 \quad (1)$$

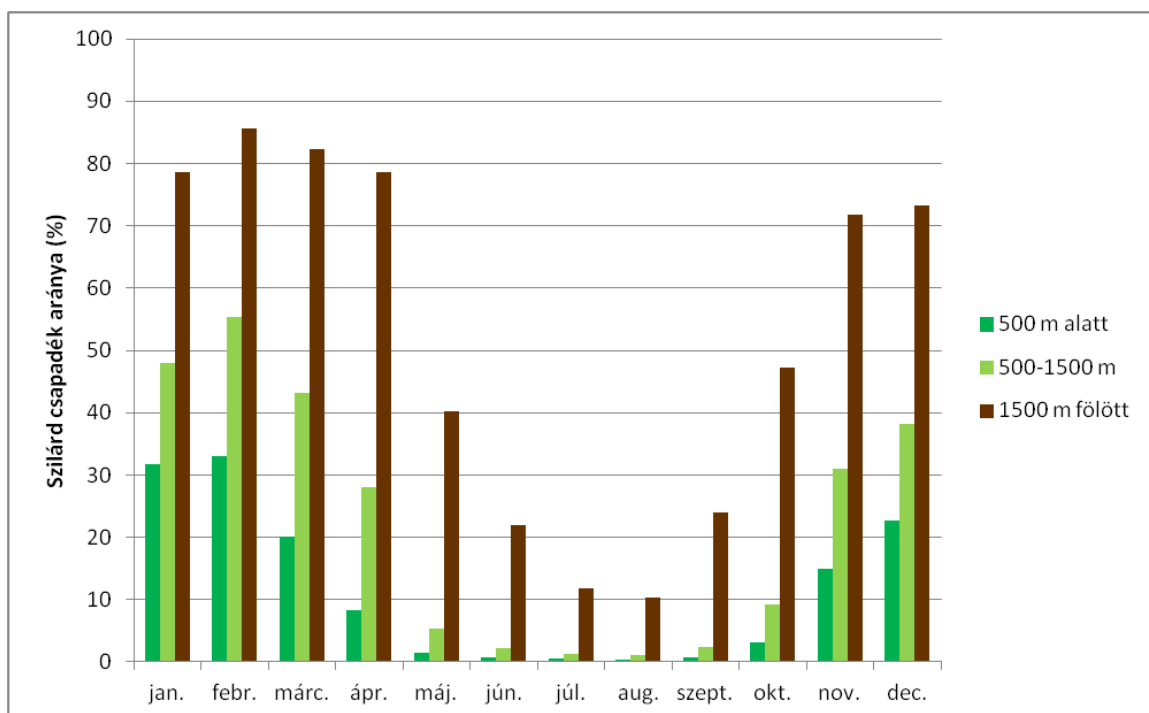
ahol a p a szilárd csapadék aránya %-ban, T a hőmérséklet °C-ban, a_1 és a_2 pedig együtthatók, melyeket minden hónapra külön meghatároztak, és a függvény meredekségét, illetve a 0 °C-tól való eltérését írják le az inflexiós pontban (*Chimani et al.*, 2011).

A szilárd csapadék havi átlagos, a teljes csapadékösszeghez viszonyított arányát mutatja a 19. ábra. Jól látható, hogy a legmagasabb csúcsokon egész évben többnyire hó hullik. Megfigyelhető, hogy a kontinens belseje felé haladva, keleten a síkvidékeken gyakrabban hullik, hó, mint nyugaton. A hegység fő vonulata ezeken a térképeken is kirajzolódik. A nyári hónapokban csak a legmagasabb területeken hullik szilárd halmazállapotú csapadék. A téli hónapokban az egész területen hullhat hó, bár erre a Pó-síkságon, illetve a tengerpartokon van a legkevesebb esély, ott még télen is kisebb arányban hullik szilárd csapadék, mint eső. Novembertől áprilisig az Alpok alacsonyabb területein is jellemző a havazás, májusban és októberben a fő vonulat területén még nagy az esély a havazásra, de nyáron már csak a legmagasabb csúcsokon. Az egész területet figyelembe véve a február a leghavasabb hónap, akkor még a síkvidékek nagy részén is 60% fölötti a szilárd csapadék aránya. Van olyan terület is, ahol egész évben a folyékony halmazállapotú csapadéka a főszerep: a tengerpartokon, illetve az Alpok vonulatától délnyugatra szinte sose hullik hó.



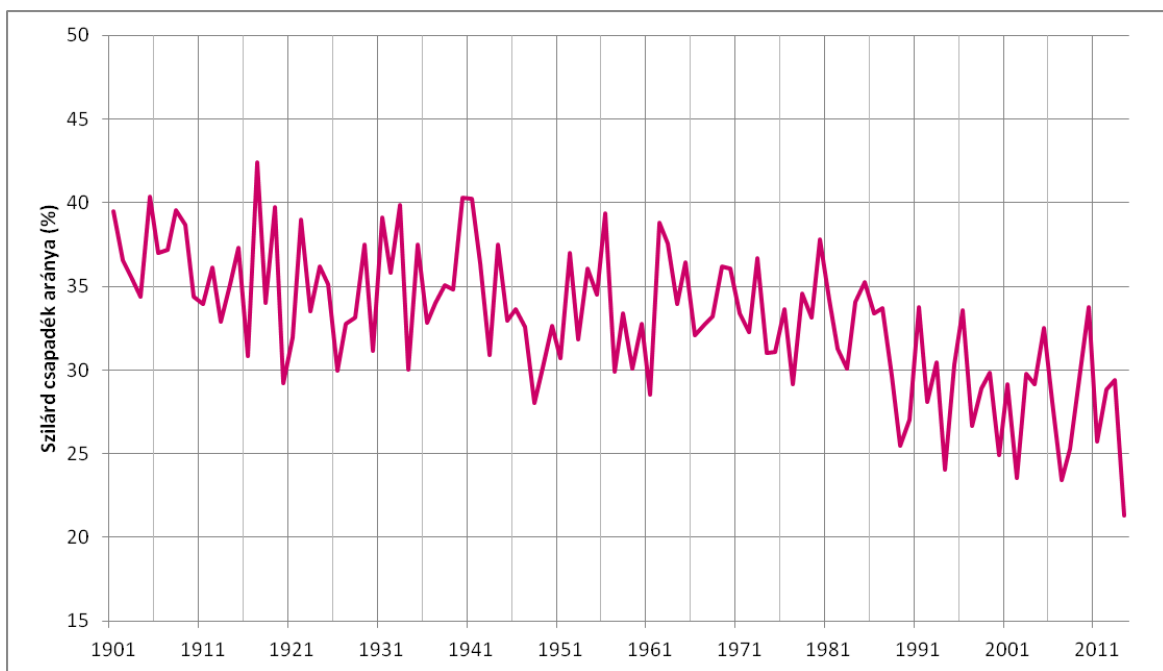
19. ábra. A szilárd csapadék havi átlagos aránya az 1971 és 2008 közötti időszakban HISTALP adatok alapján

A szilárd csapadék százalékos arányának havi átlagos értékeit mutatja be a 20. ábra. Az átlagolást a 16. ábrán látható három területre végeztem el. A magashegységi területeken (tszf. 1500 m fölött) sokkal nagyobb a szilárd csapadék aránya az összes hónapban, mint a középhegységi (1000–1500 m), illetve alföldi (500 m alatt) területeken. Mindhárom szinten azonos az évi menet: februárban hullik a legnagyobb, augusztusban a legkisebb arányban szilárd halmazállapotú csapadék. A legmagasabban fekvő területeken az év első négy hónapjában a csapadék több, mint háromnegyede szilárd halmazállapotú. Április és május között látható a legnagyobb változás: míg áprilisban 78%-ban hullik szilárd csapadék, májusban már csak 40%-ban. Augusztusban 10%, majd szeptembertől fokozatosan nő a szilárd csapadék aránya, és novemberben, decemberben már újra 70% fölötti. A középhegységi területeken csak februárban haladja meg az 50%-ot a szilárd csapadék aránya, májustól októberig 10% alatti, novemberben és decemberben 30 és 40% közötti ez az arány. Az alföldi területek átlagos havi szilárdcsapadék-aránya még a két „leghavasabb” hónapban is csak 30% körüli, júniustól szeptemberig pedig 1% alatti. A nyári szilárd csapadék feltehetőleg jégesőből származik a síkvidékeken. Télen azért ilyen kevés a szilárd csapadék aránya, mert bár az Alpoktól északra és keletre eső területeken télen jellemző a hóesés (19. ábra), a Pó-síkságon, illetve a tengerpartokon még télen is ritka a szilárd csapadék. Mivel területi átlagokat mutat be a 20. ábra, ezért jöttek ki 20–30%-os értékek a téli hónapokra.



20. ábra. A szilárd csapadék teljes csapadékösszeghez viszonyított aránya az alföldi (sötétzöld vonal), a középhegységi (világoszöld vonal) és a magashegységi (barna vonal) rácsponthoz havi átlagolva az 1971 és 2008 közötti időszakban HISTAALP adatok alapján

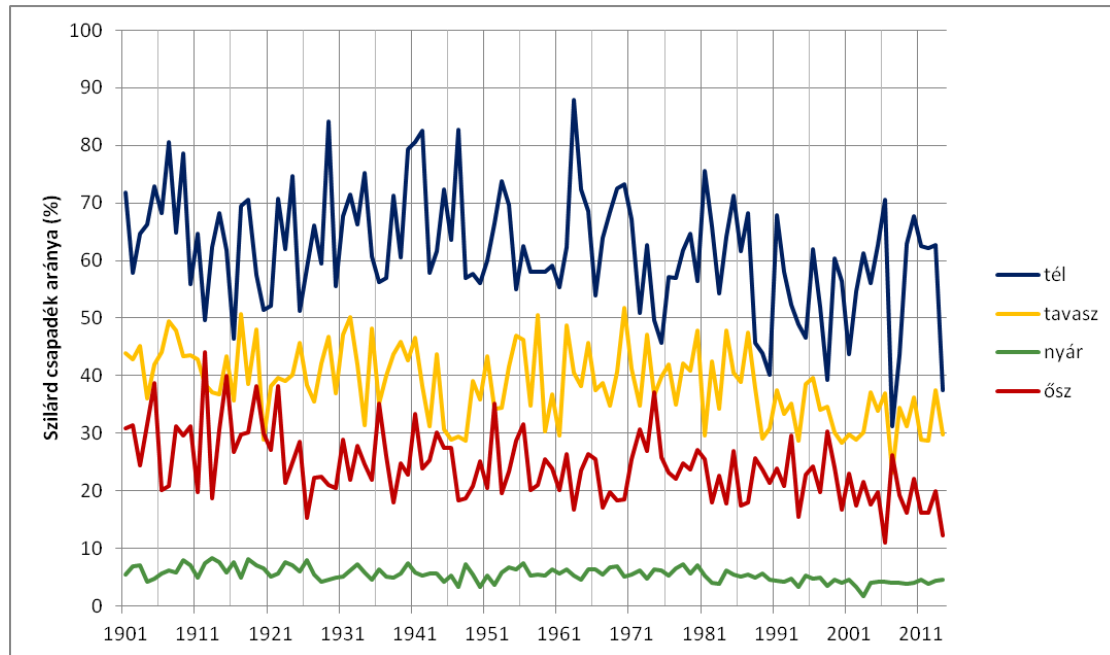
A szilárd csapadék arányának 1901 és 2014 közötti változását mutatja a 21. ábra. Azért érdemes a mm-ben kifejezett abszolút mennyiségek helyett relatívat vizsgálni, mert a megmaradó hó szempontjából fontosabb, hogy a lehullott csapadék mekkora hányada szilárd, mint az, hogy pontosan mennyi szilárd csapadék hullik. A tszf. 500 m felett fekvő területeken átlagoltam évente a szilárd csapadék arányát. A XX. század elején többször is meghaladta a 40%-ot a szilárd csapadék éves aránya. Az 1980-as évekig 28–43% között ingadozik ez az arány, majd láthatjuk a csökkenést: 1985 óta nem haladta meg a 35%-ot. A vizsgált időszak utolsó két évtizedében a szilárd csapadék éves aránya 23% és 34% között változott, és 2014-ben pedig felvette az addigi legalacsonyabb értéket (21%). A szilárd csapadék arányának az időszak végén megfigyelhető csökkenése azért érdekes, mert az teljes átlagos éves csapadékmennyiségben nem látható jelentős csökkenés. Ennek oka, hogy a melegedés következtében a korábbiakhoz hasonló csapadékmennyiségek mellett gyakrabban esik hó, mint eső.



21. ábra. A szilárd csapadék teljes csapadékösszeghez viszonyított aránya, a tszf. 500 m feletti területeken évente átlagolva az 1901 és 2014 közötti időszakban HISTALP adatok alapján

Külön megvizsgáltam a szilárd csapadék százalékos arányának 1901 és 2014 közötti átlagos évszakos változását a hegyvidéki (tszf. 500 m felett) területeken (22. ábra). Elmondható, hogy télen 50–85% között ingadoztak az értékek, de a '80-as évek óta már a 70%-ot nem haladja meg a szilárd csapadék éves területi átlaga, és volt olyan év, amikor 35% alá csökkent (2007: 32%). Tavasszal nagyobb arányban hullik szilárd csapadék, mint ősszel, átlagosan 30–50%-ban. A csökkenés itt is megfigyelhető: az utolsó két évtizedben 40% alá

csökkent a szilárd csapadék tavaszi aránya. Ősszel az időszak elején még 20–40% volt a szilárd csapadék aránya átlagosan, de az időszak végére már 25% alá csökkent, 2006-ban csak 11%, 2014-ben pedig 12% volt ez az érték. A legkisebb arányban (3–8%) nyáron hullik szilárd halmazállapotú csapadék. A csökkenés itt is látható: 1985 óta nem éri el ez az érték a 6%-ot.



22. ábra. A szilárd csapadék teljes csapadékösszeghez viszonyított évszakos aránya, a tszf. 500 m feletti területeken évente átlagolva az 1901 és 2014 közötti időszakban HISTALP adatok alapján

V. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSHOZ VALÓ ALKALMAZKODÁS, AZ ALPESI TURIZMUS LEHETSÉGES JÖVŐJE

A idegenforgalom az alpesi országok gazdaságának egyik legfontosabb pillére, a munkahelyek 10–12%-át ez a szektor adja (Balbi, 2012). Az alpesi turizmus nagyban függ a természeti forrásoktól és a klimatikus viszonyoktól, ezért csak a klímatudatos turizmus lehet a jövő útja.

A kontinens vízellátásában kulcsszerepet játszik az Alpok. Európa négy nagy folyója (Rajna, Rhone, Duna, Pó) ered itt, ezért nevezik a hegységet Európa víztornyának (EEA, 2009). A klímaváltozás az alpesi hidrológiai rendszert is megváltoztatja. A gleccserjég és a hó nagy mennyiségű vizet tárol. Az éghajlatváltozás befolyásolja a lefolyási rendszereket, nyáron aszály, télen pedig földcsuszamlások és árvizek várhatók (EEA, 2009).

A jövő klímáját megbecsülni nagyon nehéz feladat, mert az éghajlati rendszer összetett, nagyon változékony, és a változások nem lineárisak. Ezenkívül a topográfiától és a földhasználatától függő mikroklímák igen változatosak. Az A1B kibocsátási scenárió szerint a XXI. század közepéig évtizedenként 0,25 °C-os átlaghőmérséklet-emelkedésre számíthatunk évtizedenként, a század második felében pedig 0,36 °C ez az érték (Gobiet et al., 2014). A csapadékmennyiség várható változása évszakonként eltérő. A csapadékos napok gyakoriságának csökkenését várhatjuk nyáron az Alpok teljes területén, míg ősszel és tavasszal csak a déli részeken. Az előrejelzések szerint az átlagos csapadékmennyiség télen nő, nyáron pedig csökken. Hőmérsékleti- és csapadékextremumok gyakoriságának növekedésére is számíthatunk. Az extrém események a turisztikai szektorban különösen fontosak, hiszen az árvíz, az aszály, a hirtelen lezúduló nagy mennyiségű csapadék, a lavina mind nagy kockázatot jelent.

Az éghajlatváltozás egyszersmind veszélyezteti a jelenlegi turisztikai berendezkedést, és kínál új lehetőségeket az alpesi turizmus megújulására (Urbanc et al., 2011). A XX. század második felében elterjedt, téli sportokra alapozó turisztikai modell mára elavult, új és drasztikus változtatásokra van szükség (Bourdeau, 2005).

Ha a klímaváltozás turizmusra kifejtett hatásait vizsgáljuk, fontos, hogy szétválasszuk a téli és a nyári időszakot. A télen a hó-és jégtakaró csökkenése miatt várhatóan negatív hatásai lesznek a klímaváltozásnak. Azonban a nyári időszakban épp a melegedésnek köszönhetően akár segítheti is a turizmust az éghajlatváltozás.

A XVIII–XIX. században a hegyvidéki területek voltak a legkedveltebb nyári úticélok, míg télen utaztak az emberek a tengerpartra. A XX. században viszont ez megváltozott, a tengerpart lett a legfőbb nyári célpont, míg a hegyvidéki területekre főként télen utaztak, síelni és egyéb téli sportokat űzni. Lehet, hogy a jövő útja az, hogy a klímaváltozás miatt újra megfordulnak a szezonális viszonyok, és nyáron inkább a „természetesen légkondicionált” hegyeket keressük fel, télen pedig a vízi sportoknak hódolunk a hóhullámok és a napégés veszélyei nélkül (*Bourdeau, 2005*).

A síközpontok hóellátottsága manapság sem mindenhol biztosított, és ez a jövőben csak romlani fog (ld. III. 1. fejezet). A téli sportok közül az alpesi (lesiklás, műlesiklás, óriás műlesiklás, szuperóriás műlesiklás) a legveszélyeztetettebb, hiszen ez a sportág 800–1000 km-es szintkülönbségű, 2000–3000 m hosszú pályákat igényel (*Gallovits et al, 2011*).

A klímaváltozáshoz és a hómennyiség csökkenéséhez való alkalmazkodás az alpesi országok egyik nagy feladata, ezért sokféle alkalmazkodási stratégiát dolgoztak ki: helyszíntfüggő, hogy éppen melyik alkalmazható. Két csoportba oszthatók az alkalmazkodási stratégiák: technológiai és nem technológiai. Technológiai alkalmazkodás esetén műszaki megoldásokkal próbálják fenntartani a jelenlegi helyzetet. A nem technológiai alkalmazkodás pedig inkább a viselkedés és hozzáállás megváltozását jelenti, hosszútávú idegenforgalmi tervezéssel és kockázatelemzéssel, pénzügyi eszközök segítségével (*Balbi, 2012*). A technológiai lehetőségek egyike a tereprendezés, mely magában foglalja a nagyobb síterek árnyékossá tételét, a kavicsos felszín simítását, illetve a növényzet kiirtását, hogy megfelelő minőségű pályákat alakíthassanak ki. Ez a fajta megoldás környezetvédelmi problémákat is felvet, hiszen a növényzet kiirtása növeli az eróziót, csökkenti a biodiverzitást. Az új pályák építése az Alpok vonzerejét is csökkentheti, hiszen a mesterségesen kialakított környezet elrettentheti a nyáron túrázni vágyókat. A hótároláshoz megfelelő helyeket kell kialakítani: fák ültetésével, árnyas völgyek kialakításával egy ideig megoldható a síeléshez elegendő hómennyiség biztosítása (*Abegg et al., 2007*).

Alkalmazkodási lehetőség még, ha a sípályákat magasabbra, illetve az észak felé néző lejtőkre helyezik (*Abegg et al., 2007*). Az északi fekvésű lejtők ugyanis kevesebb napsütést kapnak, ezért ott a hóolvadás sem olyan intenzív. A probléma az, hogy a síelők kevésbé szeretik az árnyékos lejtőket, mint a napfényes oldalt. A magasabbra költözés kétféleképpen oldható meg: egyrészt a meglévő pályák felfelé való továbbépítésével, másrészt teljesen új

pályák kialakításával. Ekkor megint felmerülnek környezetvédelmi problémák, hiszen a magashegységi területek kifejezetten sérülékenyek. A turistáknak pedig több szempontból jelenthet gondot ez a megoldás: a magasban a szél erősebb, a lavinaveszély nagyobb, mint alacsonyban, illetve a nagy tengerszint feletti magasság az emberi szervezetet is próbára teszi. Fontos megemlíteni még, hogy ilyen pályák kialakítása igen költséges is.

További lehetőség még hóhiány esetén a gleccsersíelés. A gleccserek visszahúzódása az 1850-es évektől kezdve megfigyelhető, és az utóbbi években felgyorsult ez a folyamat. 2050-re a svájci gleccserek háromnegyede elolvadhat, 2100-ra pedig akár az összes alpesi gleccser megszűnhet (Agrawala, 2007). Ezért ez az alkalmazkodási stratégia csak ideig-óráig működőképes.

Megoldás lehet még a mesterséges hó-készítő gépek alkalmazása (Abegg et al., 2007). A szocsi téli olimpián láthattuk, hogy a téli sportok üzésére szinte alkalmatlan időjárási körülmények között is működőképes lehet egy helyszín, ha biztosított a megfelelő anyagi és technológiai háttér (Bata, 2015). Azonban fontos szem előtt tartani, hogy az olimpia egy kéthetes esemény, nem teljes szezonon át kellett fenntartani a megfelelő viszonyokat. Az alpesi síközpontok célja pedig nyilván az, hogy hónapokig vagy akár az egész évben fogadhassanak látogatókat. A mesterséges hó használata az 1980-as években kezdődött Európában, és mára már igen sok síterepen alkalmaznak hókészítő gépeket. A kicsi vagy közepes síterek nem engedhetik meg maguknak, hogy ilyen berendezéseket üzemeltessenek, mert nagyon költséges, ezelőtt tíz évvel 1 m³ hó előállítására 1–5 euróba került (Abegg et al., 2007). A klímaváltozással még inkább drágulni fog, a rendelkezésre álló víz- és energiamennyiség csökkenése miatt. Nem igazán környezetkímélő ez a módszer sem, hiszen síeléshez megfelelő vastagságú (20–35 cm) hó készítéséhez négyzetméterenként 70–120 liter vizet kell felhasználni (Abegg et al., 2007).

A magatartásbeli alkalmazkodási módszerek közé tartozik, hogy az üzemeltetés eddigi gyakorlatát felülírva máskor legyenek nyitva a sípályák. Míg eddig a legforgalmasabb időszak karácsony és újév között volt, lehet, hogy a jövőben nem ekkor lesz a legmegfelelőbb a hőmennyiség. A rövidülő szezon nagy vesztese lesz az idegenforgalom, hiszen kevesebb lesz a vendég (Abegg et al., 2007).

Nem elhanyagolható még a pénzügyi támogatás, illetve a biztosítás szerepe. A pénzügyi támogatás szerepe egyértelmű: minden eddig felsorolt alkalmazkodási stratégia

költséges. Vannak olyan üzemeltetők, melyek biztosítást kötnek arra az esetre, ha a kevés hó, illetve az alkalmatlan időjárási körülmények miatt teljesen vagy részlegesen be kell zárni egy időre a síközpontot.

Alkalmazkodási lehetőség még, ha változatosabbá tesszük a téli turizmus lehetőségeit, és a síelésen kívül más alternatívákat is kínálunk. Bár sokan a síelés miatt keresik fel az Alpokat, egyre többen vannak, akik nem síelnek. Sőt, Franciaországban egy átlagos síelő csak kb. négy órát síel naponta, az olaszoknál a síközpontokba látogatók közel fele nem síel (*Abegg et al.*, 2007). A klímaváltozással változnak a látogatók szokásai, egyre gyakoribb, hogy síelés helyett a túrázást, a szánkózást vagy egyéb elfoglaltságot választanak maguknak. Sok síközpont csak télen van nyitva. Alkalmazkodási lehetőség még az egész éves nyitva tartás, síelésen kívül más lehetőségeket is kínálva.

Fontos megjegyezni, hogy a klímaváltozásnak van néhány nyertese a téli turisztikai szektorban is, hiszen vannak olyan sípályák, melyek még évtizedekig zavartalanul üzemeltethetnek megfelelő fekvésük miatt. A jövőben ezek a helyek egyre forgalmasabbak lesznek, hiszen egyre csökken a hóbiztos sítérek száma.

A jövőben megnőhet a hegységek nyári vonzereje, mert ide menekülhetnek az emberek a nyári hőhullámok elől. Várhatólag a nyári szezon az Alpokban a melegedés miatt hosszabb lesz, mint manapság (*Balbi*, 2009). Ha az Alpok fő nyári turisztikai céllá válik, nagy nyomás nehezedik a vízgazdálkodásra, mert számolni kell a klímaváltozás miatti lehetséges vízhiánnyal. A folyók kiszáradásának valószínűsége nőni fog, és ezt még a gleccserek olvadása sem fogja tudni kompenzálni. Ezért a vízi sportok üzésének lehetősége is csökkenni fog. A tipikus nyári hegyvidéki sportok, mint a hegymászás, sziklamászás és hegyikerékpározás nincsenek kitéve annyira a klímaváltozásnak, de a lavinák, földcsuszamlások és olvadó gleccserek miatt ezeket a sportokat is körültekintőbben kell végezni (*Balbi*, 2009).

A klímaváltozáshoz való alkalmazkodást csak összefogással lehet megoldani, a társadalmi, gazdasági és környezetvédelmi igényekhez alkalmazkodva. Ezért az elmúlt időszakban sok különböző kutatóprojektet hoztak létre, hogy a turisták, a helyi lakosság és az üzletemberek tudatosságát növeljék, részvételükkel kialakítsák az élhető, fenntartható turizmust az Alpokban (*Bonzanigo et al.*, 2013).

Az alpesi turizmus változatosabbá tétele igen fontos célkitűzés. A télközpontú turizmus helyett ki kell alakítani a nyáron, illetve egész évben vonzó turizmust. Ehhez az idegenforgalom fejlesztésére és változatos programkínálatra van szükség (2. táblázat). Mivel a téli szabadtéri sportok klímaérzékenysége igen magas, ezért ezekre télen a fedett pályás sportok jelenthetnek alternatívát, illetve a kikapcsolódni vágyók felkereshetik az év ezen szakaszában közkedvelt karácsonyi vásárokat. Nyáron a fesztiválok és a kalandparkok tehetik változatossá az alpesi kikapcsolódást, de a szép környezetben a túrázást és lovaglást sem fenyegeti az éghajlatváltozás. Teljes évben a sportolni vágyók számára a túrázás, a nordic walking megfelelő elfoglaltság lehet, ezek klímaérzékenysége ugyanis alacsony.

2. táblázat. Példák az alpesi turizmus változatosabbá tételére (forrás: Balbi, 2009)

		Nyár	Teljes év	Tél
Klímaérzékenység	Alacsony	lovaglás, golf, túrák, fesztiválok, kalandparkok	fedett pályás sportok, wellness, gasztronómia, skanzenek, múzeumok, egészségügyi túrák, nordic walking	karácsonyi vásárok
	Közepes	sziklamászás, paplanernyőzés, vízi elfoglaltságok	hegymászás, hegyikerékpározás	korcsolyázás bobozás, hegymászás
	Magas		gleccserekhez kapcsolódó tevékenységek	síelés, snowboardozás

A klímaváltozás tehát új kihívás elé állítja az alpesi turizmust. Megfelelően kidolgozott, környezettudatos stratégiákkal azonban a meg lehet újítani, és vonzóvá lehet tenni az Alpokat a vendégek számára az egész évben.

VI. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom témájának a nagy népszerűségnek örvendő hegyvidéki sportot és turizmust választottam. Célom volt a hegyvidéki sport és turizmus klimatológiai feltételeinek vizsgálata, különös tekintettel a téli sportokra. Meteorológiai szempontból a téli sportok azért érdekesek, mert itt az időjárás szerepe igen nagy.

Mivel Európa legnagyobb hegysége az Alpok, és évente turisták millióit vonzza, ezért az Alpokat választottam vizsgálataim helyszínéül. Nagyon sokszínű terület, Európa egyik legfontosabb ökológiai, gazdasági, kulturális és turisztikai központja. A hegyvidéki területek éghajlati viszonyait a földrajzi fekvés, a tengerszint feletti magasság és a besugárzás határozza meg.

Mivel a téli sportok alapvető eleme a hó, ezért két olyan cikket ismertettem, melyek az alpesi területek hóviszonyait mutatják be. *Abegg* és munkatársai 2007-es kutatásában azt vizsgálták, hogy Ausztria, Franciaország, Németország Olaszország és Svájc alpesi síközpontjai közül a hőmérséklet-emelkedéstől függően hány síközpont lesz hóbiztos a következő évszázadban. Megállapították, hogy már 1 °C-os hőmérséklet-emelkedés is nagy károkat okoz, de amennyiben az a forgatókönyv valósul meg, mely az évszázad végére 4 °C-os melegedést mond, akkor a 666 vizsgált helyszínből csak 202 lesz hóbiztos. *Schmucki* kutatásában hóval kapcsolatos extrém indexek jövőbeli változásait vizsgálta 11 meteorológiai állomáson. Csökkenés várható az összes vizsgált index értékében minden szinten, de a magashegységi állomás hóhelyzetét befolyásolja legkevésbé a klímaváltozás.

A IV. fejezetben az EURO4M-APGD és a HISTALP adatbázis adatainak felhasználásával mutattam be az Alpok hőmérsékleti- és csapadékviszonyait. Az elemzésekből jól látható az éghajlatváltozás hatása, az éves átlaghőmérséklet növekvő trendje megfigyelhető. A csapadék klímaindexek érzékeltek, hogy az Alpok területén igen heves esőzések is előfordulnak, akár 150 mm is hullhat egy nap alatt. A szilárd csapadék átlagos arányának csökkenése az utóbbi évtizedekben mutatja, hogy a téli sportok veszélyesek.

Végül a hegyvidéki turizmus éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásának lehetőségeit ismertettem. A télisport-központú alpesi turizmus helyett az egész éves turizmus lehet a jövő útja. A téli sportok kedvelői arra számíthatnak, hogy a téli szezon rövidülni fog, illetve a sípályák magasabbra költöznek. Az alpesi idegenforgalomnak kompromisszumokat kell kötni, és megtalálni a legmegfelelőbb választ az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásaira (pl.

hóolvadás). A kedvező hatásokat (pl. melegebb nyár) pedig ki kell használni, és a fenntarthatóság figyelembe vételével új alapokra lehet helyezni az Alpok turizmusát.

Az Alpok egy egyedülálló természeti kincs, melyet még ma sem ismerünk teljesen. A meteorológus szakma feladata, hogy megfelelő mérésekkel, megfigyelésekkel és modellekkel még inkább megismerje az Alpok klimatikus viszonyait, elemezze és ismertesse az éghajlatváltozás lehetséges hatásait, és a gazdasági érdekek fölé helyezkedve segítse a döntéshozókat a környezettudatos, élhető alpesi turizmus kialakításában.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm Soósné Dr. Dezső Zsuzsanna és Dr. Pieczka Ildikó témavezetőimnek a sok segítséget. Segítettek az adatok elemzésében, illetve a szakirodalom értelmezésében. Megtanultam tőlük egy statisztikai és egy megjelenítő program használatát. Külön köszönöm a konzultációkat, melyekre Ildi sok munkája között is minden héten időt szánt, Zsuzsi pedig ötödik gyermeke születése után is, amikor tehetett, részt vett ezeken a megbeszéléseken. Tanácsaikkal és észrevételeikkel segítettek, biztattak, hogy sikerüljön átlendülni a mélypontokon. Köszönöm a Meteorológiai Tanszék munkatársainak, hogy a sok probléma ellenére mindig volt olyan számítógép, melyet rendelkezésemre tudtak bocsátani. Köszönöm a családtagjaimnak, akik végig bíztak benne, hogy elkészül ez a dolgozat.

VII. IRODALOMJEGYZÉK

- Abegg, B., Agrawala, Sh., Crick, F. de Montfalcon, A., 2007: Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management (Szerk.: Agrawala, Sh.), Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Párizs, 25–60.
- Agrawala, Sh., 2007: The European Alps: Location, Economy and Climate. In: Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management (Szerk.: Agrawala, Sh.), Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Párizs, 17–25.
- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, Ch., Briffa, K., Jones, P. D., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J.-M., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z., Nieplova, E., 2007: HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *International Journal of Climatology*, 27, 17–46.
- Balbi, S., 2012: Climate change and tourism in the Alps: a position paper in view of the upcoming Alpine Convention Fourth Report on the State of the Alps on Sustainable Tourism. *Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici Research Paper 127*, 14 p.
- Barry, R. C., 1981: Mountains and their climatological study, In: *Mountain Weather and Climate*, Methuen & Co., New York, 1–17.
- Bartholy, J., Bozó, L., Haszpra, L., 2011: Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. *MTA-ELTE Meteorológia Tanszék, Budapest*, 281 p.
- Bata, J., 2015: A téli olimpiák szinoptikus-klimatológiai feltételeinek vizsgálata a múltban és a jövőben. Szakdolgozat, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék (témavezetők: Soósné Dr. Dezső Zsuzsanna és Dr. Pieczka Ildikó), 36 p.
- Beniston, M., Diaz, H. F., Bradley, R. S. (1997). Climatic change at high elevation sites: An overview. *Climatic Change*, 36, 233–251.
- Beniston, M., 2005: Mountain climates and climatic change: An overview of processes focusing on the European Alps. *Pure and Applied Geophysics*, 162, 1587–1606.
- Bonzanigo, L., Giupponi, C., Balbi, S., 2013: Sustainable tourism planning and climate change adaptation in the Alps: a case study of winter tourism in mountain communities in the Dolomites. *Journal of Sustainable Tourism*, 24(4), 637–652.
- Bourdeau, P., 2009: Mountain tourism in a climate of change. In: *Alpine Space – Man and Environment*, vol. 7: Global Change and Sustainable Development in Mountain Regions (Szerk.: Jandl, R., Borsdorf, A., van Miegroet, H., Lackner, R., Psenner, R.). Innsbruck University Press, Innsbruck, 39–53.
- Brunetti, M., Lentini, G., Maugeri, M., Nanni, T., Auer, I., Böhm, R., Schöner, W., 2009: Climate variability and change in the Greater Alpine Region over the last two centuries based on multi-variable analysis. *International Journal of Climatology*, 29(15), 2197–2225.

- Urbanc, M., and Pipan, P., Alber, K., Allamandola, M. A., Balbi, S., Bausch, T., Benati, A., Bonzanigo, L., Cetara, L., Chaix, C., Clivaz, C., Colson, A., Cremer, I., Dissegna, M., Doctor, M., Dutto, E., Elmi, M., Fosson, J. P., Frigo, B., Furlani, R., Gallée, H., Garbellini, L., Gessner, S., Giupponi, C., Herntrei, M., Kolbeck, F., Luthe, T., Macchiavelli, A., Matasci, C., Mignone, N., Moretto, D., Muti, S., Pasquettaz, C., Pasutto, I., Peters, M., Peyrache-Gadeau, V., Pozzi, A., Rosset, T., Rutter, S., Scheibel, C., Schuckert, M., Siegrist, D., Strobl, A., Venuta, M. L., Wyss R., 2011: ClimAlpTour – Climate Change and its Impact on Tourism in the Alpine Space (Szerk.: Urbanc, M. és Pipan, P.), Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Ljubljana, 127 p.
- Chimani, B., Böhm, R., Matulla, C., Ganekind, M., 2011: Development of a longterm dataset of solid/liquid precipitation. *Advances in Science and Research*, 6(1), 39–43.
- EEA (European Environment Agency), 2009: Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. EEA Technical Report, 143 p.
- Gábris, Gy., Horváth, E., Horváth, G., Kéri, A., Móga, J., Nagy, B., Nemerkenyi, A., Pavlics, K., Simon, D., Telbisz, T., 2007: Európa nagytájai. Az Alpok. In: Európa regionális földrajza: Természetföldrajz, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 121–140.
- Gallovits, L., Honfi, L., Széles-Kovács, Gy., 2011: Sí. In: Sport A-tól Z-ig. Általános és különleges sportágak ismerete. Pécsi Tudományegyetem, Szegedi Tudományegyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Eszterházy Károly Főiskola, Dialóg Campus Kiadó-Nordex Kft., 128–138.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M., 2014: 21st century climate change in the European Alps – A review. *Science of the Total Environment* 493. 1138–1151.
- Nakićenović, N., Davidson, O., Davis, G., Grübler, A., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Metz, B., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Sankovski, A., Shukla, P., Swart, R., Watson, R., Dadi, Z.(2000): Special report on emissions scenarios (SRES), a special report of Working Group III of the intergovernmental panel on climate change (Szerk.: Nakićenović, N., Swart, R.). Cambridge University Press, Cambridge, 612 p.
- Isotta, F. A., Frei, Ch., Weinguni, V., Perčec Tadić, M., Lassègues, P., Rudolf, B., Pavan, V., Cacciamani, C., Antiolini, G., Ratto, S., M., Munari, M., Micheletti, S., Bonati, V., Lussana, C, Ronchi, Ch., Panettieri, E., Marigo, G., Vertačnik, G. (2014). The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data. *International Journal of Climatology*, 34(5), 1657–1675.
- Kertész, I., 2006: Hannibal „téli hadjárata”. *História*, XXVIII/2. 25–27.
- Probáld, F., Szabó, P., Bernek, Á., Hajdú-Moharos, J., Karácsonyi, D., Szegedi, N., Varga, G., 2007: Európa regionális Földrajza. Társadalomföldrajz, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 538 p.
- Schär, Ch., Trevor, D. D., Frei, Ch., Wanner, H., Widmann, M., Wild, M., Davies, H. C., 1998: Current Alpine Climate. In: *Views from the Alps: Regional perspectives on climate change* (Szerk.: Cebon, P.). MIT Press, Massachusetts, 21–73.
- Schmucki, E., Marty, Ch., Fierz, Ch., Lehning, M. 2014: Simulations of 21st century snow response to climate change in Switzerland from a set of RCMs. *International Journal of Climatology*, 35(11), 3262–3273.

Schmucki, E., Marty, Ch., Fierz, Ch., Weingartner, R., 2015: Impact of climate change in Switzerland on socioeconomic snow indices. Theoretical and Applied Climatology, 2015, 1–15.

Internetes hivatkozások

- [1] Alpine Convention: www.alpconv.org
- [2] SNOWPACK modell: <https://models.slf.ch/p/snowpack/>
- [3] EURO4M projekt: <http://www.euro4m.eu/datasets.html>
- [4] HISTALP projekt <http://www.zamg.ac.at/histalp/>
- [5] CDO program: <https://code.zmaw.de/projects/cdo>
- [6] IDV program: <http://www.unidata.ucar.edu/software/idv/>