

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék

# A síturizmus éghajlati feltételeinek megfigyelt és prognosztizált változása Magyarországon

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

**Felföldi Anita**

Meteorológus mesterszak,

Előrejelző szakirány

Témavezető:

**Németh Ákos**

Országos Meteorológiai Szolgálat

Konzulens:

**Dr. Torma Csaba Zsolt**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2019

## Tartalomjegyzék

|  |    |
|--|----|
| 1. Bevezetés .....   | 3  |
| 2. Szakirodalmi áttekintés .....                             | 4  |
| 2.1. A turizmus, az éghajlat és az időjárás kapcsolata ..... | 4  |
| 2.2. Turizmus és éghajlatváltozás .....                      | 5  |
| 2.3. Síturizmus .....  | 7  |
| 2.4. Hóágyúzás .....   | 10 |
| 3. Magyarország síterepei .....                              | 12 |
| 3.1. Dunántúl .....  | 13 |
| 3.2. Észak-Magyarország .....                                | 14 |
| 4. Módszertan .....  | 16 |
| 4.1. CARPATCLIM adatbázis .....                              | 16 |
| 4.2. Felhasznált klímamodellek ismertetése .....             | 17 |
| 4.3. RCP scenáriók .....                                     | 19 |
| 5. Eredmények .....  | 21 |
| 5.1. Mért és modellezett eredmények összehasonlítása .....   | 21 |
| 5.2. Megfigyelt múltbeli változások .....                    | 26 |
| 5.2.1. Hőmérséklet .....                                     | 26 |
| 5.2.2. Hóvastagság .....                                     | 27 |
| 5.2.3. Hóágyúzásra alkalmas napok .....                      | 30 |
| 5.3. Várható változások .....                                | 31 |
| 5.3.1. Hőmérséklet .....                                     | 31 |
| 5.3.2. Hóvastagság .....                                     | 34 |
| 5.3.3. Hóágyúzásra alkalmas napok .....                      | 36 |
| 6. Összefoglalás .....                                       | 40 |
| Köszönetnyilvánítás .....                                    | 42 |
| Irodalomjegyzék .....  | 43 |
| Függelék .....   | 45 |

## 1. Bevezetés

Az éghajlatváltozás napjaink egyik legfontosabb problémája. Az egyre szélsőségesebb időjárás a Földön nemcsak az emberek mindennapi életét befolyásolja, hanem komoly hatással van az idegenforgalomra is (*Tranos and Davoudi, 2014*). Ezen ipari ágazat közül a téli turizmus (síturizmus) az, ami leginkább érzékeny a klímaváltozásra. Dolgozatom célja, hogy a hazai síturizmus éghajlati viszonyaiban bekövetkező változásokat felderítsem és a klímamodellek eredményei alapján következtetéseket vonjak le, hogy mi is vár a magyar síturizmusra. Ebben a témában tudomásom szerint mélyreható kutatást még nem végzett senki, kivételt talán egy korábbi diplomamunka jelent (*Szabó, 2010*), de ott csak egy kisebb részben történt vizsgálat, ami csak a Mátrát érinti.

A dolgozatban 12 hazai síterep viszonyait vizsgálom meg a CARPATCLIM adatbázis (*Szalai et al., 2013*) alapján a múltra vonatkozóan az 1961-1990 és 1981-2010 periódusok összehasonlításával, hogy képet kapjunk az eddig bekövetkezett változásokról. A jövőre vonatkozóan 3 regionális klímamodell és 2 klímaszcenárió eredményei alapján elemzem a 2021-2050 és a 2070-2099 időszakra vonatkozó eredményeket, referencia időszaknak az 1976-2005 periódus lett kiválasztva. A múlt és a jövő esetén vizsgált paraméterek: a szezonális átlaghőmérséklet, a hóvastagság és a hóagyúzásra alkalmas napok száma.

A 2. fejezetben szó esik a turizmus, az éghajlat és az időjárás kapcsolatáról és az éghajlatváltozás turizmusra gyakorolt hatásáról. Bemutatom a síturizmus globális helyzetét, ami azért is fontos, mert ezen információk alapján a saját vizsgálataim után megállapítható, hogy a magyar síturizmusban is ugyanazon változások figyelhetőek-e meg, mint globálisan. A 3. fejezetben bemutatom a hazai síterepeket, majd a következő fejezetben ismertetem a felhasznált adatbázisokat, klímamodelleket és foratókönyveket. Az 5. fejezetben ismertetem az eredményeimet a múltra és a jövőre vonatkozóan, majd a 6. fejezetben összegzek és levonom a következtetéseket.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1. A turizmus, az éghajlat és az időjárás kapcsolata

A turizmus a világ egyik legnagyobb és leggyorsabban fejlődő iparága. 1970 és 1990 között 260%-kal nőtt az ebből származó bevételek mennyisége (*Freitas, 2003*). A turizmus erősen függ az adott térség éghajlati és időjárás viszonyaitól. Az idegenforgalom, az időjárás és éghajlat sokféle módon kapcsolódik egymáshoz. Az időjárás a légkör pillanatnyi állapota adott helyen és időben, az éghajlat pedig az adott hely hosszútávon jellemző időjárás viszonyainak sokasága. Az éghajlat elsősorban a célállomás vonzerejére és turisztikai termékeire, az időjárás pedig az emberek döntéshozatalára és elégedettségére hat (*Rácz, 2006*). Az éghajlat az utazás tervezési szakaszában a legfontosabb, míg az időjárás az utazás során válik fontosabbá. Az időjárás elősegíti a turisztikai tevékenységek létrejöttét és élvezhetőségét, de gátló tényezőként is működhet (*Becken and Wilson, 2013*). Az éghajlat és az időjárás változásai pénzügyi veszteségeket is okozhatnak, hiszen az esős nyarak a tengerparti térségekben vagy a hóban szegény telek a hegyvidékeken negatív hatást gyakorolnak az idegenforgalomra (*Matzarakis, 2006*).

A turisták fő célja az utazással, hogy kikapcsolódjanak. A kikapcsolódás olyan tevékenység, amelyet az ember szabad akaratából, önként végez, saját öröme és elégedettsége céljából. Ennek eredményeképpen a részvétel csak akkor következik be, ha az utazó számára megfelelőek az éghajlati körülmények.

A turisztikai klimatológia az éghajlat és a turizmus kapcsolatával foglalkozó tudományterület. Az éghajlat magába foglalja a napi és szezonális időjárás események hosszú sorát adott helyre vonatkozóan. A turizmus része a rekreáció, amely olyan tevékenység, amelyben az egyén saját öröme céljából vesz részt. Egy adott térség földrajzi fekvése, topográfiája, a tájkép, a növény- és állatvilág, az időjárás és az éghajlat alkotják a rekreáció és a turizmus természetes erőforrásának bázisát. A turisztikai klimatológia fogalma *Hibbs (1966)* szerint egy olyan rekreációs erőforrás, amely helytől és időtől függően lehet kedvező vagy kedvezőtlen. Így az éghajlat és az időjárás a turizmus erőforrásainak tekinthetők, amelyek gazdasági eszközként kezelhetők. Az időjárás és az éghajlat jellemzői nem feltétlenül határozzák meg a turizmust, de pénzügyi szempontból fontos tényező az üzemeltetők és a turisták szempontjából (*Freitas, 2003*).

Az egyénre ható időjárás tényező lehet termális, fizikai vagy esztétikai. A termális

tényező a levegő hőmérséklete, a szél, a napsugárzás és a páratartalom együttese. Ezeknek a tényezőknek a hatása egyénekenként különbözik, hiszen mindenkinek más a tűrőképessége. A fizikai tényezők közül az eső, a viharos szél, a levegőminőség, a hó, a jég és a viharok közvetlenül vagy közvetve befolyásolják a résztvevők elégedettségét, bosszúságot is okozhatnak. Az esztétikai tényezők a napfénytartam, a látástávolság és a nappalok hossza, amelyek elsősorban a célállomás vonzerejét befolyásolják (Freitas, 2003).

## **2.2. Turizmus és éghajlatváltozás**

A turizmus nagymértékben függ az éghajlati erőforrásoktól. Az éghajlatváltozás sokféleképpen befolyásolja a turizmust, minden szegmense egyedi időjárási követelményekkel rendelkezik. Az embereknek szüksége van szélre a vitorlázáshoz, hóra a síeléshez, viszonylag magas hőmérsékletre a napozáshoz és a strandoláshoz stb. Az éghajlatváltozás tehát várhatóan különböző következményekkel hat a turizmus ágazataira. A leginkább éghajlatfüggő és az klímaváltozásra érzékeny turisztikai ágazatok közé tartoznak a könnyű szabadtéri tevékenységek (például túrázás, kerékpározás, strandolás stb.) és a téli sportok (Amelung and Moreno, 2009).

Az éghajlatváltozás három módon befolyásolja az idegenforgalmat:

- fokozatos változások során, mint például a hőmérséklet vagy a tengerszint emelkedése;
- gyakoribb szélsőséges események során, például erős szelek és heves viharok;
- szélesebb környezeti változások során, amelyek megváltoztatják a turizmus erőforrásait, például a korlátozott vízellátottság vagy a változó ökoszisztémák miatt.

Az éghajlatváltozás miatt bekövetkező változások és azoknak a turizmusra gyakorolt hatásait az 1. táblázat mutatja be.

**1. táblázat:** A klímaváltozás miatt bekövetkező változások és azok turizmusra gyakorolt hatásuk (Becken, 2010)

| <i>Hatás</i>                                   | <i>Turizmusra gyakorolt hatás</i>   |
|--|---|
| magasabb hőmérsékletek                         | változó szezonális, hőstressz, hűtési költségek, fertőző betegségek, változások a növény- és állatvilág populációjában              |
| emelkedő tengerfelszín-hőmérséklet             | korallfehéredés, tengeri élővilág esztétikai változásai   |
| tengerszint emelkedés                          | partvidéki erózió, strandterületek csökkenése, vízpartok fenntartásának magasabb védelmi költségei                                  |
| csökkenő csapadék és fokozódó párolgás         | vízhiány, elsivatagodás, fokozódó tűzveszély  |
| csökkenő hótakaró és zsugorodó gleccserek      | hóhiány a téli sport célállomásokon, megnövekedett költségek a hóágyúzás miatt, rövidebb téli szezon, tájkép esztétikájának romlása |
| gyakoribb és intenzívebb viharok               | megnövekedett biztosítási költségek, turisztikai létesítmények kockázata  |
| gyakoribb heves esőzések                       | árvízkarok, turisztikai infrastruktúra károsodása   |
| gyakoribb és nagy területű erdőtüzek           | természeti érdekességek pusztulása, árvíz kockázat növekedése, turisztikai infrastruktúra károsodása                                |
| szárazföldi és tengeri biodiverzitás változása | állat-és növényvilág pusztulása, nagyobb betegségkockázat a trópusi országokban   |

### 2.3. Síturizmus

A síturizmus egy több milliárd dolláros nemzetközi piac, amely évente 300 – 350 millió síelőt mozgat meg világszerte. A síturizmus a leginkább veszélyeztetett iparág az éghajlatváltozás miatt, amelynek következményeként csökken a síelésre alkalmas területek száma, magasabbra tolódik a hóhatár és gyakoribbá válik a hóágyúzás. Az olvadó gleccserek a táj vonzerejét befolyásolják, a melegebb telek miatt rövidülnek a síszezonok, a hóhiány miatt csökken a hóborítottság és a hóvastagság. A permafroszt olvadása miatt bizonyos hegyvidéki területeket kiszolgáltatottak lesznek a földcsuszamlásoknak, a felvonóállomások és egyéb épületek instabillá válhatnak, és jelentős pénzre lesz szükség az újjáépítésükhöz. A túrázás és a hegymászás veszélyesebb lehet a kőomlások miatt. A folyóvízi tevékenységek, mint például a folyami rafting az alpesi folyók alacsonyabb vízszintje miatt lehet kevésbé vonzó (Agrawala, 2007). Mindezen változások kevesebb látogatót és a bevételek csökkenését eredményezhetik, súlyos gazdasági változásokat előidézve az alpesi régiókban (Pütz et al., 2011). Napjainkban bizonyos országokban stabil a síturizmus helyzete (USA, Kanada, Franciaország), más országokban viszont negatív tendencia tapasztalható (Svájc, Japán) (Steiger et al., 2017).

A Pireneusokban a 30 és 100 cm-t meghaladó hóvastagságú napok száma jelentősen csökkent 1960 és 2006 között. Az alacsonyon fekvő területeken 5-70%, illetve 42-100%-os csökkenés tapasztalható, míg a közepes magasságú területeken 4-20%, illetve 20-65%-os a csökkenés mértéke (Gilaberte-Búrdalo et al., 2017). A kanadai Ontario vidékén a 21. század végére olyan szinten lecsökkenhet a síszezon hossza, hogy az tovább már nem lehet életképes. A hóágyúzást magasabb hőmérsékleten kellene elvégezni, ami magasabb költségeket vonna maga után (Scott et al., 2017).. A dél-szlovákiai hegyekben a sípályák folyamatos működtetése ma már nem lehetséges hóágyúzás nélkül (Mikloš et al., 2018). Ennek oka a hóvastagság változékonysága és az emelkedő tendenciát mutató szezonális hőmérsékletek.

Az alpesi régió Európában az éghajlatváltozás által leginkább érintett területek közé tartozik. A század közepére 2-3,5°C-os, míg a század végére 3-5,5°C-os melegedés valószínűsíthető az Alpokban. A hőmérséklet növekedése mellett a téli csapadék mennyisége növekedni fog, viszont a csapadék halmazállapotát tekintve egyre gyakoribb lesz az eső, aminek köszönhetően a hótakaró körülbelül felére fog csökkenni század közepére, a század végére a csökkenés mértéke valószínűleg 80 százaléknál nagyobb lesz. Az 1994-es, 2000-es,

2002-es és 2003-as évek az Alpok elmúlt 500 évének legmelegebbek évei voltak, a tíz legmelegebb év közül kilenc a 21. században fordult elő (Balbi, 2012; Croci-Maspoli et al., 2018). Habár egyre gyakoribbak télen az Alpokban a meleg-száraz napok (gyakoriságuk megduplázódott az elmúlt néhány évtizedben), ennek ellenére még mindig előfordulnak jelentős havazások a térségben, amikor a meleg-száraz napok előfordulásának gyakorisága alacsony (Beniston et al., 2011).

A téli turizmus gazdasági életképessége nagymértékben függ a kedvező hóviszonyoktól és a sítérületek hóbiztosságától. Általánosságban elmondható, hogy a 30 cm-es hómagasság megfelelőnek, 50 cm jónak és a 75 cm kiválónak számít. A legalsó határ, amely mellett még lehet síelni: 15 cm. Létezik egy úgynevezett „100 napos szabály”, ami ugyan nem hivatalos szabály, de kimondja, hogy egy sítérület csak akkor lehet sikeresen működőképes, ha szezononként a hótakaró megfelelő vastagságú legalább 100 napon keresztül. (Agrawala, 2007). Az Alpok északi részén ez a szabály 1050 méter felett, a középső területeken 1200 m felett, a déli részeken 1500 m felett teljesül. A klímaváltozás miatt a hóhatár minden 1°C-os felmelegedés esetén 150 méterrel magasabbra tolódhat el, ami a hóval borított területek csökkenését eredményezi (Agrawala, 2007; Steiger, 2010).

Ausztria, Franciaország, Németország, Olaszország és Svájc 666 alpesi sítérülete közül 609 (91%) hóbiztosnak tekinthető. Az éghajlatváltozás miatt 1°C-os melegedés esetén várhatóan 500 (75%), 2°C-os melegedés esetén 404 (61%), 4°C-os hőmérséklet-emelkedéskor már csak 202 (31%) sítérület lesz hóbiztos (Agrawala, 2007). Az éghajlatváltozásra való érzékenység jelentősen eltér az alpesi országok között. Németország a legérzékenyebb, 1°C-os melegedés a hóbiztos sítérületek számának 60%-os csökkenéséhez vezet a jelenlegi körülményekhez képest. Gyakorlatilag Németország egyik sítérülete sem tekinthető hóbiztosnak 4°C-os melegedés mellett, mert a hegyvidékek többsége alacsony fekvésű (Ender and Matzarakis, 2011). Svájc a legkevésbé érzékeny, 1°C-os melegedés esetén csak 10%-os, 4°C-os melegedés 50%-os csökkenést eredményez a hóbiztos területeken az éghajlatváltozás miatt jelenlegi körülményekhez képest (Agrawala, 2007).

Az Alpok régiójának gazdaságát az éghajlatváltozás sokkal jobban fogja érinteni, mint Európa más részét. Habár Európa északi régiójában is hasonló változások figyelhetők meg a hótakarós napok számát illetően, de a gazdaságra gyakorolt hatásuk nem olyan jelentős, mint az Alpokban, mivel a skandináv régiók gazdasága kevésbé függ úgy a téli



turizmustól, mint az alpesi országoké (*Tranos and Davoudi, 2014*).

Az Alpok turisztikai tevékenysége már évtizedekkel ezelőtt is közel 50 milliárd eurós forgalmat generált és a munkahelyek 10-12%-át biztosította (*Agrawala, 2007*). Ezért is fontos az alkalmazkodás, hogy mérsékelni lehessen az éghajlatváltozás miatt bekövetkező természeti és gazdasági változásokat.

Két csoportba oszthatók az alkalmazkodási stratégiák: technológiai és nem technológiai (*Agrawala, 2007*). A technológiai alkalmazkodás esetén műszaki megoldásokkal igyekeznek fenntartani a megfelelő körülményeket. A nem technológia alkalmazkodás a viselkedés és a hozzáállás megváltoztatását jelenti idegenforgalmi tervezéssel, kockázatelemzéssel és pénzügyi segítséggel. Az egyik technológiai alkalmazkodási lehetőség a tereprendezés, amely magába foglalja a durva felületek kiegyenlítését, a sípályák árnyékossá tételét és a növényzet kiirtását. A sípályák magasabbra és északabbra helyezése is alkalmazható, ilyenkor kevesebb napsütést kapnak a pályák, így az olvadás sem olyan intenzív. A gleccsersíelés is jó megoldás, viszonyt hátrány, hogy 2050-re az Alpok gleccsereinek mintegy 75%-a eltűnhet, és 2100-ig az Alpok majdnem minden gleccsere elolvadhat (*Agrawala, 2007*). Az alpesi gleccserek nagyságuk mintegy 60 százalékot veszítették el az elmúlt évtizedek során (*Croci-Maspoli et al., 2018*). Az egyik legelterjedtebb alkalmazkodási stratégia a hóagyúzás, amely viszont jelentős mennyiségű vizet, energiát és pénzt igényel, ráadásul még ökológiai problémákat is okozhat.

A nem technológiai alkalmazkodás közé tartozik a sípályák nyitvatartási idejének megváltoztatása. A síszezon általában decembertől áprilisig tart, viszont az éghajlatváltozás miatt később kezdődhet a szezon és korábban is lehet vége. További lehetőség is lehet, ha a síelés mellett más lehetőségeket kínálnak a turistáknak. Ilyen lehetőség a hegyi túrázás, hegymászás, szánkózás, egészségturizmus vagy az, hogy a turizmus nem csak a télre koncentrál, hanem nyáron vagy egész évben is lehetőségeket kínál az oda látogatók számára. A jövőben a különböző éghajlati forgatókönyvek melegebb és szárazabb nyarakat jósolnak Európában (*Tranos and Davoudi, 2014*). A mediterrán térség nyáron elviselhetetlenül meleg lehet, míg a hegyekben kellemes hőmérsékletek uralkodhatnak, ezért a nyári hőhullámok idején a hegyvidékek jó célpontok lehetnek.

Az éghajlatváltozás mérséklésére irányuló módszerek nagy valószínűséggel megnövelik az energiaárakat, ami befolyásolja a síközpontok üzemeltetési költségeit és a

látogatók költségeit is. Ezáltal a sítérületek egyre drágábbá és kevésbé vonzóbbá válhatnak a turisták számára. A magasabb működtetési költségek csökkenő nyereséggel járhatnak, ez a síturisztikai központok bezárását eredményezheti. Így a sípályák működtetése nem tartható fent. A hóágyúzás képes lépést tartani az éghajlatváltozással egy bizonyos mértékig, jó sielési feltételeket biztosítva, de a jelentős energia- és vízfogyasztás és a magas költségek miatt gazdasági szempontból nem hatékony a megváltozott körülmények mellett. Nem minden sítérület lesz képes alkalmazkodni a hóágyúzás növekvő költségeihez (*Steiger and Stötter, 2013*).

## 2.4. Hóágyúzás

A mesterséges hó előállítása egyre fontosabbá válik a sípályák előkészítésében. A hóhiány, a kevés csapadék és a magas hőmérsékletek nagy problémát jelentenek a téli sportok számára. A mesterséges hó a legfontosabb lehetőség, hogy a síközpontok alkalmazkodni tudjanak az éghajlatváltozás okozta problémákhoz. Svájcban 10%-ról 36%-ra emelkedett a hóágyúzás gyakorisága 2000-2010-ig, Ausztria egyes területein már 62%-ban hóágyúznak, az olasz Alpokban pedig vannak olyan sípályák, ahol már szinte csak mesterséges havat használnak (*Rixen et al., 2011*). Az Egyesült Államok 1984-ben a síközpontok közel 59%-a már mesterséges havat termelt, 2001-ben pedig már több mint 90%-ban a hóágyúzás dominált (*Rixen et al., 2004*). A hóágyúzás költségei azonban jelentősek, különösen a kis- és közepes méretű állomások esetében. Az alpesi országokban több százmillió eurót fektettek be eddig a hóágyúrendszerekbe.

A legideálisabb körülmények a hóágyúzásra akkor adódnak, amikor a levegő hőmérséklete kisebb vagy egyenlő, mint  $-2^{\circ}\text{C}$  és a relatív nedvesség nagyobb vagy egyenlő 80%-nál (*Gajić-Čapka, 2011*). A mesterséges hó előállítása nagymennyiségű vízfelhasználást igényel.  $1\text{ m}^3$  vízből körülbelül  $2\text{--}2,5\text{ m}^3$  havat lehet előállítani. Ezért 70 és 120 liter vízmennyiség szükséges négyzetméterenként a sielésre alkalmas 20-35 cm-es hótakaró előállításához (*Agrawala, 2007*). A műhókészítés folyamata során hóágyúk segítségével szétporlasztott vizet permeteznek a levegőbe ventilátorral vagy nagy nyomású levegővel. Megfelelő hideg esetén a vízcseppek megfagynak a levegőben és lehullanak a földre. A mesterséges hó sokmindenben különbözik a természetes hótól. A hószemcsék nem csillag, hanem kerek alakúak. Az előállításához felhasznált vizet általában víztározókból,

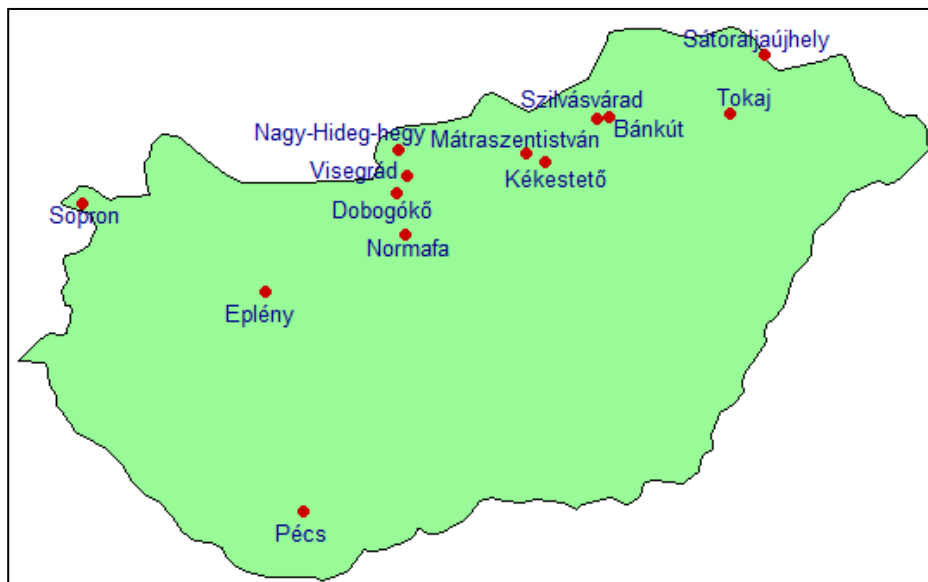
folyókból vagy tavakból nyerik, így a kémiai összetétele különbözik a csapadékvíztól. Gazdagabb ásványi anyagokban és ionokban, amelyek alapvetőek a növények növekedéséhez. Ahol mesterséges havat alkalmaznak, ott a hóolvadás négy héttel később kezdődhet el, mint a természetes hóval borított felszínek esetén. Emiatt a növények megjelenése is későbbre tehető.

A hógyűzés ökológiai szempontból különböző aggodalmakat okozhat, mert megváltozik a hó tömörsége, vastagsága, szigetelőképessége, gázáteresztőképessége, a hóborítottság időtartama és jégrétegek alakulnak ki. A mesterséges hótermeléshez hóadalékanyagokat is hozzáadnak, amelyek fitopatogén baktériumokat tartalmaznak. Ezek az anyagok fokozzák a jégkristályok képződését, így a hóréteg gázáteresztő képessége a sípályákon erősen lecsökken, a talajban élő mikroorganizmusok felhasználják a talaj oxigénjét és szén-dioxidot termelnek. Így oxigénhiány lép fel, amely egyik hatása a növényekre az, hogy megfelelő körülmények alakulnak ki a gombák és kórokozók elterjedésének. Eredményként megváltozhat a növényfajok összetétele és csökkenhet a biodiverzitás. A mesterséges hó különböző sókat is tartalmaz, amit a hó minőségének javítása érdekében alkalmaznak, leginkább síversenyek idején, ha a hó túl hideg, túl ragacsos vagy kemény a jég. A mesterséges hó miatt vastagabb a hóréteg, ezért a növények a mechanikai károk által kevésbé érintettek. (*Rixen et al., 2003*).

### 3. Magyarország síterepei

A Kárpát-medencében fekvő hazánk domborzati adottságai messze elmaradnak a síturizmus célországainak (alpesi országok) adottságaihoz képest, hiszen az országunk nagy részét alföldek képezik, az ország legmagasabb pontja nem haladja meg az 1014 métert. A hazai síterepek elhelyezkedésének átlagos tengerszint feletti magassága 460-620 méter. A legalacsonyabban fekvő pálya Visegrádon, míg a legmagasabban elhelyezkedő a Kékestetőn található.

Magyarország nem tekinthető síelő nemzetnek, bár egyre több és több ember hajlandó részt venni ebben a különleges sportban. A folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően a hazai sípályák száma növekszik, de a magyar síelők inkább a külföldi síközpontokat látogatják elsősorban (Piroska, 2017). Ennek főképp a sípályák különböző hosszúsága és sokoldalú nehézségi szintje az oka. A síelést kedvelő magyar turisták elsődleges választása Ausztria, ezt követi a többi alpesi régióban elhelyezkedő ország. Magyarországon jelenleg 13 sítérép üzemel a téli időszakban. Területi elhelyezkedésüket az 1. ábra mutatja be. A síterepeknek a jellemző karakterisztikáit az 2. táblázat mutatja be.



1. ábra: Magyarország síterepei

**2. táblázat: A hazai síterek jellemző karakterisztikái**

| <i>Síterep</i>   | <i>Magasság (m)</i> | <i>Pályák hossza (km)</i> | <i>Hóágyú</i> |
|------------------|---------------------|---------------------------|---------------|
| Bánkút           | 770-935             | 3,5                       | nincs         |
| Dobogókő         | 510-680             | 2,7                       | nincs         |
| Eplény           | 333-509             | 7,9                       | van           |
| Kékestető        | 770-1015            | 3,1                       | van           |
| Mátraszentistván | 676-821             | 4,3                       | van           |
| Nagy-Hideg-hegy  | 580-850             | 4,2                       | nincs         |
| Pécs             | 370-510             | 1,1                       | nincs         |
| Sátoraljaújhely  | 320-487             | 2                         | van           |
| Sopron           | 360-520             | 20                        | nincs         |
| Szilvásvárad     | 360-390             | 0,3                       | van           |
| Tokaj            | 375-476             | 0,6                       | nincs         |
| Visegrád         | 240-370             | 1,7                       | van           |
| Normafa          | 400-477             | 14                        | nincs         |

### **3.1. Dunántúl**

A Dunántúl és egyben az ország legdélibb pontján lévő síterep Pécsen a Misina-tetőn található. Két sípálya áll rendelkezésre az idelátogatók számára, amely a havas napokon kellemes élménnyel jár a téli sport kedvelőinek. Hóágyú jelenleg nem működik itt, ezért csak havas napokon van nyitva a központ. Az elhelyezkedése miatt viszonylag kevés síelésre alkalmas nap áll rendelkezésre a téli szezonban, de az ott dolgozók folyamatosan dolgoznak azon, hogy bővítsék a lehetőségeket.

A Soproni-hegységben található Vasfüggöny Sífutópálya az ország legnyugatibb elhelyezkedésű terepe, ahol a sípályák hossza 20 km. Elnevezését a területen húzódó egykori határzarról kapta. A pályák használata ingyenes.

Az ország egyik legszebb fekvésű síközpontja a Visegrádi-hegység északi részén lévő visegrádi Nagyivillám Sípálya. A pályán lesiklás közben páratlan kilátás nyílik a Dunapartra

és a Fellegvárra. A kezelt füves pálya már kis hó mennyiség esetén is alkalmas síelésre. Egy vízhűtőtorony biztosítja a hóágyúzáshoz szükséges vízmennyiséget.

A Visegrádi-hegység másik közkedvelt téli célállomása a Budapesthez legközelebb lévő dobogókői sípálya. Ez a sípálya az ország legrégebb óta működő síterepe, 1923-ban alapították. A Dunakanyar legmagasabb pontján elhelyezkedő pályát gyönyörű turistautakon gyalogosan is meg lehet közelíteni.

A Bakony déli részén fekvő eplényi Intersport Síaréna a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően az ország egyik legjobb felszereltséggel rendelkező síközpontja. A közel 8 km-es hosszúságú pályák minden nehézségű szintben rendelkezésre állnak az idelátogató síelők számára. Több, mint 40 hóágyú biztosítja a megfelelő mennyiségű havat, amelynek köszönhetően az eplényi síközpont rendelkezik a leghosszabb üzemeltetési idővel az országban.

A Budai-hegységben fekvő Normafa minden évszakban sok kirándulót vonz a látvány és a vidék szépsége miatt. Télen megfelelő körülmények mellett 14 km-en keresztül biztosít síelési lehetőséget a síelők részére.

### **3.2. Észak-Magyarország**

A Budapesttől 60 km-re a Börzsönyben fekvő Nagy Hideg-hegy rendelkezik az ország legnagyobb szintkülönbségű sípályával. A terep megfelelő körülmények mellett általában csak hétvégén üzemel, kivételes esetben nyit ki hétköznapokon.

A Bükk Nemzeti Parkban található bánkúti sípálya az ország 2. legmagasabban fekvő síterepe, ahol a hónélküli időszakban műanyag sípálya is biztosítja a síelési lehetőségeket. 7 pálya áll rendelkezésre a síelők számára, a szánkózók egy elkülönített pályát használhatnak. Az itt működő síiskola különböző tanfolyamokat kínál a síelni akarók számára.

A Bükkben lévő szilvásváradai sípálya az ország legrövidebb és legenyhébb lejtésű pályája, amely a kezdő sízőknek kínál elsősorban sportolási lehetőséget. A pálya végén található tó vizéből megfelelő minőségű műhavat tudnak előállítani, amikor szükség van rá.

A mátraszentistváni síközpontot a változatos nehézségű pályái mellett a gyönyörű panoráma teszi még élvezetesebbé a síelést. Az elmúlt évek fejlesztéseinek köszönhetően az ország egyik legtöbb szolgáltatást nyújtó síterepévé vált az eplényi síközpont mellett. A pálya tetejére épített víztározó biztosítja a hóágyúzáshoz szükséges vízmennyiséget. A

pályavilágításoknak köszönhetően lehetőség van az esti sízésre is.

A kékestetői sítérp hazánk legmagasabban fekvő síközpontja. Itt található az ország leghosszabb, egybefüggő pályája, ami 1800 méter hosszú. Víztorozó itt nincs, ezért vezetékes vízből gyártják a műhavat, ami idő- és költségigényes.

A Kopasz-hegy északi oldalán fekvő 600 m hosszú, egyenletes lejtésű tokaji sípálya leginkább a kezdők számára biztosít síelési lehetőséget. A pályáról szép kilátás nyílik a Bodrogzugra és az Alföldre.

A szlovák határhoz közel fekvő sátoraljaújhegyi pálya a Magas-hegyen található és az ország leghosszabb műanyag pályájával rendelkezik, amely lehetővé teszi az egész éves síelést. 9 hóágyú képes behavazni a sípályákat, amikor szükség van rá.

## 4. Módszertan

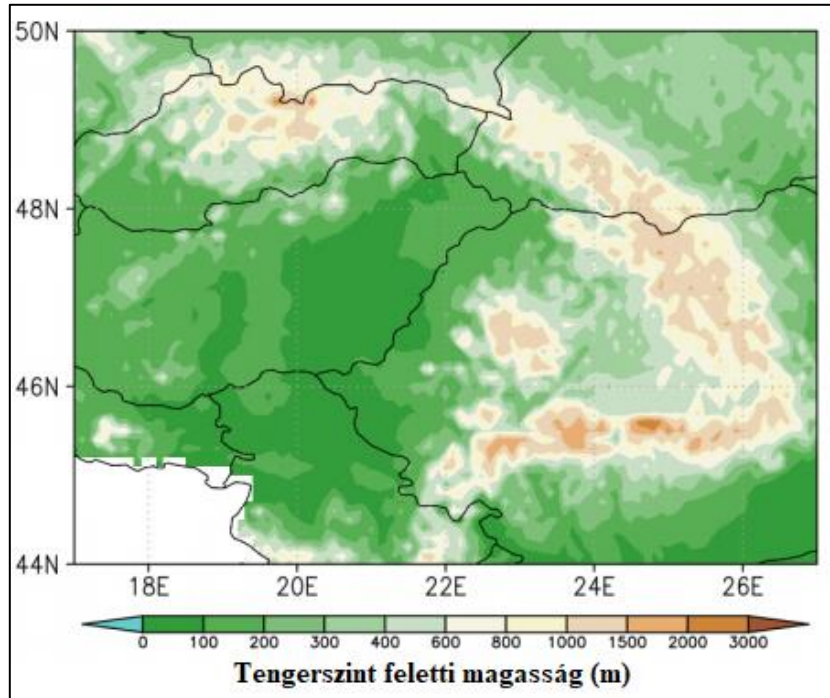
### 4.1. CARPATCLIM adatbázis

Dolgozatomban a magyarországi síterepék megfigyelt múltbeli változásainak vizsgálatára először az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisának adatait (adott síterephez legközelebb eső mérőállomás adatsorait) szerettem volna felhasználni. Megfelelő hosszúságú adatsor (1961-2010-ig) csak három helyre (Sátoraljaújhely, Kékestető, Pécs) vonatkozóan állt rendelkezésre. Ezért úgy gondoltam, hogy a 13 síterep közül 3 vizsgálatára nem adott volna megfelelő áttekintést a magyar síturizmus helyzetéről, ezért került kiválasztásra a CARPATCLIM adatbázis. A CARPATCLIM adatbázisból az adott síterephez legközelebbi rácspont adatsorai kerültek felhasználásra.

A CARPATCLIM az Országos Meteorológiai Szolgálat vezetésében megvalósult egységes adatbázis a Kárpát-medence-régiójának éghajlati vizsgálatára vonatkozóan, amely  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  felbontásban (megközelítőleg  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  rácspontfelbontásban) áll rendelkezésre. Az adatbázis tartalmazza 16 meteorológiai változó napi, havi és éves adatait, valamint 37 éghajlati mutató adatsorait is. A MASH módszerrel homogenizált és MISH módszerrel interpolált adatok 1961-2010-ig állnak rendelkezésre (*Lakatos et al.*, 2013).

A vizsgálataim során felhasználtam a napi adatsorokat az átlaghőmérsékletre, a hóvastagságra, a relatív nedvességre vonatkozóan 1961-2010-ig. Mivel az adatbázis nem fedi le a teljes Magyarországot (2. ábra), emiatt Sopronra vonatkozóan nem állnak rendelkezésre adatok, ezért ennek a síterepnek a vizsgálata kimarad a dolgozattól. Kékestető esetén a legközelebbi rácsponti adatsor, amely a lehető legnagyobb magassági értékkel rendelkezik, megegyezik a mátraszentistváni síterepre vonatkozó rácsponttal, ezért mindkét állomásra ugyanaz a rácsponti adatsor került felhasználásra.





2. ábra: A CARPATCLIM adatbázis által lefedett terület domborzati térképe

## 4.2 Felhasznált klímamodellek ismertetése

Az felhasznált klímamodellek adatsorait az EURO-CORDEX adatbázisból töltöttem le 0,11°-os (megközelítőleg 12 km-es) horizontális felbontásban. Az EURO-CORDEX (Europe within the World Climate Research Program Coordinated Regional Downscaling Experiment) nemzetközi együttműködés keretében megalakult projekt, ami 12 és 50 km-es horizontális felbontáson biztosítja a CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) modellek regionális klímamodellekkel leskalázott eredményeit Európára vonatkozóan. A projekt keretében alkalmazott szimulációk az RCP forgatókönyveket (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) veszik figyelembe és lefedik a század végéig tartó időszakot (*Jacob et al.*, 2014). Az általam felhasznált adatsorok: napi átlaghőmérséklet, relatív nedvesség napi átlaga, napi hómennyiség. A vizsgálatokhoz három modell eredményeit használtam fel, amelyek különböző globális- és regionális modellekkel rendelkeznek (3.táblázat). Azért lett kiválasztva ez a három regionális modell különböző globális modellekkel meghajtva, hogy lefedjem a modellek eltérő tulajdonságaiból eredő bizonytalanságok széles intervallumának minél nagyobb szeletét, illetve elkerüljem, hogy az átlagok kiszámítása során egyes modell

domináljon (azaz nagyobb súllyal kerüljön számításba). Mindhárom esetben az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek eredményeit vettem figyelembe, azaz összesen hat regionális klímamodell szimuláció adatait dolgoztam fel munkám során.

**3. táblázat:** A felhasznált regionális-és globális modellek és az őket futtató intézet

| <i>Intézet</i>                               | <i>Globális modell</i> | <i>Regionális modell</i> |
|--|------------------------|--------------------------|
| Francia Meteorológiai Szolgálat (CNRM)       | CNRM-CM5               | ALADIN                   |
| Dán Meteorológiai Intézet (DMI)              | NorESM1-M              | HIRHAM                   |
| Királyi Holland Meteorológiai Intézet (KMNI) | HadGEM2-ES             | RACMO                    |

Az ALADIN egy korlátos tartományú numerikus időjárás előrejelzési modell, amelyet a Francia Meteorológiai Intézet vezetésével fejlesztették ki egy nemzetközi együttműködés kereteiben. Az ALADIN eredetileg rövidtávú időjárás előrejelzéshez dolgozták ki, de megfelelő módosításokkal klímamodellezésre is alkalmas (*Csima and Horányi, 2008*). Éghajlati modellezésre kifejlesztett változata hibrid koordináta rendszert alkalmaz és 31 vertikális szintet tartalmaz. A modell dinamikája nem-lineáris hidrosztatikus primitív egyenleteken alapul. A modell prognosztikai változói a horizontális szélkomponensek, a hőmérséklet, a specifikus nedvesség és a felszíni légnyomás. Az ALADIN regionális modell fizikai parametizációi nagymértékben megfelelnek az ARPEGE globális modell fizikájának. Az ALADIN modell fontos részei a sugárzási séma (*Morcrette, 1990*), a felhő-csapadék-turbulencia séma (*Ricard and Royer, 1993*) és a konvekciós séma (*Bougeault, 1985*), a felszíni folyamatokat a SURFEX modell számítja.

A HIRHAM regionális modellt a Dán Meteorológiai Intézet futtatja, 19 vertikális szintet tartalmaz, hibrid szigma nyomás-koordináta rendszert alkalmaz (*Bøssing Christensen et al., 2007*). A modelldinamikát a hidrosztatikus HIRLAM korlátos tartományú modell adja. Ez alapján vannak prognosztikai egyenletek a horizontális szélmezőre, a hőmérsékletre, a páratartalomra és a felszíni légnyomásra. A fizikai parametizációk az ECHAM4 globális klímamodellből származnak. Innen vannak parametizációk a sugárzási, felszíni, tengerfelszíni és tengeri jéggel kapcsolatos folyamatokra, illetve a planetáris határrétegre, a

gravitációs hullámokra és a felhőképződésre vonatkozóan.

A holland RACMO modellt, ami az ECMWF modell fizika közelítésén alapszik, az ERA-40 reanalízis adatbázis előállításához is használták. Tartalmaz egy tömeg-fluxus sémát, egy prognosztikai felhő sémát és egy TESSEL-féle felszíni sémát. A modell 31 vertikális szintet tartalmaz, a felbontása függ a felhasználói igénytől és ennek függvényében változik az időlépcső is. Az alkalmazott vertikális koordináta-rendszer a hibrid szigma rendszer. A RACMO a HIRHAM 5.0.6 típusú modelljének szemi-lagrange-i dinamikáján alapszik (*Van Meijgaard et al.*, 2008). Prognosztikai változói a hőmérséklet, a horizontális szélmező, a specifikus nedvesség és a felszíni légnyomás.

### 4.3. RCP scenáriók

Az antropogén üvegházgáz-kibocsátást elsősorban a népesség mérete, a gazdasági tevékenység, az életmód, az energiafelhasználás, a földhasználati minták, a technológia és a klímapolitika határozza meg. A korábbi forgatókönyvcsaládok (például a SRES scenáriók (Special Report on Emission Scenarios: Kibocsátási Forgatókönyvek Tematikus Jelentése)) nem vették figyelembe az éghajlatváltozás mérséklésére szolgáló törekvéseket és a Föld rendszereinek alkalmazkodását a változásokhoz. Ezért az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) 2007-es kezdeményezésére megalkották az új RCP (Representative Concentration Pathways - „representatív koncentrációs nyomvonalak”) forgatókönyveket, amelyek 4 különböző nyomvonalat adnak a 21. századra vonatkozóan, hogyan változik az üvegházgázok kibocsátása és légköri koncentrációja, illetve a légszennyező anyagok kibocsátása és a földhasználat (*Pachauri et al.*, 2015). Az IPCC Ötödik helyzetértékelő jelentésében már ezen 4 forgatókönyv alapján készültek el a jövőbeli tendenciák. Az RCP-k feladata elsősorban az üvegházgázok koncentrációváltozásának időbeli leírása, amelynek hatására alakul ki az adott sugárzási kényszer. A használatban lévő RCP2.6, az RCP4.5, az RCP6.0 és az RCP8.5 scenáriókban a számértékek 2100-ra vonatkozó sugárzási kényszerbeli változást jelölik  $W/m^2$ -ben kifejezve. A sugárzási kényszer megmutatja, hogy egy adott légköri összetevő megemelkedett szintje hogyan módosítja a Föld energiaháztartását az iparosodás előtti időszakhoz képest. Mindegyik forgatókönyv lefedi az 1850-2100-ig tartó időszakot és 2300-ig tartó kiterjesztések is elkészültek. A vizsgálataim során az RCP4.5 és a RCP8.5-ös

scenárióval meghajtott modelleredményeket használtam fel, ezért ezt a két forgatókönyvet kicsit részletesebben mutatom be.

Az RCP8.5 scenárió a legpesszimistább világgépet vázolja fel. Ez a forgatókönyv a legnagyobb mértékű üvegházhatású gázok kibocsátásával számol, ami a legmagasabb sugárzási kényszert eredményezi. A CO<sub>2</sub> koncentrációja átlépheti 2100-ra az 1370 ppm-et és folyamatosan növekszik az érték, a század végére az üvegházgázok koncentrációjának növekedése miatt a sugárzási kényszer eléri a 8,5 W/m<sup>2</sup> -t. A forgatókönyv nem veszi figyelembe az éghajlatváltozás mérséklésére szolgáló törekvéseket, ezért az üvegházgázok kibocsátása és koncentrációja folyamatosan növekszik, de a levegőminőségre vonatkozó szabályozások már fontos szerepet kapnak (*Riahi et al.*, 2011). A Föld lakossága a század végére elérheti a 12 milliárdot, a megnövekedett népességszám növekvő energiaigényt von maga után. Az egy főre jutó jövedelem csak lassan növekszik, a szegény és gazdag országok között kis mértékben csökkennek a jövedelembeli különbségek. A gazdaság lassú fejlődése mellett újra előtérbe kerül a fosszilis energiahordozók használata (ugyanis a nem fosszilis technológiák fejlesztése lassú és drága), ennek eredményeképp tovább növekszik az üvegházhatású gázok kibocsátása és a környezet terhelése. A század közepe után az elsődleges energia a háztartásokban az elektromos áram lesz, amelynek előállítása nukleáris vagy biomassza eredetű lesz. A nagy népességszám miatt jelentősen megnő a földművelésbe bevont területek nagysága és a művelésük is intenzívebb lesz, de ez elsősorban a fejlődő országokban valószínű. A biomassza előtérbe kerülése miatt folytatódnak az erdőirtások, így tovább csökken a Föld erdős területeinek nagysága.

Az RCP4.5 forgatókönyv már figyelembe veszi az éghajlatváltozás mérséklésére szolgáló törekvéseket. A scenárióban stabilizálódik a sugárzási kényszer 2100-ra anélkül, hogy bármikor az évtizedek során meghaladná a 4.5 W/ m<sup>2</sup> értéket (*Thomson et al.*, 2011). A CO<sub>2</sub> koncentrációja 2080-ra eléri a 650 ppm-et és ezen értéknél stabilizálódik is, ugyanúgy, mint a sugárzási kényszer. A Föld népessége 2065-re eléri a 9 milliárdot, de a század végére visszaesik 8.7 milliárdra. Az üvegházhatású gázok kibocsátása mérséklődik a század utolsó évtizedeire a klímapolitikának köszönhetően, mérséklődik a fosszilis energiahordozók használata, előtérbe kerül a megújuló energiahordozók használata és a nukleáris energiatermelés és nő az erdővel borított területek nagysága. Ebben a scenárióban minden olyan szénkibocsátásért, amely a fosszilis üzemanyagok használatából vagy a

földművelésből származik, pénzbírságot vetnének ki, így mérsékelhetővé válna a kibocsátás. A sugárzási kényszer megváltozásáért felelős gázok emissziója a klímapolitikai intézkedéseknek köszönhetően csökkenne vagy állandó maradna a század során.

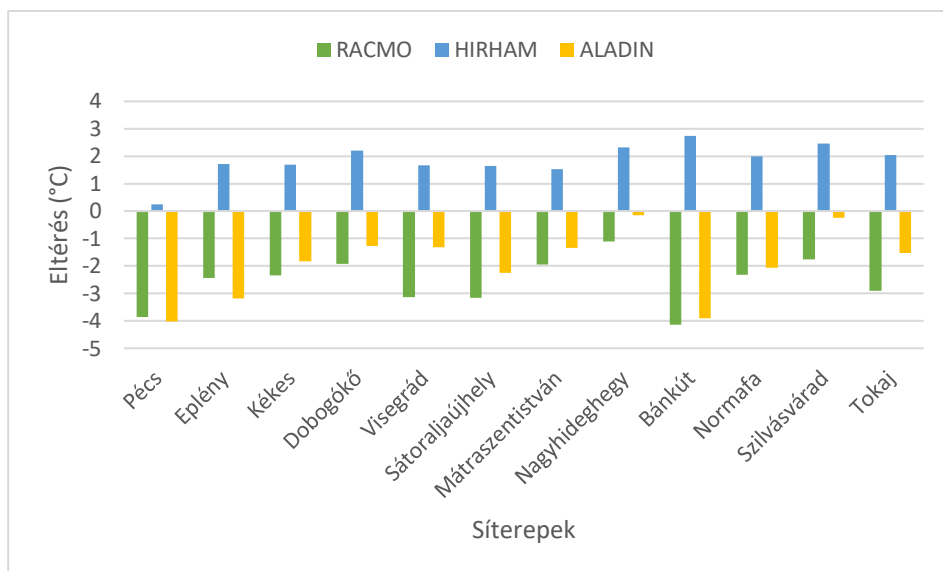
## 5. Eredmények

Minden egyes paraméter vizsgálatakor négy hónap, a decembertől márciusig tartó időszak értékeit vizsgáltam. Ez a négy hónap jelöli azt az időszakot, amikor síelésre alkalmas körülmények adódnak. A magyar sípályák általában decemberben nyitnak ki, a technikai felszereltségtől függően az utolsó síelésre alkalmas napok márciusban vannak. Márciusban már csak azokon a síterepeken van lehetőség síelésre, ahol működik a hóágyúzás és érdemes is üzemelni.

### 5.1. Mért és modellezett eredmények összehasonlítása

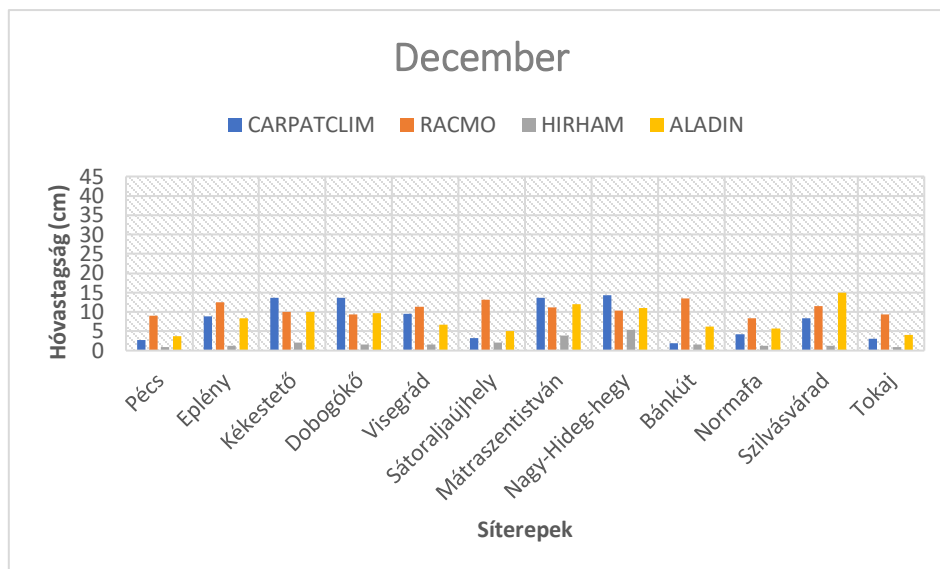
Először elvégeztem a kiválasztott modellek eredményeinek összehasonlítását a mérési adatsorral, referenciaidőszaknak az 1976-2005-ig tartó 30 éves periódus lett kiválasztva. A CARPATCLIM és a 3 regionális modell esetében is a felbontás miatt nem szerepel a domborzat megfelelő pontossággal, ezért a sípályák átlagos tengerszint feletti magasságához viszonyítva elvégeztem a hőmérsékleti korrekciót, felhasználva az átlagos vertikális hőmérsékleti gradiensre vonatkozó  $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  összefüggést. A korrekciót a CARPATCLIM esetén 8, míg a regionális modellek esetén az összes állomásnál szükséges volt elvégezni. A korrekciót csak a szezonális hőmérsékletek összehasonlítása esetében végeztem el.

A 3. ábrán látható a különböző modellek mért értékektől való eltérése a szezonális átlaghőmérsékletet tekintve. Jól látható, hogy a DMI által futtatott HIRHAM mindenhol felülbecsül, legkisebb mértékben Pécsen ( $\sim 0,2^{\circ}\text{C}$ ), legnagyobb mértékben ( $\sim 2,7^{\circ}\text{C}$ ) Bánkút esetén. A KNMI által futtatott RACMO minden állomás esetén alulbecsül, ennek értéke  $-1,1$  és  $-4^{\circ}\text{C}$  között van, legkisebb mértékben Nagy-Hideg-hegyen, míg legnagyobb mértékben Bánkúton van alulbecslés. A CNRM által futtatott ALADIN is alulbecsül, de a legtöbb esetben kisebb mértékben, mint a RACMO. Nagy-Hideg-hegy és Szilvásváradszék esetében az eltérés a korrigált mért és hőmérsékleti értékek között a legkisebb ( $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$ ), míg Pécs és Bánkút esetén a legnagyobb az eltérés ( $\sim 4^{\circ}\text{C}$ ).



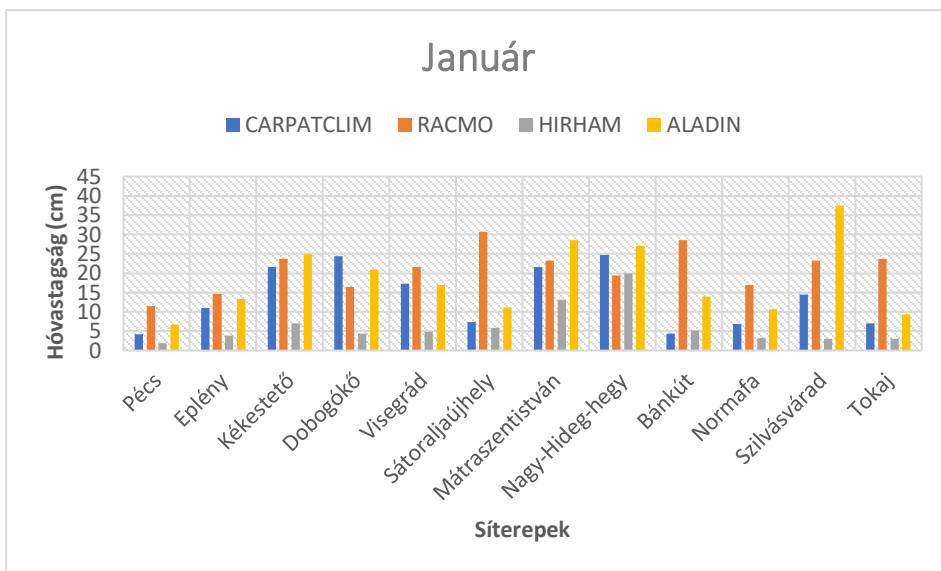
**3. ábra:** A modelleredményekből származó szezonális átlaghőmérsékletek eltérés a mérési adatsorhoz képest, 1976-2005

A 4. ábra mutatja a decemberi hóvastagsági adatokat a mérési adatsorra és a modelleredményekre vonatkozóan. Dobogókő, Mátraszentistván, Kékestető és Nagy-Hideghegy esetén a CARPATCLIM adja a legnagyobb értékeket, itt mindhárom modell alulbecsül. Legnagyobb alulbecslés a HIRHAM esetében adódik, ami összefüggésben áll azzal, hogy a hőmérsékletet a modell felülbecsli minden állomásra vonatkozóan. Így mindegyik hónapban a hóvastagsági átlagértékek nagyon kicsik ezen modell esetében. Országos tekintetben a december havi hóvastagsági értékek 2-16 cm között mozognak a CARPATCLIM, ALADIN és RACMO esetében, a HIRHAM tekintetében csak 1-6 cm közötti az érték. Mátraszentistván esetében a legkisebb az eltérés a mért és modellezett értékek között az ALADIN és a RACMO eredményei alapján.



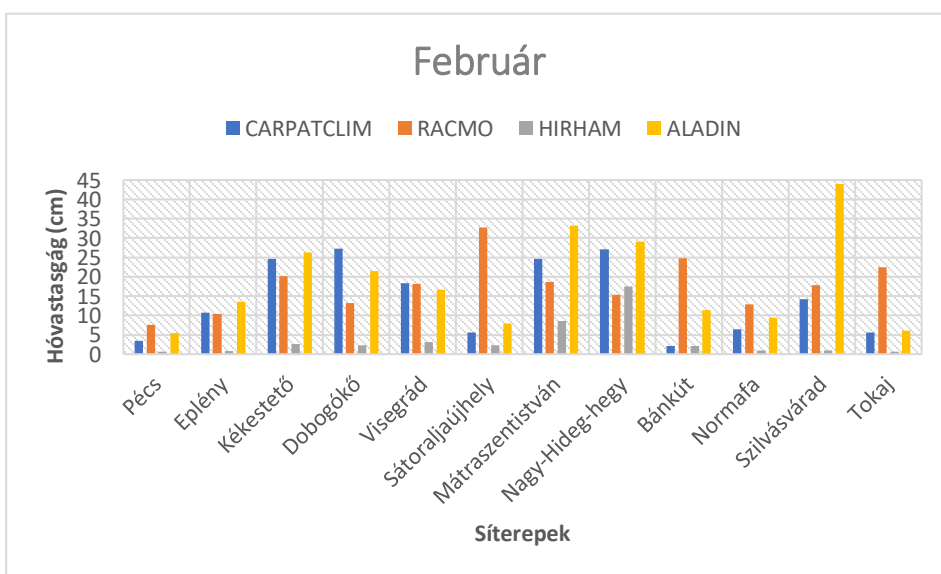
**4. ábra:** December havi hóvastagsági adatok összehasonlítása, 1976-2005

Januári hóvastagsági adatokat tekintve (5. ábra) csak Dobogókő esetén a legnagyobb a mért érték, ezen az állomás esetén az ALADIN és a RACMO 4-8 cm-rel, míg a HIRHAM több, mint 20 cm-rel becsül alul. A többi állomás esetén alul- és felülbecslés is tapasztalható, az ALADIN és RACMO szinte mindenhol felülbecsül, kivételt képez Nagy-Hideg-hegy, ahol a RACMO alulbecsül. A CARPATCLIM értékei országosan 4-25 cm között mozognak, az ALADIN 5-39 cm-et, a RACMO 12-31 cm-et ad, míg a HIRHAM értékek 1-20 cm között alakulnak. Legkisebb eltérés a mért és modellezett értékek között Nagy-Hideg-hegy esetében fordul elő, itt az eltérés -5 és 3 cm között van. Szilvásvár esetében az eltérés már jóval nagyobb mértékű, hiszen az ALADIN 38 cm-et ad, míg a HIRHAM csak 3 cm-et, szemben a mért 15 cm-es értékkel szemben. Legnagyobb egyetértésben a RACMO és az ALADIN Kékestetőn és Eplényben vannak, hiszen itt csak 2-4 cm-rel becsülnek felül a modellek.



**5. ábra:** Január havi hóvastagsági adatok összehasonlítása, 1976-2005

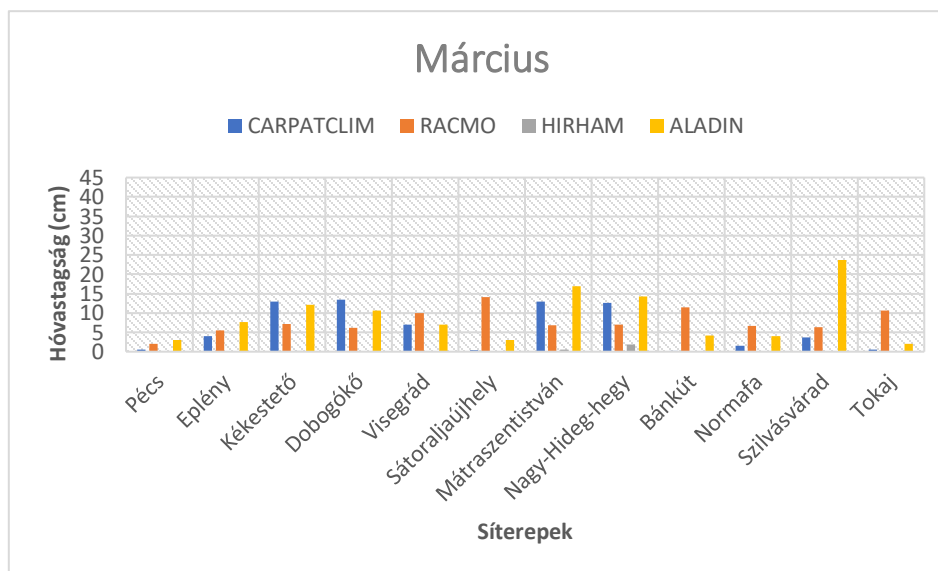
Februárban (6. ábra) Dobogókőn és Visegrádon a legnagyobb a mért érték, amit az összes modell alulbecsül. A HIRHAM továbbra is jelentősen alulbecsül, ennek mértéke Pécsen a legkisebb, ahol a mért havi átlagérték sem haladja meg a 3 cm-et. Ugyanakkor Nagy-Hideg-hegy esetében a HIRHAM meglehetősen nagy, több mint 17 cm-et ad, ami a többi állomás esetében kapott értékhez képes nagy. Szilvásváradon az ALADIN több, mint 3-szor nagyobb értéket ad, mint a CARPATCLIM, míg a HIRHAM 92%-kal kisebb értéket ad. Pécs, Eplény és Visegrád esetében a RACMO és ALADIN is csak 2-3 cm-rel becsül felül.



**6. ábra:** Február havi hóvastagsági adatok összehasonlítása, 1976-2005



Márciusban (7. ábra) a legkisebbek az átlagértékek, hiszen általában az utolsó havazások is ekkor történnek. A CARPATCLIM havi átlagértékei 0-14 cm között, a RACMO és ALADIN értékei 2-24 cm között, míg a HIRHAM értékei 0-2 cm között alakulnak. Kékestető és Dobogókő esetén a CARPATCLIM adja a legnagyobb értéket, amit a többi modell alulbecsül. Legnagyobb szélsőség a mért és modellezett értékek között Sátoraljaújhelyen és Szilvásváradon fordul elő, itt az előbbi helyen a RACMO 14 cm-rel, míg az utóbbi helyen az ALADIN 20 cm-rel becsül felül, ami erre a hónapra vonatkozóan jelentős érték.

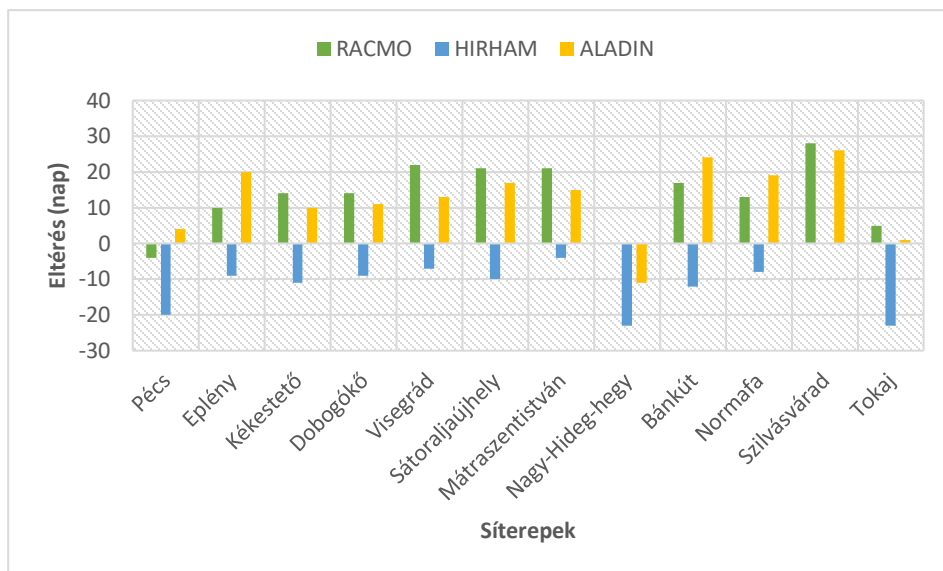


7. ábra: Március havi hóvastagsági adatok összehasonlítása, 1976-2005

A hóvastagságra kapott eredmények alapján elmondható, hogy a HIRHAM minden esetben jelentősen alulbecsül, ami összefüggésben áll a hőmérséklet felülbecslésével. Az ALADIN és a RACMO által kapott eredményekre többnyire a felülbecslés jellemző.

A 8. ábra mutatja be hóagyúzásra alkalmas napok számának eltérését a mérési adatsorhoz képest, ami meglehetősen eltérő eredményt mutat. A CARPATCLIM országosan 9-40 napot, a RACMO 20-42 napot, az ALADIN 28-42 napot, míg a HIRHAM csak 4-16 napot ad átlagos szezonális értéknek, amikor ideális körülmények adódnak a hóagyúzásra. A HIRHAM mindenhol alulbecsül 4-23 nappal, legnagyobb mértékben Nagy-Hideg-hegyen és Tokajon. A RACMO Pécs kivételével mindenhol felülbecsli a hóagyúzásra alkalmas napok számát, viszont a modell által kapott eredmény megegyezik a mérési adatsor alapján kapott eredménnyel Nagy-Hideg-hegy esetén. Az ALADIN Nagy-Hideg-hegy kivételével

mindenhol felülbecsül, legkisebb mértékben Tokajon.



**8. ábra:** A modelleredményekből származó hóagyúzásra alkalmas napok számának eltérés a mérési adatsorhoz képest, 1976-2005

## 5.2. Megfigyelt múltbeli változások

Minden változóra vonatkozóan két 30 éves időszakot vizsgáltam (1961-1990 és 1981-2010). Azért tűnt célszerűnek két időszakra bontani a vizsgálatot, mert így az összehasonlításukkal az 50 év alatt bekövetkező változások felderíthetők.

### 5.2.1. Hőmérséklet

A hőmérsékelt vizsgálatokor kiszámoltam a szezonális átlaghőmérsékletekre az 1961-1990-ig és az 1981-2010-ig tartó 30 éves periódusokra vonatkozóan. Mivel a CARPATCLIM adatbázisbeli magassági értékek sok esetben több száz méterrel eltértek a tényleges magasságbeli értékektől, ezért felhasználva a  $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  vertikális hőmérsékleti gradiensre vonatkozó összefüggést, hőmérsékleti korrekciót végeztem azokon az állomásokon, ahol legalább 100 méteres eltérés volt tapasztalható az átlagos tengerszint feletti magassághoz képest..

Az első 30 éves időszakban az átlaghőmérsékletek  $-3,7^{\circ}\text{C}$  és  $+2,4^{\circ}\text{C}$ , míg a második periódusban  $-3,3^{\circ}\text{C}$  és  $+2,9^{\circ}\text{C}$  között vannak (4.táblázat). A két 30 éves periódus összehasonlításakor jól kivehető a síterepek földrajzi és domborzati viszonyainak eltérő hatása. A vártaknak megfelelően az ország legdélibb részén lévő pécsi síterepen

tapasztalható, hogy a síelésre alkalmas hónapok átlaghőmérséklete a legmagasabb. Ezzel szemben az Északi-Középhegység legmagasabban fekvő kékesi terepén a legalacsonyabb a szezonális hőmérsékletek átlaga. A két 30 éves periódus összehasonlításakor az is megállapítható, hogy átlagosan 0,5°C-os melegedési tendencia történt a hazai síterepre vonatkozóan. A legkisebb 0,26°C-os melegedés a visegrádi, míg a legnagyobb melegedés 0,56°C-kal az eplényi síterepen tapasztalható. A legtöbb síterepen a szezonális átlaghőmérséklet a negatív tartományban van mindkét periódusban (kivéve Pécs és Eplény), viszont Normafán a második periódusban az átlaghőmérséklet a pozitív tartományba került.

**4. táblázat:** *A hazai síterepek szezonális átlaghőmérséklete 1961-1990 és 1981-2010 között a CARPATCLIM adatbázis alapján*

| <b>Síterep</b>   | <b>1961-1990</b> | <b>1981-2010</b> |
|------------------|------------------|------------------|
| Pécs             | 2,33             | 2,85             |
| Eplény           | 0,05             | 0,61             |
| Kékestető        | -3,68            | -3,24            |
| Dobogókő         | -1,87            | -1,42            |
| Visegrád         | -0,35            | -0,09            |
| Sátoraljaújhely  | -1,21            | -0,71            |
| Mátraszentistván | -2,48            | -2,04            |
| Nagy-Hideg-hegy  | -2,51            | -2,06            |
| Bánkút           | -2,21            | -1,80            |
| Normafa          | -0,33            | 0,16             |
| Szilvásvár       | -0,81            | -0,33            |
| Tokaj            | -1,48            | -1,00            |

### 5.2.2. Hóvastagság

A síeléshez elengedhetetlen tényező a hó. Minél vastagabb a hóréteg, annál inkább alkalmasabb síelésre. A 2.3 alfejezetben a síelésre alkalmas hóvastagságokra vonatkozó leírások alapján (30 cm-es hóvastagság megfelelőnek, 50 cm jónak és a 75 cm kiválónak számít, a legelső természetes síelésre alkalmas határ, amikor még lehetséges a síelés, 15 cm) kiszámoltam minden állomás esetén ezeknek a küszöbértékeknek a gyakoriságát, illetve megvizsgáltam azt is, hogy teljesül-e a „100 napos szabály” a hazai síterepeinken. Ahogy a hőmérsékelt esetében, a hóvastagság vizsgálatok is két 30 éves periódust vizsgáltam.

A „100 napos szabály” az alpesi országokban gyakran teljesül, hazánk vizsgálatokor

viszont kiderült, hogy egyetlen síterepen se teljesül. A 30 cm-es és a 15 cm-es hóvastagság gyakoriságának síterek szerinti eloszlását a két 30 éves időszakra vonatkozóan a 5. táblázat mutatja be. Ezek alapján elmondható, hogy Dobogókő, Mátraszentistván, Kékestető és Nagy-Hideg-hegy síterepein átlagosan az 1961-1990-ig tartó időszakban szezononként legalább 40 napon keresztül volt vastagabb a hóréteg 30 cm-nél. Ugyanakkor a hőmérséklet emelkedő tendenciájának köszönhetően az 1981-2010-ig tartó időszakban Dobogókő, Mátraszentistván, Kékestető és Nagy-Hideg-hegy esetén 17, 15 és 20 nappal csökkent a 30 cm-es hóvastagság gyakorisága szezononként. Pécs, Sátoraljaújhely, Bánkút és Tokaj esetén a legrosszabbak a körülmények, szezononként 5 napnál többször nem fordul elő 30 cm-es hóvastagság.

A síelésre alkalmas alsó határ (15 cm) vizsgálatok Dobogókő, Kékestető és Mátraszentistván síterepein bizonyultak a legideálisabbnak a körülmények síelésre, szezononként az 1961-1990-es időszakban 72 nap teljesül a kritérium. Visegrádon és Nagy-Hideg-hegyen legalább a szezon felében teljesül a 15 cm-es hóvastagság. Pécs, Sátoraljaújhely, Bánkút és Tokaj elemzésekor itt is nagyon rossz körülmények adódtak a sízésre, hiszen szezononként átlagosan csak 5-12 napon érte el a hóvastagság az alsó határt. A második 30 éves periódus vizsgálata során jelentősen csökkenés történt: Dobogókőn 32%-kal, Mátraszentistvánon és Kékestetőn 31%-kal, Visegrádon 38%-kal és Pécsen 50%-kal csökkent szezononként a 15 cm-es hóvastagság gyakorisága.

75 cm-nél nagyobb hóvastagság Eplény, Dobogókő, Visegrád, Mátraszentistván, Kékestető és Nagy-Hideg-hegy pályáin fordult elő a vizsgált időszakban. 50 cm-es hóvastagság az előzőleg említett helyek mellett Szilvásváradon, Normafán, Bánkúton, Sátoraljaújhelyen és Tokajon fordul elő.

**5. táblázat:** A hazai síterepek 30, illetve 15 cm-es hóvastagságának átlagos szezonális gyakorisága napokban kifejezve a vizsgált két 30 éves periódusban a CARPATCLIM adatbázis alapján

| <i>Síterep</i>   | <i>1961-1990</i> | <i>1981-2010</i> | <i>1961-1990</i> | <i>1981-2010</i> |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  | <i>30 cm</i>     |                  | <i>15 cm</i>     |                  |
| Pécs             | 4                | 0                | 12               | 6                |
| Eplény           | 13               | 13               | 30               | 27               |
| Kékestető        | 42               | 27               | 72               | 50               |
| Dobogókő         | 44               | 27               | 72               | 49               |
| Visegrád         | 26               | 16               | 55               | 34               |
| Sátoraljaújhely  | 8                | 2                | 16               | 11               |
| Mátrászentistván | 42               | 27               | 72               | 50               |
| Nagy-Hideg-hegy  | 47               | 27               | 68               | 52               |
| Bánkút           | 6                | 3                | 10               | 7                |
| Normafa          | 8                | 4                | 20               | 15               |
| Szilvásvár       | 19               | 10               | 42               | 30               |
| Tokaj            | 2                | 2                | 12               | 10               |

Adott síterepekre vonatkozó havi átlagos hóvastagsági adatokat a két 30 éves időszakra vonatkozóan a 6. táblázat mutatja be. Az adatok elemzésekor elmondható, hogy a legnagyobb hóvastagság januárban és februárban fordul elő. Dobogókőn, Mátrászentistvánon, Kékestetőn és Nagy-Hideg-hegyen (ahol a legnagyobb értékek fordulnak elő) januárban és februárban is meghaladja a 30 centimétert a havi átlagos hóvastagság az 1961-1990-es időszakban, viszont a második 30 éves időszakban ezekre a terepekre vonatkozó havi átlagértékek januárban 10-11 centiméterrel, februárban 12-14 centiméterrel csökkentek. Pécs és Tokaj síterepein egyik időszakban és hónapban se éri el a havi átlagérték a 10 centimétert, Normafán is csak januárban az 1961-1990-es időszakban lépi át a 10 centiméteres határt az érték. Ezeken a vidékeken márciusban gyakorlatilag számottevő hó már nem hullik.

**6. táblázat:** A hazai síterek havi átlagos hóvastagsága cm-ben kifejezve a vizsgált két 30 éves időszakban a CARPATCLIM adatbázis alapján

| <i>Sítere</i>    | <i>December</i>  |                  | <i>Január</i>    |                  | <i>Február</i>   |                  | <i>Március</i>   |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  | <i>1961-1990</i> | <i>1981-2010</i> | <i>1961-1990</i> | <i>1981-2010</i> | <i>1961-1990</i> | <i>1981-2010</i> | <i>1961-1990</i> | <i>1981-2010</i> |
| Pécs             | 3                | 2                | 7                | 4                | 4                | 4                | 1                | 0                |
| Eplény           | 9                | 8                | 14               | 11               | 12               | 13               | 5                | 5                |
| Kékestető        | 17               | 12               | 30               | 19               | 34               | 22               | 21               | 14               |
| Dobogókő         | 17               | 12               | 32               | 22               | 37               | 24               | 22               | 14               |
| Visegrád         | 12               | 8                | 25               | 15               | 26               | 17               | 14               | 8                |
| Sátoraljaújhely  | 10               | 6                | 20               | 13               | 21               | 15               | 7                | 5                |
| Mátraszentistván | 17               | 12               | 30               | 19               | 34               | 22               | 21               | 14               |
| Nagy-Hideg-hegy  | 17               | 13               | 32               | 22               | 36               | 24               | 20               | 13               |
| Bánkút           | 7                | 6                | 16               | 10               | 13               | 11               | 4                | 3                |
| Normafa          | 5                | 4                | 11               | 6                | 8                | 7                | 3                | 2                |
| Szilvásvár       | 10               | 7                | 20               | 12               | 18               | 13               | 7                | 4                |
| Tokaj            | 3                | 3                | 8                | 6                | 6                | 6                | 1                | 1                |

### 5.2.3. Hóágyúzásra alkalmas napok

Ha természetes körülmények nem teszik lehetővé, hogy a sípályákon alkalmas vastagságú hó legyen, akkor jelent megoldást a hóágyúzás. A mesterséges hó előállítása is megkövetel bizonyos természetes körülményeket, amely mellett hatékonyan lehet hóágyúzni. A hóágyúzás nem csak akkor szükséges, amikor nincs hó a pályákon, hanem amikor a meglévő hóréteget kell síelésre alkalmasabbá tenni. A már tapasztalt csökkenő hómennyiség és melegedő tendencia mellett egyre inkább fontosabbá válik a hóágyúzás lehetősége. A szakirodalmi áttekintések során kiválasztottam egy módszert, amellyel ki lehet számítani a hóágyúzásra alkalmas napok számát, amelynek kiszámításához szükség van az relatív nedvességre és a hőmérsékleti értékekre. A kiválasztott módszer szerint ideális körülmény, ha az átlaghőmérséklet kisebb vagy egyenlő  $-2^{\circ}\text{C}$ -nál és a relatív nedvesség nagyobb vagy egyenlő 80%-nál

A 7. táblázatban feltüntetve szerepelnek a kiválasztott módszer által kapott szezonális eredmények a két 30 éves időszakra vonatkozóan. Lényeges csökkenés nem tapasztalható az első 30 éves periódushoz képest az 1981-2010-ig tartó időszakban. Az eredmények alapján országos átlagban egy szezonban 24-26 nap alkalmas hóágyúzásra, legjobb körülmények Dobogókő, Nagy-Hideg-hegy és Tokaj vidékén adódnak, míg Normafa és Mátraszentistván esetében a legkevésbé megfelelőek a körülmények.

7. táblázat: Hóagyúzásra alkalmas napok számának gyakorisága napokban kifejezve a vizsgált két 30 éves időszakban a CARPATCLIM adatbázis alapján

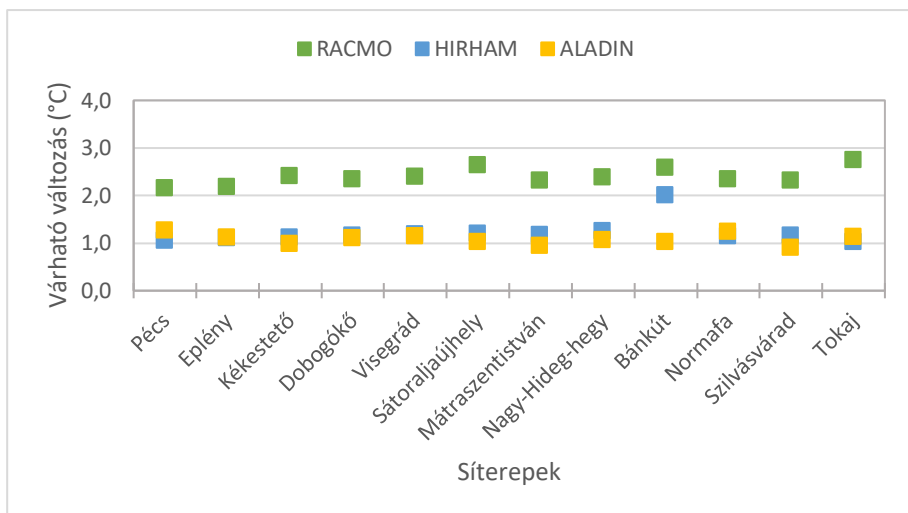
| <i>Sítere</i>    | <i>1961-1990</i> | <i>1981-2010</i> |
|------------------|------------------|------------------|
| Pécs             | 28               | 28               |
| Eplény           | 29               | 26               |
| Kékestető        | 21               | 21               |
| Dobogókő         | 35               | 30               |
| Visegrád         | 19               | 18               |
| Tokaj            | 35               | 31               |
| Sátoraljaújhely  | 23               | 21               |
| Mátraszentistván | 18               | 17               |
| Nagy-Hideg-hegy  | 40               | 39               |
| Bánkút           | 23               | 21               |
| Normafa          | 18               | 18               |
| Szilvásvár       | 23               | 21               |

### 5.3. Várható változások

A vizsgálatok során az 1976-2005 referencia időszakhoz képesti változást mutatom be a 2021-2050, illetve a 2070-2099 időszakra vonatkozóan. A jövőre vonatkozó eredmények esetén a delta módszert alkalmaztam, vagyis a jövőre vonatkozó eredményeket a múltbeli eredményekkel hasonlítottam össze, azaz ugyanazon modell jövőbeli és múltbeli értékeinek különbségét veszem. Mindkét időszakra vonatkozóan bemutatom az RCP4.5, illetve az RCP8.5 forgatókönyv által meghajtott adatsorok eredményeit.

#### 5.3.1. Hőmérséklet

Az RCP4.5 scenárió alapján kapott eredményeket nézve a 2021-2050-ig tartó periódusra vonatkoztatva (9. ábra) a RACMO mutatja a legnagyobb változást a referencia időszakhoz képest, a melegedés mértéke 2,1-2,8°C. Legnagyobb mértékű változás Tokajon várható, míg a legkisebb Eplény és Pécs síterepén valószínű. A HIRHAM esetében a változás mértéke 1-2°C, itt Tokajon a legkisebb a melegedés mértéke, míg a Bánkúton a legnagyobb. Az ALADIN adja a legkisebb melegedést, jelen esetben a változás mértéke 0,9-1,3°C. Az eredmények alapján a melegedés mértéke Kékestető, Mátraszentistván és Szilvásvár terepein a legkisebb, míg Pécsen a legnagyobb.



**9. ábra:** Várható változás a modelleredmények alapján a szezonális átlaghőmérsékletben az RCP4.5 scenárió felhasználásával, 2021-2050 (referencia időszak: 1976-2005)

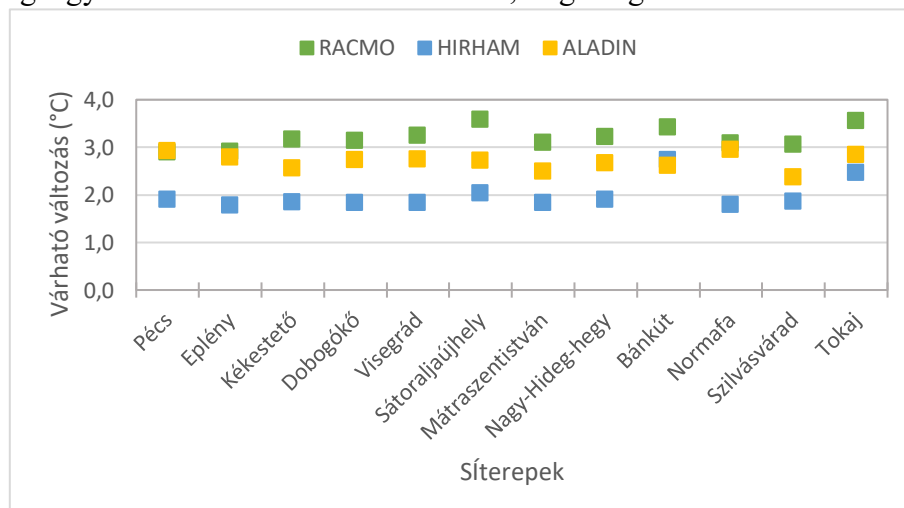
Az RCP8.5 forgatókönyv a 2021-2050-ig tartó időszakra vonatkozóan (10. ábra) nem mutat jelentősebb melegedést a RCP4.5 forgatókönyv esetén kapott eredményekhez képest. Továbbra is a RACMO adja a legmagasabb értékeket, de itt már szélesebb a hőmérsékleti skála, 1,5-2,9°C melegedés várható. Legnagyobb változás Tokaj, míg a legkisebb változás Normafa síterepeire adódott. Az ALADIN és HIRHAM által kapott melegedés mértéke hasonló, kis különbségek mutatkoznak meg, az előbbi modell esetében 1-1,5°C, míg az utóbbi modellnél 1-1,9°C a várható melegedés mértéke. A HIRHAM Bánkút, míg az ALADIN Pécs esetén prognosztizálja a legnagyobb mértékű melegedést.





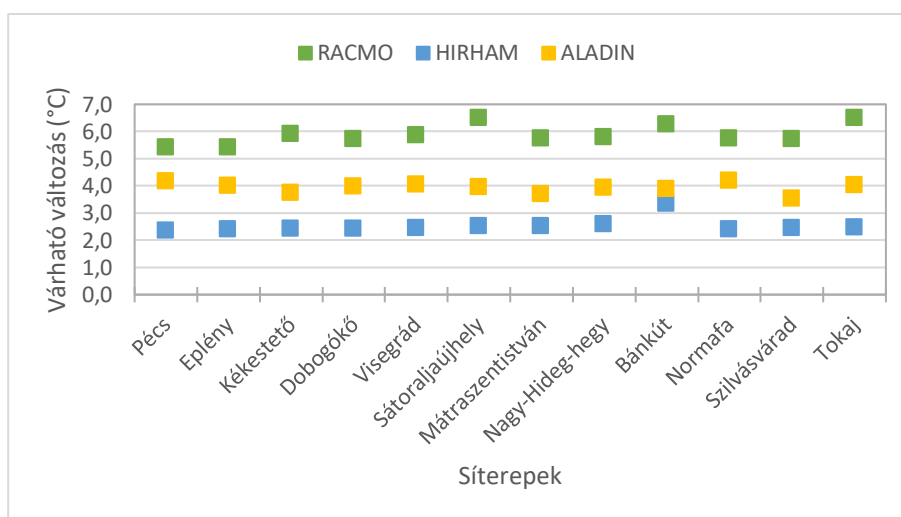
**10. ábra:** Várható változás a modelleredmények alapján a szezonális átlaghőmérsékletben az RCP8.5 scenárió felhasználásával, 2021-2050 (referencia időszak: 1976-2005)

A 2070-2099-es távoli jövőben az RCP4.5 scenárió alapján kapott eredmények (11. ábra) 2,8-3,6°C-kal nagyobb melegedést várnak a RACMO modell eredményei alapján a referencia időszakhoz képest. A RACMO továbbra is Eplény és Pécs esetében adja a legkisebb melegedést, míg Tokaj és Sátoraljaújhely esetében a legnagyobbat. A HIRHAM által becsült melegedés értéke 1,7-2,8°C között mozog, itt is Eplény esetében a legkisebb a melegedés mértéke, míg Bánkút esetében a legnagyobb. Az ALADIN által becsült hőmérsékletváltozás értéktartománya 2,3-3°C között mozog, ezen modell eredményei alapján a legnagyobb mértékű változás Normafán, míg a legkisebb Szilvásváradon várható.



**11. ábra:** Várható változás a modelleredmények alapján a szezonális átlaghőmérsékletben az RCP4.5 scenárió felhasználásával, 2070-2099 (referencia időszak: 1976-2005)

Az RCP8.5 forgatókönyv által meghajtott modellek alapján kapott eredmények a távoli jövőre vonatkozóan (12. ábra) meglehetősen szélsőségesek. Legkisebb értékű változást továbbra is a HIRHAM vár, jelentős különbségek országon belül nem adódnak, mivel a változás értéke 2,3-2,6°C között alakul, kivételt Bánkút jelent, ahol a melegedés mértéke meghaladja a 3,3°C-ot. Az ALADIN 3,5-4,2°C-os melegedést prognosztizál, legkisebb változást Szilvásváradon, legnagyobb változást Pécsen és Normafán. A RACMO a referencia időszakhoz képest jelentős melegedést vár, ennek értéke országosan 5,4-6,5°C. A legkisebb mértékű változás továbbra is Eplény és Pécs esetében valószínűsíthető, míg Tokaj és Sátoraljaújhely esetében a legnagyobb a várható melegedés mértéke.



**12. ábra:** Várható változás a modelleredmények alapján a szezonális átlaghőmérsékletben az RCP8.5 scenárió felhasználásával, 2050-2099 (referencia időszak: 1976-2005)

### 5.3.2. Hóvastagság

A különböző időszakokra vonatkozó és különböző forgatókönyvet követő regionális klímamodell futások havi hóvastagság változására vonatkozó diagramjait a Függelék tartalmazza.

2021-2050-re vonatkozó RCP4.5 forgatókönyv alapján kapott adatok szerint (Függelék 17-20. ábrák), elmondható, hogy legkisebb változásra az ALADIN, legnagyobb változásra december kivételével a HIRHAM számít. Mivel a HIRHAM a hőmérsékletet erősen felülbecsi, ezért adja a legkisebb hóvastagsági adatokat, mert az értékek mind a 4 hónapra vonatkozóan csak 0-7 cm között vannak. Az ALADIN decemberben Sátoraljaújhely

és Tokaj vidékén minimális hógyarapodásra (7-8%) számít. Legnagyobb csökkenés mindhárom modell alapján decemberben és márciusban várható. A RACMO a legnagyobb csökkenést decemberben Bánkúton (61%), az ALADIN Eplényben (45%), a HIRHAM Pécsen (55%) ad. A RACMO a további három hónapban Tokajon várja a legnagyobb csökkenést (58%, 54%, 87%), a legkisebb változást pedig Eplényben (12%, 27%, 48%). A HIRHAM a legkisebb változást januárban Dobogókőn (53%), februárban (53%) és márciusban (30%) Pécsen ad. A HIRHAM által adott legnagyobb csökkenés januárban Szilvásváradon (82%), februárban Visegrádon (88%), márciusban Nagy-Hideg-hegyen valószínűsíthető. Az ALADIN által várt legkisebb csökkenés januárban Tokajon (30%), februárban Szilvásváradon (33%), márciusban Pécsen (31%) valószínű. Legnagyobb csökkenés januárban Visegrádon (44%), februárban Pécsen (51%), márciusban Tokajon (64%) várható. A csökkenés mellett a legnagyobb hóvastagsági értékeket a december, január és február hónapokra a HIRHAM Nagy-Hideg-hegyre adja (3-7 cm), a RACMO Sátoraljaújhelyre (5-20 cm), az ALADIN pedig Szilvásváradra (15-30 cm). Mind a 3 modell a legkisebb havi értékeket a vizsgált hónapokra vonatkozóan Pécsre adja (0-8 cm).

Az RCP8.5 scenárió alapján kapott eredmények már nagyobb értékű csökkenést mutatnak a 2021-2050 időszakra (Függelék 21-24. ábrák). Többnyire az ALADIN adja a legkisebb értékű, míg a HIRHAM a legnagyobb értékű csökkenést, de márciusban a HIRHAM sok esetben nem ad változást, bár ezeken a helyeken csak 0-1 cm-et ad a modell a referencia időszakban is. December és január hónapokban a RACMO és a HIRHAM is Eplényben adja a legnagyobb mértékű csökkenést, előbbi esetben 43%, utóbbiban 86%-os értékűt. Az ALADIN Tokajban minimális (3%) emelkedést prognosztizál, de Sátoraljaújhelyen szinte nem is történik változás a referencia időszakhoz képest. A hóvastagsági értékekre a HIRHAM 0-11 cm, a RACMO 1-17 cm, az ALADIN 0-26 cm-et ad a vizsgált négy hónap esetében. A HIRHAM Nagy-Hideg-hegy, a RACMO Sátoraljaújhely, az ALADIN Tokaj esetében adja a legmagasabb átlagértékeket.

A távoli jövőre vonatkozó RCP4.5 scenárió alapján kapott adatokat tekintve (Függelék 25-28. ábrák) januárban vannak a modellek a legnagyobb egyetértésben, itt a csökkenés mértéke kb. 60-80%. Decemberben, januárban és februárban az ALADIN kisebb mértékű csökkenést vár a többi modellhez képest. Decemberben nagymértékű csökkenést a HIRHAM Pécsen (89%), az ALADIN Eplényben (65%), a RACMO Nagy-Hideg-hegyen

(77%) valószínűsít. Januárban a HIRHAM legnagyobb mértékben Tokajon (89%), a RACMO Sátoraljaújhelyen (76%), az ALADIN Visegrádon (68%) valószínűsít csökkenést. Februárban a HIRHAM és az ALADIN is Pécsen jelzi a legnagyobb csökkenést (86%, illetve 70%), a RACMO 71%-os csökkenést vár Sátoraljaújhelyen. Márciusban a HIRHAM már nem ad havat Normafán. Ebben az időszakban az átlagértékek a négy hónapban 0-4 cm (HIRHAM), 2-12 cm (RACMO), 2-18 cm (ALADIN) körül alakulnak. Legnagyobb hóvastagsági értékeket az ALADIN Szilvásváradra ad januárban (16 cm) és februárban (18 cm), a RACMO által adott legmagasabb értékek (10-11 cm) Sátoraljaújhelyen januárban és februárban fordulnak elő.

A pesszimistább forgatókönyv 2070-2099-re jelentős (Függelék 29-32. ábrák), 80-100%-os csökkenést vár minhárom modell esetén februárban és márciusban az ország síterepeire. A RACMO 85-90%-os csökkenést vár decemberben, januárban 74-84%-ot, februárban 80-88%-ot, márciusban 88-96%-ot. A HIRHAM a többi modellhez képest kicsit optimistább képet ad decemberben (46-84%-os csökkenés), és januárban (51-79%-os csökkenés). Az ALADIN 66-80%-os csökkenést vár decemberben, januárban már nagyobb, 80-87%-os csökkenést prognosztizál. Mindhárom modell esetében a becsült hóvastagsági értékek a négy hónapban csak 0-7 cm körül alakul, ami rendkívül alacsony.

Fontos hozzátenni, hogy bár a HIRHAM is jelentős csökkenést prognosztizál a havi hóvastagságban a másik 2 modellhez hasonlóan százalékban kifejezve, de a modell által adott értékek nagyon kicsik (általában csak néhány cm). Így a bekövetkező változás habár nagy százalékokat mutat, de értékeben a csökkenés a többi modellhez képest nagyon kicsi.

### **5.3.3. Hóagyúzásra alkalmas napok**

Az előzőekben bemutatott eredmények alapján látszik, hogy jelentős változások várhatóak a hőmérséklet és a hóvastagság tekintetében. A romló viszonyok tükrében fontos megvizsgálni azt, hogy a hóagyúzással lehet-e segíteni a síturizmus várható jövőbeli helyzetén.

Az RCP4.5 forgatókönyve alapján kapott eredmények (13.ábra) már megelőlegezik azt, hogy a hóagyúzásra alkalmas napok száma is csökkenni fog. A 2010-2050-es időszakban az ALADIN modell adja a legkisebb csökkenést, 23-36%-os csökkenést prognosztizál országos eloszlásban, ami napokban kifejezve a referenciaidőszakhoz képez 9-11 napos

csökkenést jelent. Kivételt Kékestető képez, ahol csak 3%-os csökkenés várható. A RACMO által prognosztizált csökkenés 35-41%-os, míg a HIRHAM 25-50%-os csökkenést vár. Mindhárom modell Visegrád esetén várja legnagyobb mértékben a csökkenést, Pécsen pedig a legkisebb mértékű változást. Ebben az esetben a HIRHAM 3-10 napot, az ALADIN 18-34 napot, a RACMO 13-26 napot ad ideálisnak a hógyűzésre szezononként.



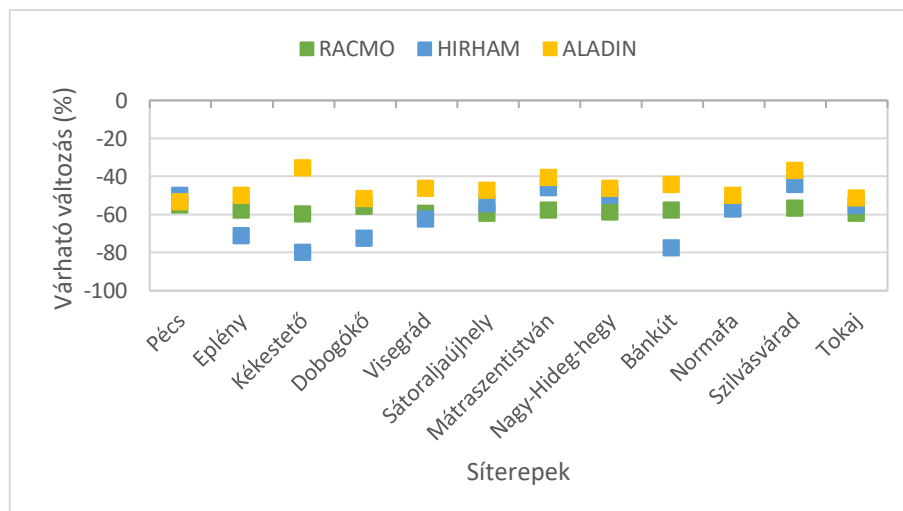
**13. ábra:** Várható változás a modelleredmények alapján a hógyűzésre alkalmas napok számában az RCP4.5 scenárió felhasználásával, 2021-2050 (referencia időszak: 1976-2005)

Az RCP8.5 scenárió által meghajtott modelleredmények által várt változás mértéke (14. ábra) hasonló, mint a RCP4.5 scenárió esetében. Továbbra is az ALADIN modell adja a legkisebb, 22-32%-os csökkenést, míg a másik két modell által várt csökkenés mértéke 27-51% között mozog. Jelen esetben a HIRHAM 2-12 napot, az ALADIN 19-32 napot, a RACMO 12-23 napot ad ideálisnak a hógyűzésre szezononként. A RACMO Tokaj, a HIRHAM Pécs és Kékestető, az ALADIN Visegrád esetében adja a legnagyobb mértékű csökkenést.



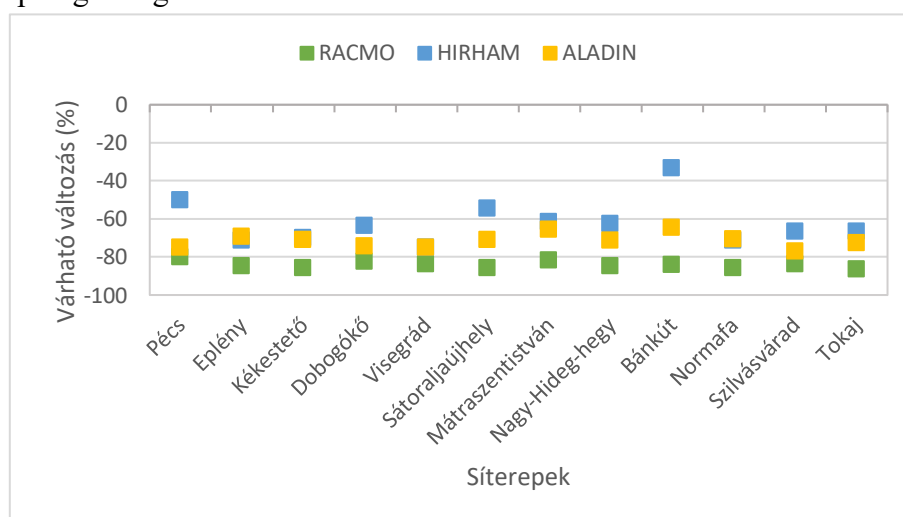
**14. ábra:** Várható változás a modelledmények alapján a hóagyúzásra alkalmas napok számában az RCP8.5 scenárió felhasználásával, 2021-2050 (referencia időszak: 1976-2005)

A 2070-2099-ig tartó időszakban közeljövőhöz képest már markánsabb csökkenést jeleznek a modellek az RCP4.5 forgatókönyv szerint (15. ábra). A RACMO viszonylag egységes, 55-60 %-os csökkenést prognosztizál. Ez azt jelenti, hogy egy szezonban átlagosan 9-17 nap lenne ideális a hóagyúzásra. A HIRHAM által várt változás jelentős eltéréseket mutat a síterepek között. Kékestetőn 80%-kal csökkenhet a hóagyúzásra alkalmas napok száma, míg Szilvásváradon ehhez képest jóval kisebb, 44%-os csökkenés valószínűsíthető. A korábbi eredményekhez képest az ALADIN adja a legkisebb csökkenést, 35%-ot Kékestetőn, 54%-ot Pécsen.



**15. ábra:** Várható változás a modelleredmények alapján a hóagyúzásra alkalmas napok számában az RCP4.5 scenárió felhasználásával, 2070-2099 (referencia időszak:1976-2005)

A pesszimistább forgatókönyv a távoljövőre nézve jelentős változást prognosztizál a referencia időszakhoz képest (16. ábra). A RACMO és az ALADIN viszonylag egységes változást mutat a sítérekre nézve, előbbi modell esetében 80-86%-os, utóbbi esetben 64-77%-os csökkenés várható. Így a RACMO alapján kapott eredmények szerint átlagosan csak 4-7 nap lehet ideális hóagyúzásra szezononként, míg az ALADIN 7-16 napot ad. A HIRHAM 33-75%-os változást prognosztizál, legkisebb mértékű változást Bánkúton, legnagyobb mértékben pedig Visegrádon vár.



**16. ábra:** Várható változás a modelleredmények alapján a hóagyúzásra alkalmas napok számában az RCP8.5 scenárió felhasználásával, 2070-2099 (referencia időszak:1976-2005)

## 6. Összefoglalás

Dolgozatomban a magyar síturizmus éghajlati viszonyait vizsgáltam meg a múltra és a jövőre vonatkozóan. Célom az volt, hogy felderítsem, eddig milyen változások történtek a hazai síterepeken, illetve hogy a jövőben milyen változásokra lehet számítani a különböző klímamodellek eredményei alapján. Ahogy már a szakirodalmi áttekintésben is kiderült, globálisan a síterepeken már megfigyelhető a melegedő tendencia, ami maga után vonja következményként a hómennyiség és hóvastagság csökkenését. A saját eredményeim ismeretében elmondható, ez a változás hazánk síterepein is tapasztalható.

A múltbeli viszonyok vizsgálatát a CARPATCLIM adatbázis segítségével végeztem el az 1961-1990 és az 1981-2010 időszakok értékeinek összehasonlításával. A szezonális átlaghőmérsékletek megmutatják, hogy átlagosan 0,5°C-os melegedés tapasztalható a hazai síterepeken az első periódushoz képest a második 30 éves időszakban. A magasabban fekvő síterepeken (Kékestető, Nagy-Hideg-hegy, Mátrászentistván) továbbra is alacsonyak a szezonális hőmérsékleti átlagértékek, de a melegedés itt is jelen van és ez csak fokozódni fog a jövőben. A havi átlagos hóvastagsági értékek is csökkenő tendenciát mutatnak, ami összhangban áll azzal, hogy a melegedő klíma miatt egyre kevesebbszer hullik hó. A csökkenő tendencia ellenére Kékestető, Mátrászentistván, Dobogókő és Nagy-Hideg-hegy terepein továbbra is magas hóvastagsági átlagértékek adódtak a többi terephez képest. A dolgozat egyik fontos része, hogy a hóágyúzás lehetőségét is megvizsgáljam, hiszen ezzel a technikával lehet jobb körülményeket teremteni a síelésre, illetve meghosszabbítani a síszezont. Jelentős csökkenés nem tapasztalható a hazai terepeken a második periódusban. Országos átlagban egy szezonban, több mint 20 nap ideális a hóágyúzásra, amivel a havas napok után megmaradó havat kellő mértékben lehet bővíteni, így ha már hosszabb ideje nem esett hó, akkor is lehet számottevő hórétet teremteni a síterepeken.

A jövőbeli viszonyok vizsgálatára a Francia Meteorológiai Szolgálat által futtatott ALADIN, a Dán Meteorológiai Intézet által futtatott HIRHAM és a Holland Meteorológiai Intézet által futtatott RACMO regionális modelljeinek adatait használtam fel. Az 1976-2005 referencia időszakhoz képesti tendenciákat vizsgáltam a 2021-2050 és a 2070-2099 jövőbeli időszakokra vonatkozóan. A mért és modellezett értékek vizsgálatánál kiderült, hogy a HIRHAM minden esetben felülbecsli a szezonális átlaghőmérsékleteket, a hóvastagságot és a hóágyúzásra alkalmas napokat pedig alulbecsli. A RACMO és az ALADIN viszonylagos



egyértésben van, a hőmérsékletet alulbecslik, a másik két vizsgált paramétert pedig felülbecslik a legtöbb esetben.

Az eredmények alapján elmondható, hogy a közeljövőben folytatódni fog a felmelegedés, de a távoljövőben a mértéke erősebb lesz mindkét szcenárió (RCP4.5, RCP8.5) alapján. A melegedéssel összhangban a havi hóvastagsági értékek is csökkenni fognak, de drasztikusabban főleg a 2070-2099-es időszakban valószínűsíthető. A hóagyúzásra alkalmas napok száma is erőteljes csökkenő tendenciát mutat, ami csak tovább rontja a hazai síturizmus helyzetét.

Figyelembe véve a melegedést, a hóvastagsági értékek és a hóagyúzásra alkalmas napok számának csökkenését, meglehetősen lerövidülhet a síszezon Magyarországon. Az alacsony magasságokban vagy földrajzi szélességen fekvő területeken (Pécs) olyan szinten lecsökkenhet a síszezon hossza, hogy az már nem lehet gazdaságos. A magasabban fekvő területeken (Kékestető, Mátraszentistván, Nagy-Hideg-hegy) is jelentősen lecsökkenhet a síszezon hossza, de ezeken a helyeken talán még valamilyen szinten lehetséges lenne gazdaságosan működtetni a síközpontokat, de figyelembe kell venni, hogy egyre rosszabb körülmények fognak adódni. Így az eredmények tükrében alternatív megoldásokat kellene keresni a téli turizmus további gazdaságos működtetéséhez.

## **Köszönetnyilvánítás**

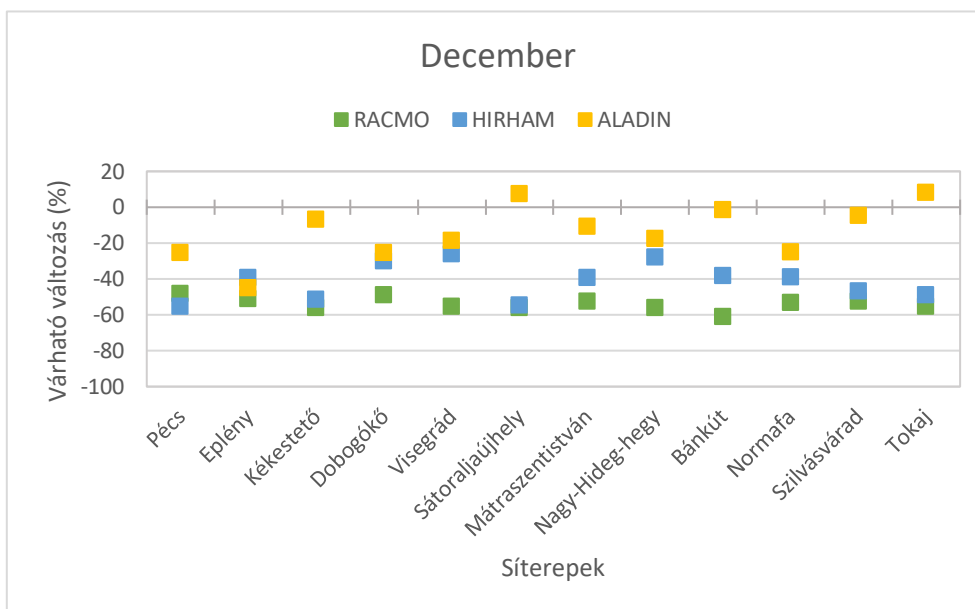
Szeretném megköszönni témavezetőmnek, Németh Ákosnak, hogy felkeltette érdeklődésemet a téma iránt és ellátott hasznos tanácsokkal és segítséggel. Tovább nagyon hálás vagyok konzulensemnek, Torma Csabának a rengeteg segítségért, amit a dolgozatírás folyamata során biztosított, amikor problémákba ütköztem.

## Irodalomjegyzék

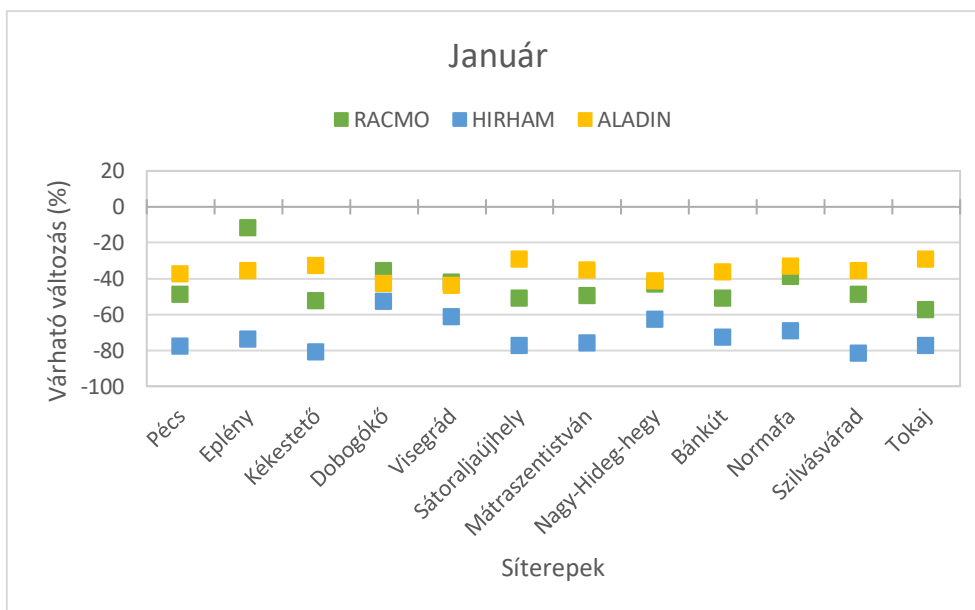
- Agrawala, S., 2007: Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management. *Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management*,.
- Amelung, B., and Moreno, A., 2009: Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA-Tourism study. JRC Scientific and Technical Reports,. doi:10.2791/3418
- 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. SSRN Scholarly PaperNo. ID 2014045. Social Science Research Network, Rochester, NY.
- Becken, S., 2010: The importance of climate and weather for tourism: literature review.
- Becken, S., and Wilson, J., 2013: The impacts of weather on tourist travel. *Tourism Geographies*, 15, 620–639. doi:10.1080/14616688.2012.762541
- Beniston, M., Uhlmann, B., Goyette, S., and Lopez-Moreno, J.I., 2011: Will snow-abundant winters still exist in the Swiss Alps in an enhanced greenhouse climate? *International Journal of Climatology*, 31, 1257–1263. doi:10.1002/joc.2151
- Bøssing Christensen, O., Drews, M., Hesselbjerg Christensen, J., Dethloff, K., Ketelsen, K., Hebestadt, I., and Rinke, A., 2007: The HIRHAM Regional Climate Model. Version 5 (beta). Report. Danish Climate Centre, Danish Meteorological Institute.
- Bougeault, P., 1985: A Simple Parameterization of the Large-Scale Effects of Cumulus Convection. *Monthly Weather Review*, 113, 2108–2121. doi:10.1175/1520-0493(1985)113<2108:ASPOTL>2.0.CO;2
- Croci-Maspoli, M., Schär, C., Fischer, A., Strassmann, K., Scherrer, S., Schwierz, C., Knutti, R., Kotlarski, S., Rajczak, J., Fischer, E., and Bresch, D., 2018: CH2018 - Climate Scenarios for Switzerland - Technical Report.
- Csima, G., and Horányi, A., 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 112.
- Endler, C., and Matzarakis, A., 2011: Climatic potential for tourism in the Black Forest, Germany — winter season. *International Journal of Biometeorology*, 55, 339–351. doi:10.1007/s00484-010-0342-0
- Freitas, C.R. de, 2003: Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*, 48, 45–54. doi:10.1007/s00484-003-0177-z
- Gajić-Čapka, M., 2011: Snow climate baseline conditions and trends in Croatia relevant to winter tourism. *Theoretical and Applied Climatology*, 105, 181–191. doi:10.1007/s00704-010-0385-5
- Gilaberte-Bürdalo, M., López-Moreno, J.I., Morán-Tejeda, E., Jerez, S., Alonso-González, E., López-Martín, F., and Pino-Otín, M.R., 2017: Assessment of ski condition reliability in the Spanish and Andorran Pyrenees for the second half of the 20th century. *Applied Geography*, 79, 127–142. doi:10.1016/j.apgeog.2016.12.013
- Hibbs, J., 1966: Human dimensions of weather modification. Evaluation of weather and climate by socioeconomic sensitivity indices, Sewell WRD, 91–110.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., and Yiou, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 563–578. doi:10.1007/s10113-013-0499-2
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Kovács, T., and Szalai, S., 2013: Investigation of climate extremes in the Carpathian region on harmonized data.
- Matzarakis, A., 2006: Weather- and climate-related information for tourism. *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 3, 99–115. doi:10.1080/14790530600938279
- Mikloš, M., Jančo, M., Korísteková, K., Škvareninová, J., and Škvarenina, J., 2018: The Suitability of Snow and Meteorological Conditions of South-Central Slovakia for Ski Slope Operation at Low Elevation— A Case Study of the Košútka Ski Centre. *Water*, 10, 907. doi:10.3390/w10070907
- Morcrette, J.-J., 1990: Impact of Changes to the Radiation Transfer Parameterizations Plus Cloud Optical Properties in the ECMWF Model. *Monthly Weather Review*, 118, 847–873. doi:10.1175/1520-

- 0493(1990)118<0847:IOCTTR>2.0.CO;2
- Pachauri, R.K., Mayer, L., and Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.), 2015: Climate change 2014: synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 151 p.
- Piroska, B., 2017: CLIMATE CHANGE EFFECTS ON SKI TOURISM. APSTRACT: Applied Studies in Agribusiness and Commerce, 11, 19.
- Pütz, M., Gallati, D., Kytzia, S., Elsasser, H., Lardelli, C., Teich, M., Waltert, F., and Rixen, C., 2011: Winter Tourism, Climate Change, and Snowmaking in the Swiss Alps: Tourists' Attitudes and Regional Economic Impacts. *Mountain Research and Development*, 31, 357–362. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-11-00039.1
- Rácz, T., 2006: Az éghajlati és időjárás tényezők szerepe az utazási magatartás befolyásolásában. *Turizmus Bulletin*, 10, 42–53.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., and Rafaj, P., 2011: RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109, 33. doi:10.1007/s10584-011-0149-y
- Ricard, J.L., and Royer, J.F., 1993: A statistical cloud scheme for use in an AGCM. *Annales Geophysicae*, 11, 1095–1115.
- Rixen, C., Stoeckli, V., and Ammann, W., 2003: Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 5, 219–230. doi:10.1078/1433-8319-00036
- Rixen, C., Haeberli, W., and Stoeckli, V., 2004: Ground Temperatures under Ski Pistes with Artificial and Natural Snow. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36, 419–427. doi:10.1657/1523-0430(2004)036[0419:GTUSPW]2.0.CO;2
- Rixen, C., Teich, M., Lardelli, C., Gallati, D., Pohl, M., Pütz, M., and Bebi, P., 2011: Winter Tourism and Climate Change in the Alps: An Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snowmaking Potential. *Mountain Research and Development*, 31, 229–236. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00112.1
- Scott, D., Steiger, R., Rutt, M., Pons, M., and Johnson, P., 2017: The differential futures of ski tourism in Ontario (Canada) under climate change: the limits of snowmaking adaptation. *Current Issues in Tourism*, 0, 1–16. doi:10.1080/13683500.2017.1401984
- Steiger, R., 2010: The impact of climate change on ski season length and snowmaking requirements in Tyrol, Austria. *Climate Research*, 43, 251–262. doi:10.3354/cr00941
- Steiger, R., and Stötter, J., 2013: Climate Change Impact Assessment of Ski Tourism in Tyrol. *Tourism Geographies*, 15, 577–600. doi:10.1080/14616688.2012.762539
- Steiger, R., Scott, D., Abegg, B., Pons, M., and Aall, C., 2017: A critical review of climate change risk for ski tourism. *Current Issues in Tourism*, 0, 1–37. doi:10.1080/13683500.2017.1410110
- Szabó, D., 2010: Az éghajlatváltozás hatása a hazai turisztikai kínálatra. Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest.
- Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., and Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. <http://www.carpatclim-eu.org>
- Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E., and Edmonds, J.A., 2011: RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change*, 109, 77. doi:10.1007/s10584-011-0151-4
- Tranos, E., and Davoudi, S., 2014: The Regional Impact of Climate Change on Winter Tourism in Europe. *Tourism Planning & Development*, 11, 163–178. doi:10.1080/21568316.2013.864992
- Van Meijgaard, E., Van Ulft, L.H., Berg, W.J., Bosveld, F.C., Hurk, B., Lenderink, G., and Siebesma, A.P., 2008: The KNMI regional atmospheric model RACMO version 2.1. Tech. Rep. 302, KNMI.

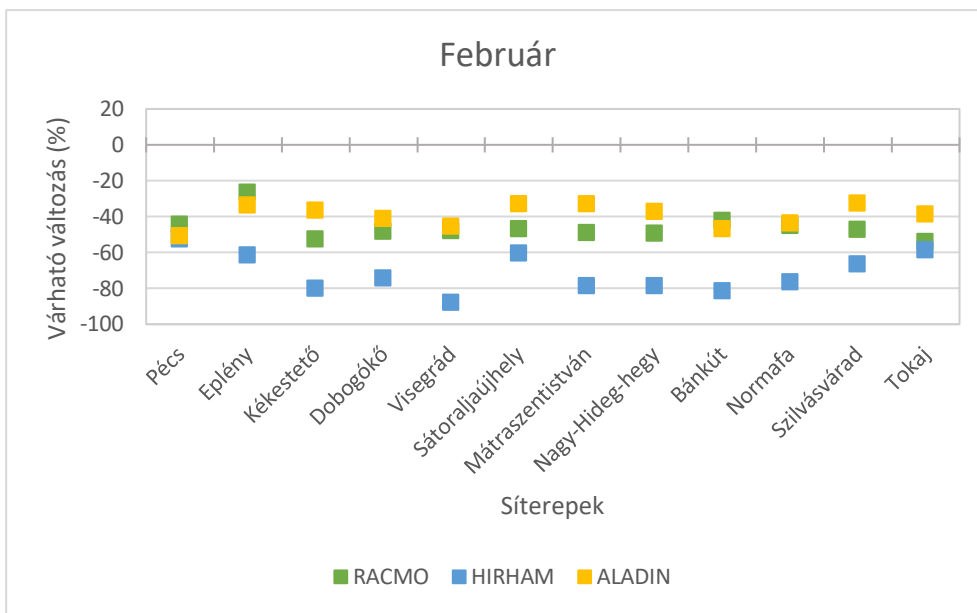
## Függelék



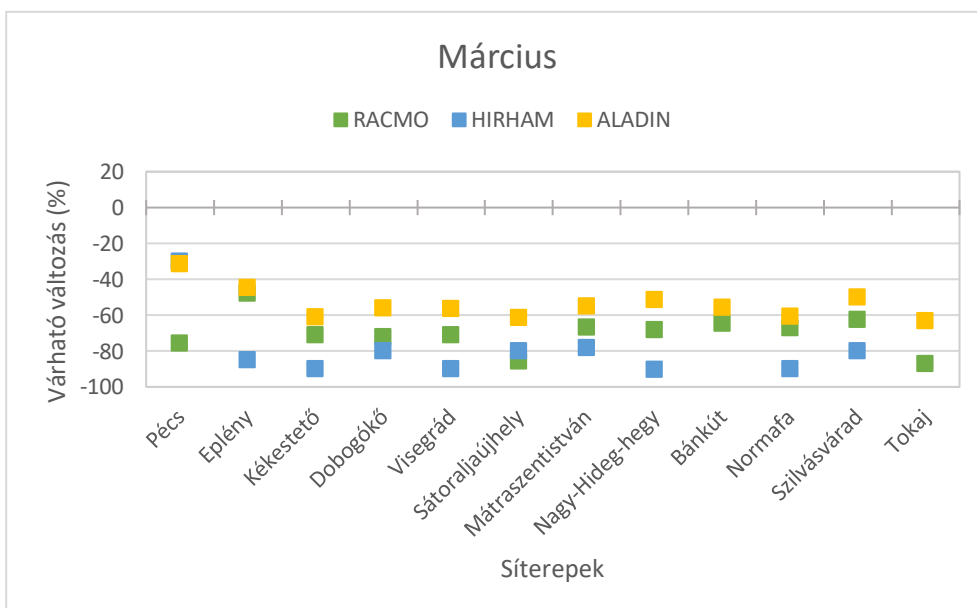
**17. ábra:** Várható változás a december havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



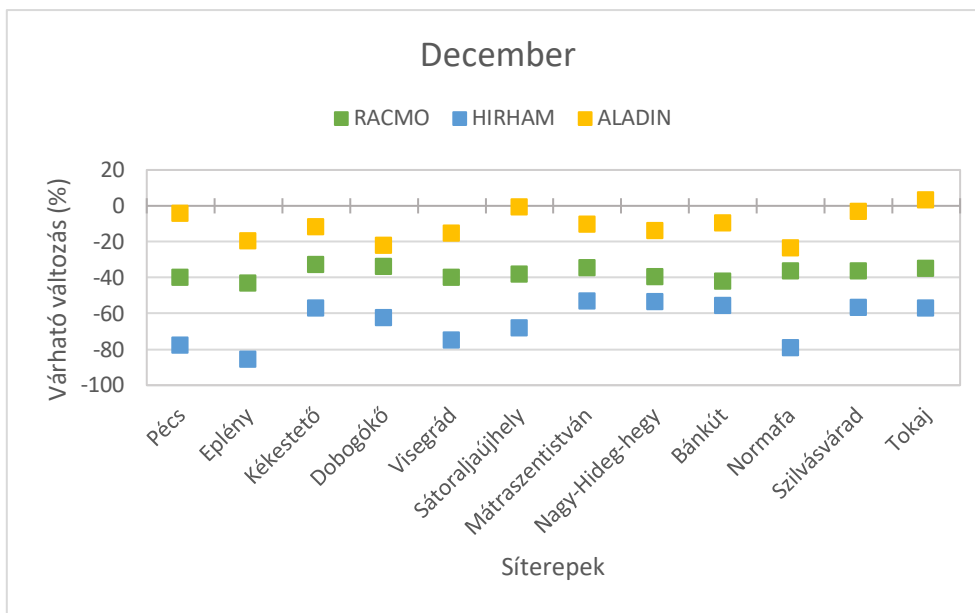
**18. ábra:** Várható változás a január havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



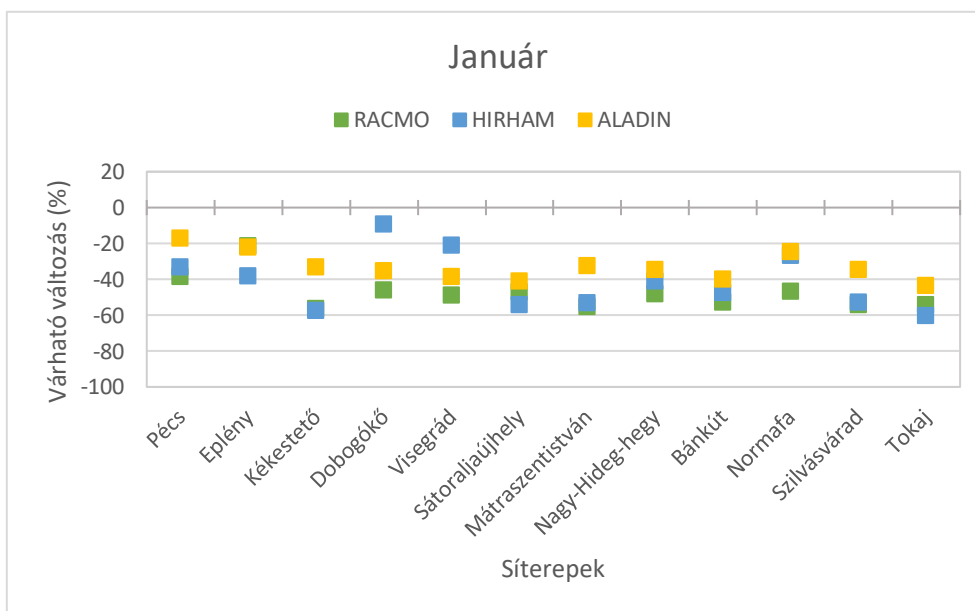
**19. ábra:** Várható változás a február havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



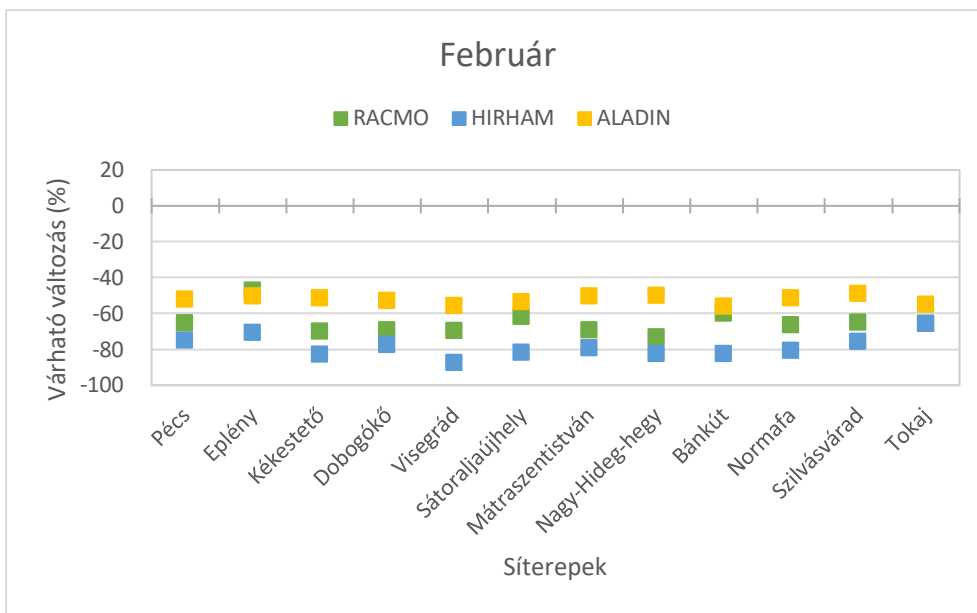
**20. ábra:** Várható változás a március havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



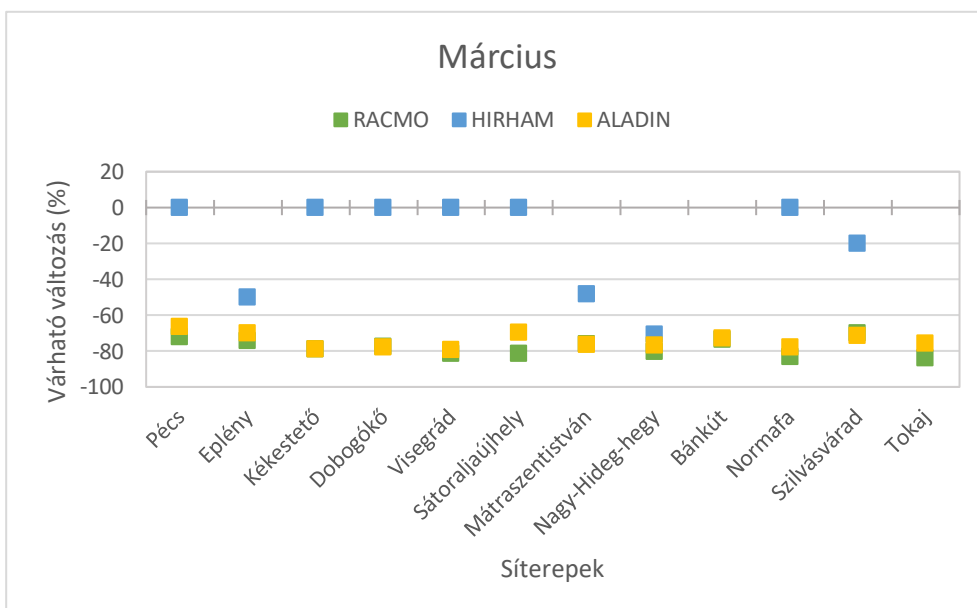
**21. ábra:** Várható változás a december havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint



**22. ábra:** Várható változás a január havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint

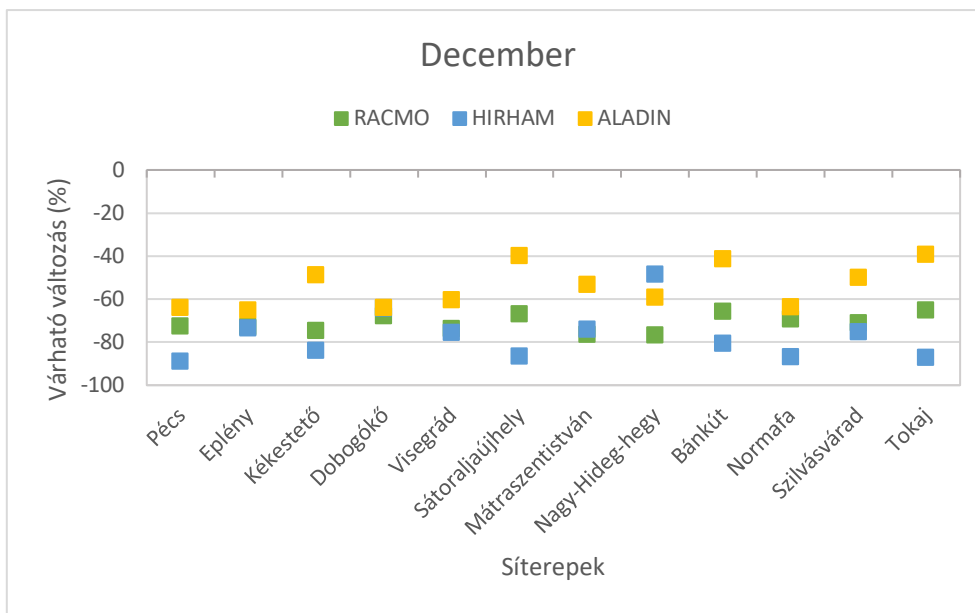


**23. ábra:** Várható változás a február havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint

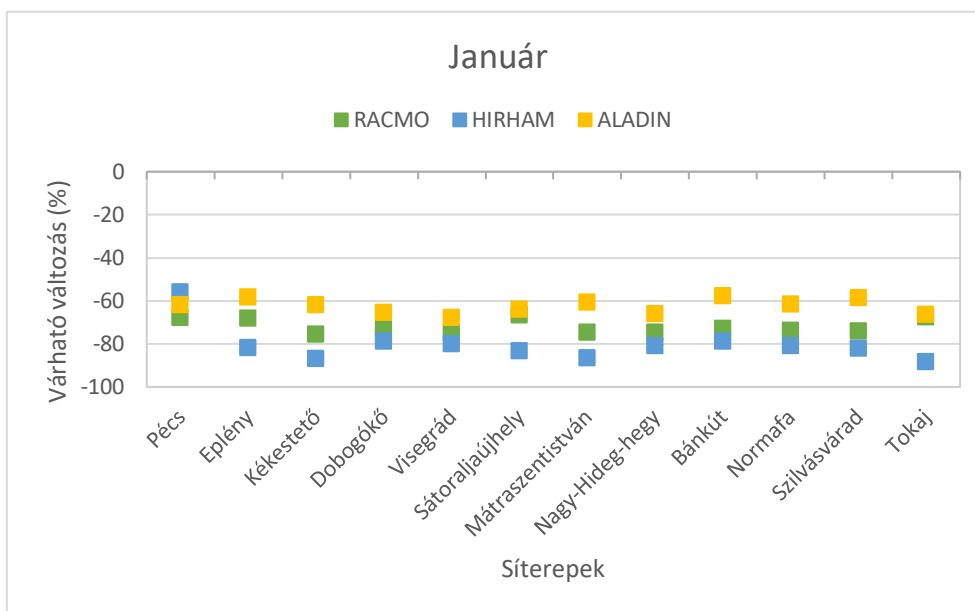


**24. ábra:** Várható változás a március havi hóvastagságban 2021-2050-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint

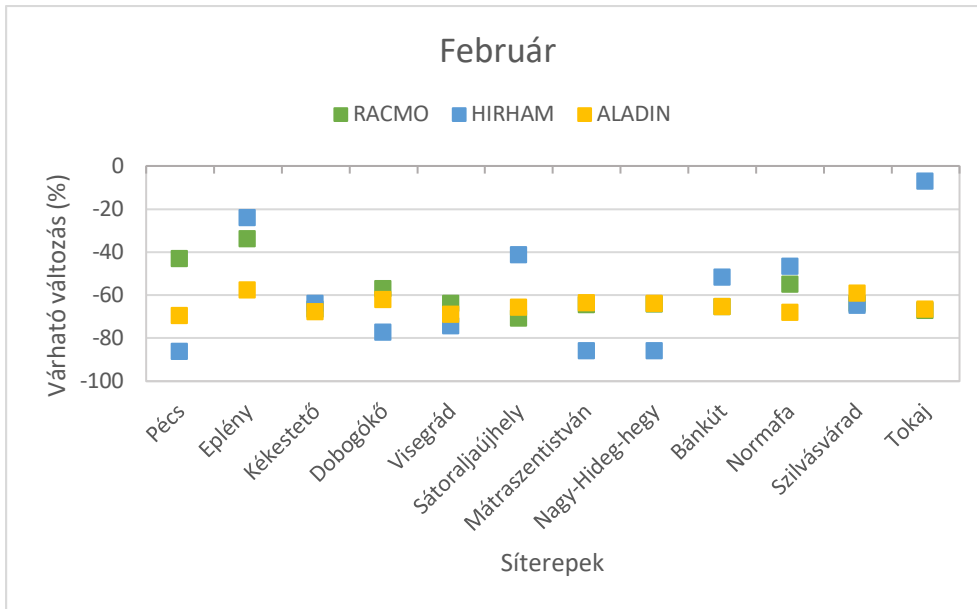




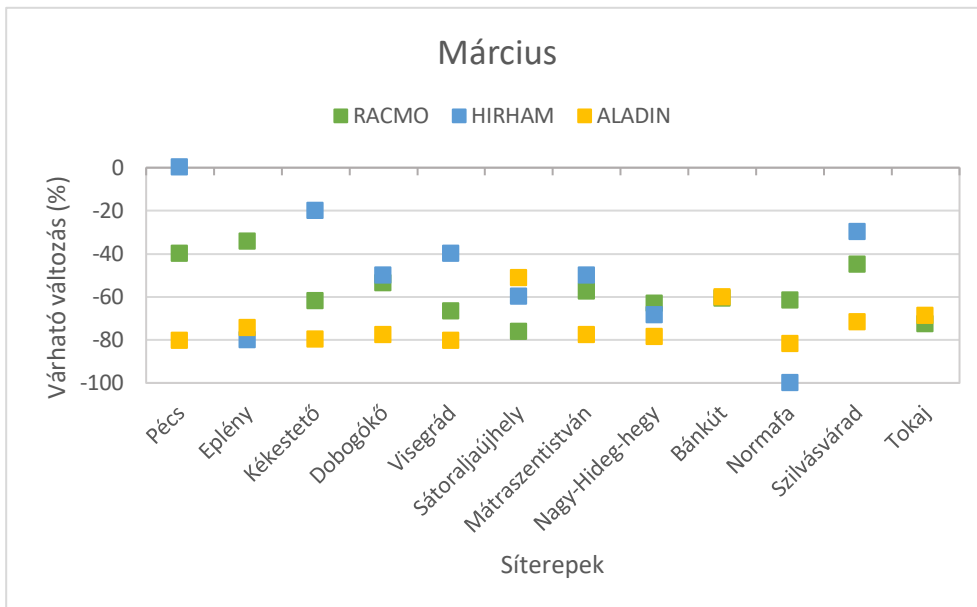
**25. ábra:** Várható változás a december havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



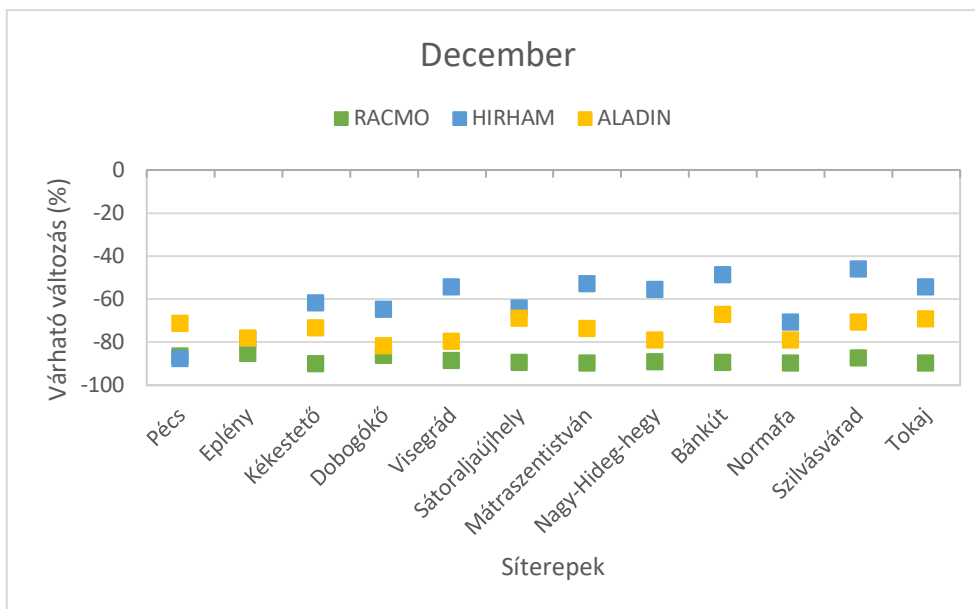
**26. ábra:** Várható változás a január havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



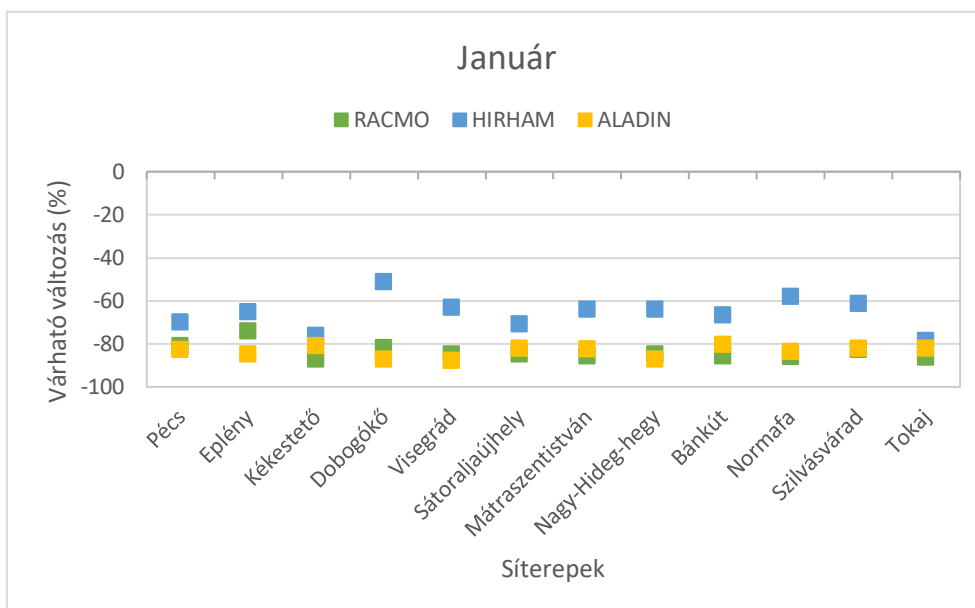
**27. ábra:** Várható változás a február havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



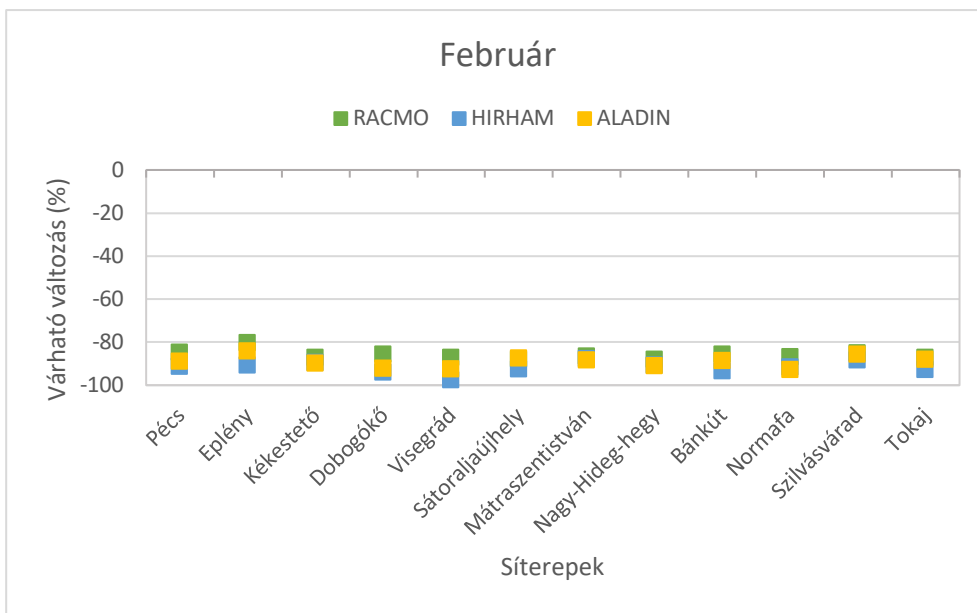
**28. ábra:** Várható változás a március havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP4.5 forgatókönyv szerint



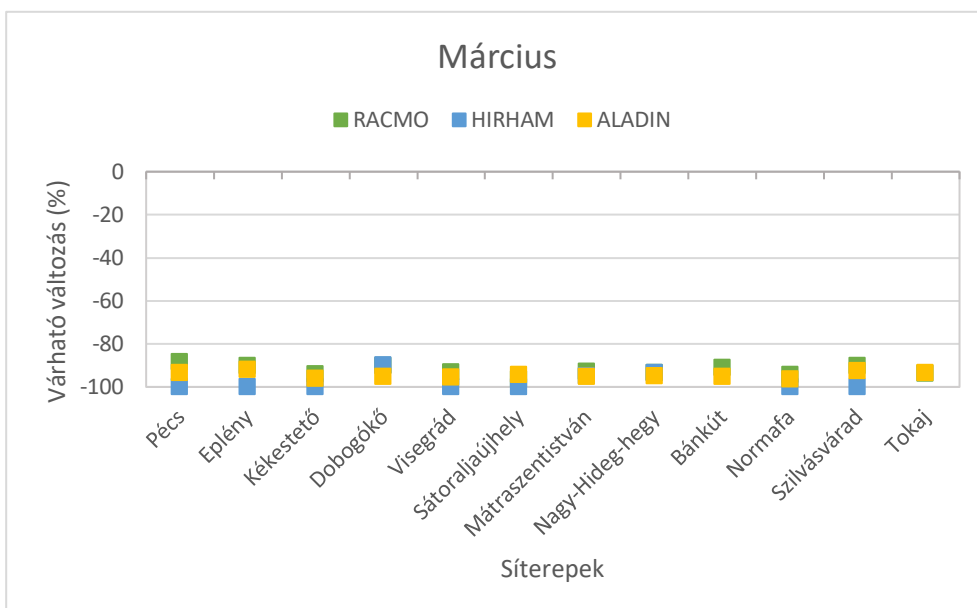
**29. ábra:** Várható változás a december havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint



**30. ábra:** Várható változás a január havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint



**31. ábra:** Várható változás a február havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint



**32. ábra:** Várható változás a március havi hóvastagságban 2070-2099-re az 1976-2005 referencia időszakhoz képest az RCP8.5 forgatókönyv szerint