

*Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék*

**A szőlőtermesztés klimatikus feltételeinek várható változása a
XXI. században Magyarországon**
Tudományos Diákköri Dolgozat

Szerző:

Mesterházy Ildikó
ELTE-TTK Meteorológus MSc II.

Témavezetők:

Dr. Mészáros Róbert és Dr. Pongrácz Rita
ELTE Meteorológiai Tanszék



Budapest
2012. december 7.

Tartalom

Rövidlet.....	3
1. Bevezetés	4
2. Szakirodalmi áttekintés.....	5
3. Anyag és módszer.....	8
3.1. A vizsgált terület.....	8
3.2. A felhasznált regionális klímamodellek.....	8
3.3. A vizsgált indexek	9
4. Eredmények.....	13
5. Összegzés	34
Köszönetnyilvánítás	35
Irodalomjegyzék.....	36
Melléklet	40
I. A dolgozat rövidlete angolul.....	40
II. A diplomamunka tématerve.....	41

Rövidlet

A magyarországi mezőgazdaság kiemelkedő ágazata a szőlőtermesztés. A szőlő életfolyamatait éghajlati, talajtani és biotikus tényezők egyaránt befolyásolják. Munkám során a klimatikus feltételek változásának hatásával foglalkoztam.

Világszerte számos szőlőtermesztési indexet használnak a kutatók. Ezen mérőszámok egy része megadja, hogy egy adott földrajzi területen az éghajlati körülmények alapján lehetséges-e szőlőt termeszteni, illetve mely fajták telepítése javasolt. A szőlőtermesztés lehetőségét a hidrotermikus koefficiens, illetve a Constantinescu-féle bioklimatikus index segítségével adhatjuk meg, míg a fajtaspecifikus eltérések leírására elterjedten használják az ún. Huglin-féle heliotermikus indexet, illetve az effektív és az aktív hőösszeget. A szőlős kert környezeti adottságainak leginkább megfelelő fajta kiválasztásával optimalizálhatjuk a termelést.

Munkám során három regionális klímamodell (RegCM, ALADIN, PRECIS) hibakorrekció után kapott outputjait (minimum, maximum és átlagos napi hőmérséklet, valamint napi csapadékösszeg) felhasználva kiszámítottam Magyarország térségére több, a szőlőtermesztést befolyásoló index térbeli eloszlását, és vizsgáltam azok változásait az 1951-től 2100-ig terjedő időszakokra. Az adatbázis alapján hőmérsékleti és csapadékhullási szélsőértékeket is elemeztem.

Az eredmények azt jelzik, hogy az elkövetkező évtizedekben a hazai fehérborszőlők dominanciája csökkenni fog a vörösbort adókéval szemben. Ezzel egyidejűleg a késői és igen késői érésű fajták beérése is biztosabbá válhat. Fokozott figyelmet érdemes fordítani a jövőben a gombás megbetegedések megelőzésére, mivel várhatóan ezen betegségek kialakulási valószínűsége növekedni fog a XXI. század végére. A nyári extrém magas hőmérsékletek is gyakoribbá válhatnak, így fel kell készülni ezen káros hatások mérséklésére is. Ezzel párhuzamosan feltehetően hosszabbak lesznek a csapadék nélküli időszakok. A téli fagykár azonban várhatóan kevesebbszer fog jelentkezni.

1. Bevezetés

A szőlő állandó kapcsolatban áll környezetével. A növény életét ökológiai tényezők - klimatikus (éghajlati, 45%), edafikus (talajtani, 27%), és biotikus (élő, 27%) adottságok - és a művelésből származó hatások (1%) szabályozzák (Kozma, 1991). Ezen tényezők hatását a szőlőre egy korábbi munkámban részletesen leírtam (Mesterházy, 2011). Jelen dolgozatban kizárólag a klimatikus hatásokkal, és azok térbeli és időbeli változásaival foglalkozom.

Az elmúlt évtizedekben számos mérőszámot alkottak, melyek pusztán meteorológiai változók alapján jellemzik a szőlőskerteket. Egyes indexek megadják, hogy egy adott terület alkalmas-e szőlőtermesztésre, illetve mely fajták termesztése jövedelmező. Vannak olyan számítások is, melyek a betegségek kialakulásának valószínűségét adják meg az egyes években.

Magyarországi körülmények között egy szőlőtőke átlagosan 25–30 évig hoz hasznot, így fontos annak ismerete, hogy milyen éghajlati körülmények várhatók az egyes szőlőtermesztési régiókban.

Dolgozatom első részében röviden áttekintem a szőlőtermesztés és a klímaváltozás kapcsolatával foglalkozó nemzetközi és hazai irodalmat. Ezt követően bemutatok a munkám során felhasznált három regionális klímamodellt, melyek közül egyikkel már egy korábbi munkám során is foglalkoztam (Mesterházy, I., 2012). Jelen dolgozatom újszerűsége abban áll, hogy a munkám során a korábbiaknál több adatbázisra végeztem el a számításaimat, illetve néhány új indexet is bevontam a vizsgálatba. Ezen új eredmények bemutatásával zárom dolgozatom.

2. Szakirodalmi áttekintés

Korábbi munkáimban (*Mesterházy*, 2011, 2012) már foglalkoztam a szőlészet és az éghajlat kapcsolatát feldolgozó irodalmak bemutatásával. A következőkben szeretném kiemelni azokat a megállapításokat és eredményeket, melyek szervesen kapcsolódnak jelen dolgozat témájához.

Szőlőtermesztésre döntően a 9–21 °C évi középhőmérsékletű izotermák között van lehetőség. Ez a terület az északi féltekén a 20. és 50., míg a déli féltekén a 20. és 40. szélességi körök közé esik. A legkiválóbb területek a 10–16 °C izotermák között helyezkednek el (*Oláh*, 1979, *Kozma*, 1991). A szőlő magyarországi termesztetőségét a száraz, meleg nyár, és az azt követő napsütéses ősz, valamint a délies lejtőkből fakadó többletsugárzás teszi lehetővé (*Varga et al.*, 2007).

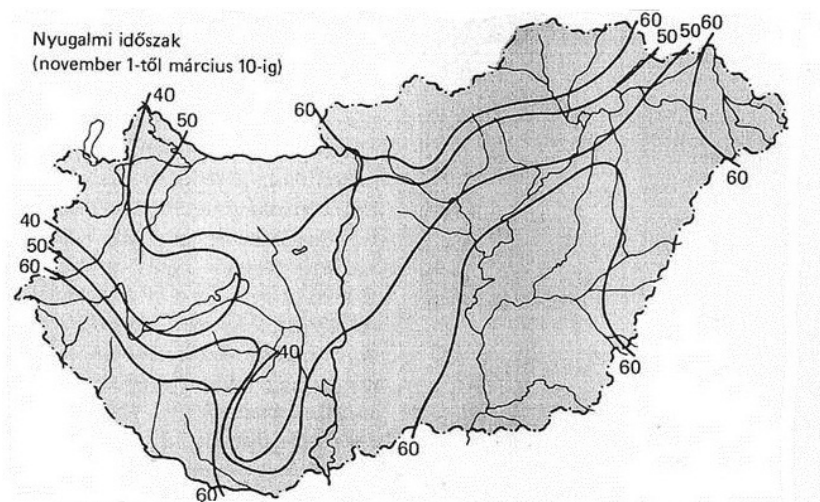
A szőlő élete a mérséklet övezetben éves ciklust követ. Ennek két fő szakasza (vegetációs és nyugalmi időszak) több egymást követő, illetve egymással párhuzamosan zajló fázisokra osztható. Az egyes fenológiai állapotokra eltérő víz- és hőigény jellemző. A szőlő vegetációs periódusa (tavaszi rügyfakadás az érés közti időszak), akkor kezdődik, mikor a napi középhőmérséklet tartósan 10 °C feletti (*Oláh*, 1979; *Kozma*, 1991; *Botos és Hajdú*, 2004; *Kissné Szabó és Marosi*, 2006, *Varga et al.*, 2007).

Az éghajlat a mezőgazdasági termelés erőforrása, ám kockázati tényezője is (*Varga-Haszonits és Varga*, 2004), így ennek a kapcsolatrendszernek a kutatása kiemelkedő jelentőségű a hazai és nemzetközi tudományos életben egyaránt. A növények életébe legmeghatározóbb meteorológiai jellemző a hő- és vízellátottság. Ezek pontos mérése nehéz, így a legtöbb esetben ezeket a hőmérséklet- és csapadékviszonyokkal közelítik.

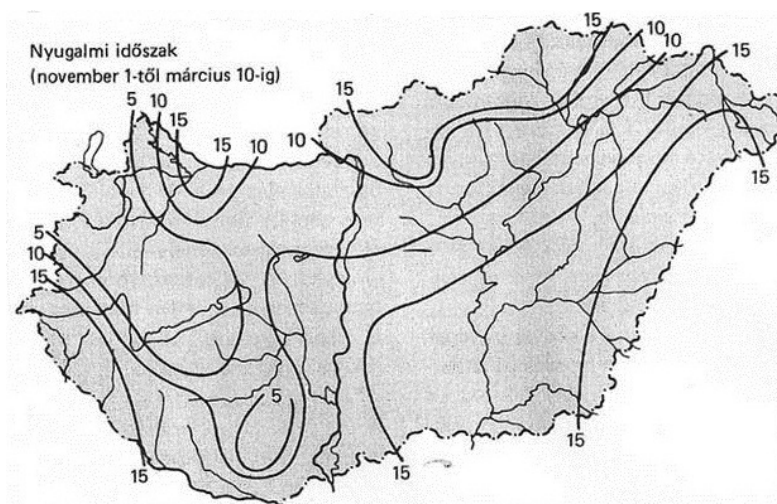
A szőlőskertek fény- és hőviszonyainak jellemzésére elterjedten használják a Branas-féle indexet, ám ez Magyarországra kis területi kiterjedése miatt nem alkalmazható. *Dunkel et al.* (1981) ebből kiindulva kidolgozták a radiotermikus indexet, mellyel már kisebb területeket is tudtak jellemezni. Munkájuk során rájöttek arra, hogy a lejtőkitettségnek hazánk területén elsősorban a tenyészidőszak elején és végén, valamint télen érvényesül legerőteljesebben a pozitív hatása, vagyis akkor, mikor a mi éghajlatunkon a sugárzási és hőmérsékleti tényezők kevésbé hatnak.

Az expozíció miatt téli többletsugárzás mellett is gyakran előfordulnak téli fagykárak (1–2. ábra). A kárak a fagy erősségén túl, a kritikus hőmérséklet (–17 °C és –21 °C) fellépésének gyakoriságától és időtartamától, a lehűlést megelőző felmelegedési időszak hosszától és az ekkori maximumoktól, illetve az egyes fajták fagyűrő képességétől. –17 °C alatti

hőmérséklete esetén a kevésbé fagyűrő fajták, míg $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti értékeknél már minden fajta fagykárt szenved. A korai fagyok esetén súlyosabb a kár, mert ekkor (a mélynyugalmi szakaszban) a növényi sejtek keményítővel teltek, melyek fagyáspontja magasabb, mint a kényszernyugalmi időszakban cukorral telt sejteké (Dunkel és Kozma, 1981, Varga-Haszonits *et al.*, 2006). Csapó (1984, 1988) a fagykárok becslésére alkotta meg az F-, majd később az F_m -indexet, mely pusztán hőmérsékleti adatokból becsli a kár mértékét.



1. ábra: A $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok számának területi eloszlása 1950–1979 között (Dunkel és Kozma, 1981)



2. ábra: A $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok számának területi eloszlása 1950–1979 között (Dunkel és Kozma, 1981)

Az elmúlt évtizedekben rengeteg olyan indexet hoztak létre, melyek leírják, hogy az adott területen lehetséges-e szőlőt termeszteni, illetve mely fajták termesztése javasolt. A legelterjedtebben használt ilyen típusú mérőszám a Huglin-féle heliotermikus index és az aktív hőösszeg, ám gyakran alkalmazzák a „cool night”, a „dryness” és a „biologically effective day degrees” indexet is (Tonietto and Carbonneau, 2004, Keller, 2010). Az eddig

említett mérőszámok kizárólag sugárzási és hőmérsékleti viszonyokat vettek figyelembe, de számos index foglalkozik a szőlőskertek csapadék és hőmérsékleti viszonyainak együttes vizsgálatával. Ezek egy része megadja, hogy az adott terület alkalmas-e szőlőtermesztésre (például a Constantinescu-féle bioklimatikus index), mások a peronoszpóra-veszélyről adnak tájékoztatást (ilyen a csapadék-hőviszony index) (Kozma, 1991).

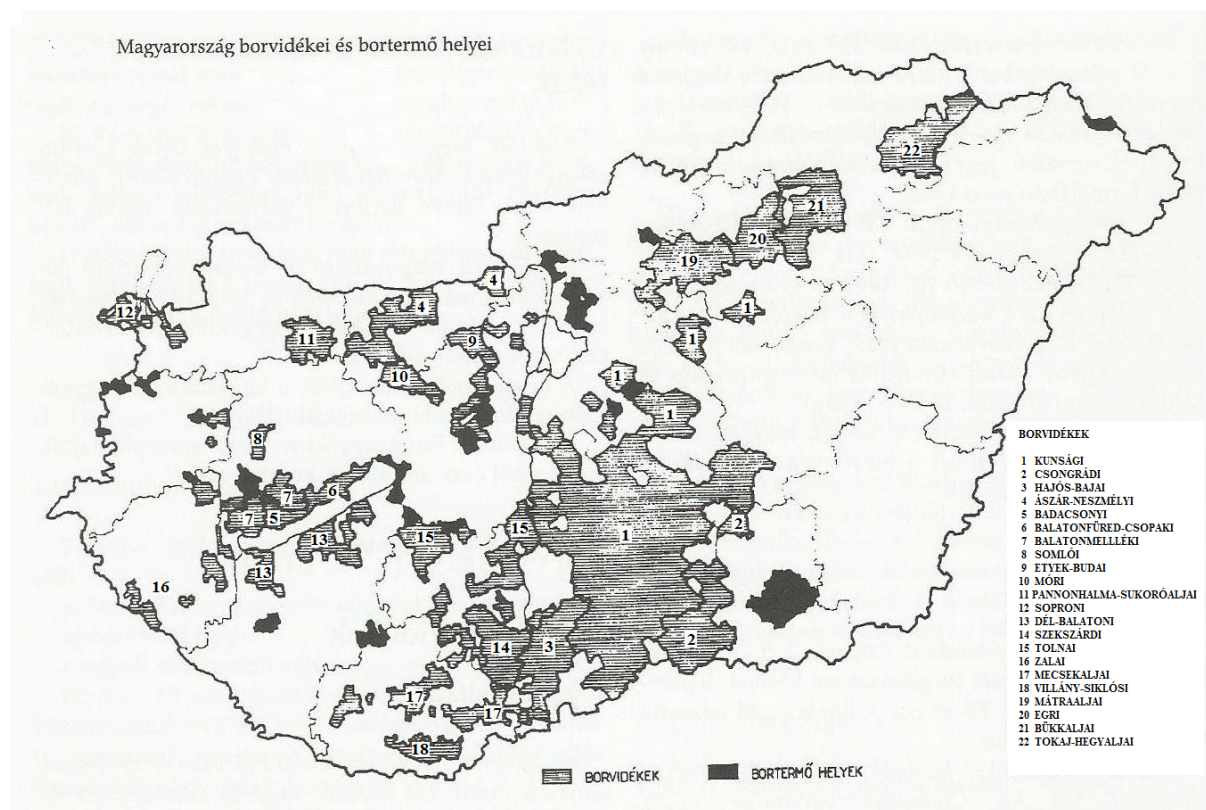
Az éghajlat állandó változásban van, ám az utóbbi évtizedekben egyértelmű tendenciák tapasztalhatók (IPCC, 2007). Emelkedett a földi átlaghőmérséklet, valamint a felszínközeli ózon és szén-dioxid mennyisége (Vingarzan, 2004). Mivel a szőlő szén-dioxid nyelőként működik, ez a megnövekedett szén-dioxid koncentráció kedvezően hat a növény hozamára és vízhasznosítására. A hőmérséklet emelkedése azonban a termés csökkenését idézi elő, mert egy küszöbértéken túl a fotoszintézis intenzitása erőteljesen lecsökken (Varga *et al.*, 2007). Az átlaghőmérséklet változása a szőlőszemek sav és cukortartalmára is hatással van. A nyári hónapok átlaghőmérsékletének növekedése növeli a bogyók cukortartalmát és csökkenti a savtartalmát (Horváth, 2008, Zanathy, 2008). Kutatások kimutatták, hogy a hőmérséklet 1 °C-kal történő emelkedése a termesztés határát akár 180 km-rel északabbra helyezheti, így a későbbiekben olyan területek is alkalmasak lehetnek szőlőtermesztésre, ahol erre jelenleg klimatikus szempontból nincs lehetőség (Moisselin *et al.*, 2002). A hőmérséklet növekedése miatt várhatóan télen ritkábban fognak fagykárak jelentkezni a szőlőnövényeken (Szenteleki, 2011). Az elmúlt évtizedekben extrém időjárási események is gyakoribbá váltak (Bartholy és Pongrácz, 2007). Megnövekedett az aszályos időszakok, illetve a felhőszakadásszerű csapadékhullások éves száma. A napi középhőmérséklet menetében sem ritkák a nagy (télen akár 10–15 °C-os) ugrások. Emellett a tavaszi átmeneti időszak lerövidülése tapasztalható (Horváth, 2008; Varga, 2005). Ezzel párhuzamosan a szüret, illetve az egyes fenológiai fázisok is korábbra tolódtak. Az egyes fejlődési szakaszok is lerövidültek, ami előnyös lehet, mert a hajtások gyorsabban növekednek, így kisebb a nagyarányú atkás károk valószínűsége. A virágzási szakasz lerövidülésével javulnak a megporzási és megtermékenyülés feltételei is (Stock *et al.*, 2003, Zanathy, 2008).

A fentiekből látszik, mennyire érzékeny a szőlő az éghajlat változásaira. Osztrák és német kutatások (Stock *et al.*, 2003, 2007) azt mutatják, hogy melegedés hatására várhatóan növekedni fog a vörösbort adó fajták aránya a fehérbort adókéval szemben. Ennek oka, hogy magasabb hőmérsékleten intenzívebbé válik a bogyók szín-, és aromaanyagának termelődése (Zanathy, 2008). Ezzel párhuzamosan Magyarországon (ahol többnyire korai és közép érésű fajtákat termesztene) biztosabbá válhat a késői érésű fajták termesztése (Horváth, 2008, Szenteleki, 2011).

3. Anyag és módszer

3.1. A vizsgált terület

Magyarország borvidékei a szőlőtermesztés északi tartományába esik. A szőlőtermesztést elsősorban az ország változatos kistájai, és azok mezo- és mikroklímája teszi lehetővé. Az országban 22 borvidéket (3. ábra) tartanak számon, melyek hasonló környezeti adottságaik alapján 5 régióba sorolhatók. A hazai borvidékeken domináns a fehérborok termesztése. A korai és közép érésű fajták elterjedtek (Hajdú, 2003).



3. ábra: Magyarország borvidékei és bortermő helyei (Kozma, 1991)

3.2. A felhasznált regionális klímamodellek

Olyan kis területre, mint a Kárpát-medence, illetve Magyarország a globális klímamodellek (GCM) által nyújtott eredmények nem kielégítőek, ezért ezen területek éghajlati jellemzésére regionális klímamodelleket (RCM) használunk. Ezek finomabb térbeli felbontásúak, ezért a felszíni, domborzati adottságokat is részletesebben képesek figyelembe venni a futtatások során.

Munkám során az ENSEMBLES Európai Unió projekt (*van der Linden és Mitchell, 2009*) keretében elvégzett modellszimulációk közül a RegCM és az ALADIN regionális klímamodell (*Pongrácz et al., 2011*), illetve a Brit Meteorológiai Szolgálat Hadley Központjában kifejlesztett és a Kárpát-medence térségére adaptált PRECIS regionális klímamodell (*Wilson et al., 2007; Pieczka, 2012*) nyers outputjain végzett ún. percentilis-alapú hibakorrekciónal (*Formayer and Haas, 2009*) előállított adatsorokkal dolgoztam. Az eljárás során a szimulált napi mezősorokat az állomási méréseken alapuló E-OBS adatbázis (*Haylock et al., 2008*) rácspontonként meghatározott havi eloszlásai alapján korrigálták (*Pieczka et al., 2011*).

A fent említett regionális modellek jövőre vonatkozó számításainál a közepesnek mondható A1B forgatókönyvet (*Nakicenovic és Swart, 2000*) vették figyelembe. Ez a scenárió a légköri szén-dioxid koncentráció lassuló ütemű emelkedésével számol, mely a XXI. század végére meghaladja a 700 ppm-et.

Mindhárom modellfuttatás esetében 25 km-es horizontális felbontást alkalmaztak, így a kapott mezők a szőlészeti szempontból fontos mikroklimák pontos leírására nem alkalmasak, ám a várható tendenciák vizsgálatához kielégítőek. A feldolgozott szimulációs adatok (napi minimum-, maximum- és átlaghőmérséklet, valamint csapadékösszeg) az északi szélesség 44°–50°, valamint a keleti hosszúság 14°–26° közti területre és az 1951–2100 (illetve a PRECIS modell esetében 1951–2098) közti időszakra vonatkoznak.

3.3. A vizsgált indexek

A szőlőtermesztés hatékonysága klimatikus szempontból különböző indexekkel írható le. Vizsgálataink során a következő mérőszámok várható változásait elemeztük: effektív hőösszeg, aktív hőösszeg, Huglin-féle heliotermikus index, az éves, illetve a vegetációs időszak alatti csapadékösszeg, a bioklimatikus index, a csapadék-hőviszony index, valamint a hidrotermikus koefficiens. Ezen kívül a szélsőséges hőmérsékleti és csapadék viszonyok gyakoriságával is foglalkoztunk. Az itt felsorolt mérőszámok egy részével már korábbi vizsgálataim során is foglalkoztam (*Mesterházy, 2012*), de a dolgozat teljessége érdekében most újra bemutatom ezeket.

Az *effektív hőösszeggel* – pusztán a napi középhőmérsékletek ismeretében – könnyen meghatározható, hogy az adott terület mely szőlőfajták termesztésére alkalmas. Ehhez a vegetációs időszak napi középhőmérsékleteit kell összegezni. Hasonló mérőszám az *aktív*

hőösszeg (1. táblázat), de ez esetben csak a 10 °C-nál nagyobb értékeknél, a 10 °C feletti részt adjuk össze (*Davitaja, 1959; Kozma, 1991*)

Fajta	Effektív hőösszeg a rügyfakadástól a bogyók teljes éréséig	Aktív hőösszeg	Napok száma
Igen korai érésű	2200–2400 °C	690–850 °C	110–120
Korai érésű	2400–2600 °C	850–1150 °C	120–130
Középérésű	2600–2800 °C	1150–1350 °C	130–145
Kései és igen kései érésű	2800 °C felett	1350 °C felett	145 felett

1. táblázat: szőlőfajták csoportosítása az effektív, az aktív hőösszeg alapján (*Davitaja, 1959; Kozma, 1991*)

A *Huglin-féle helioterikus index* az átlaghőmérséklettel, a napi maximum hőmérséklettel, és a földrajzi szélességtől függő *d* változóval korrigálva ad egy értéket, mely meghatározza, hogy az adott területen mely fajtáknak kedveznek a körülmények. A Huglin-index a következő alakban írható fel:

$$HI = d \sum_{04.01.}^{09.30.} \frac{[(T - 10) + (T_x - 10)]}{2}, \quad (1.)$$

ahol *d* a földrajzi szélességtől függő érték, ami 1,02-től (északon a 40° földrajzi szélesség környéke) 1,06-ig (északon az 50° földrajzi szélesség környéke) változhat, *T* az átlagos, *T_x* pedig a maximum léghőmérséklet (°C). A fentiekhez hasonlóan, itt is csak a vegetációs időszakra vonatkozó értékeket vesszük figyelembe (*Huglin, 1978; Kozma, 1991*). Az ily módon kiszámított értékek alapján tehát megadható, hogy az adott terület klimatikus (elsősorban hőmérsékleti) körülményei mely szőlőfajtának kedveznek (2. táblázat).

Huglin-index	Fajta
2300	<i>Aramon</i>
2200	<i>Carignan</i>
2100	<i>Cinsaut, Grenache, Syrah</i>
2000	<i>Ugni blanc</i>
1900	<i>Chenin blanc, Olaszrizling, Merlot, Cabernet Sauvignon</i>
1800	<i>Cabernet franc, Kékfrankos</i>
1700	<i>Chardonnay, Rajnai rizling, Szilváni, Sauvignon blanc, Pinot noir</i>
1600	<i>Pinot blanc, Fűszeres tramini, Gamay</i>
1500	<i>Rizlingszilváni</i>
1400	<i>Csaba gyöngye, Irsai Olivér</i>

2. táblázat: A Huglin-féle index értékei és az ajánlott szőlőfajták (*Huglin, 1978; Kozma, 1991* alapján)

A szőlőnövény vegetációs periódusának a tartósan 10 °C feletti napi középhőmérsékletű időszakot vettük (*Kozma, 1991*).

A csapadék mennyiségét a vegetációs időszakra vonatkozó *csapadékösszeggel* jellemezhetjük (Szenteleki *et al.*, 2011). A szőlő vízfelhasználása függ a vegetációs fázistól. A legtöbb vizet a vegetációs idő második felében igényli, mert ekkor legaktívabb a fejlődése (Oláh, 1979). A szőlő számára 240–320 mm csapadék ideális a vegetációs időszak alatt (Varga *et al.*, 2006).

A *Constantinescu-féle bioklimatikus index* (T_{bcl}) a csapadék és a hőmérsékleti viszonyokat egyaránt figyelembe veszi. Értéke az alábbi módon határozható meg:

$$T_{bcl} = \frac{T_e I_e}{10PN}, \quad (2.)$$

ahol T_e az effektív hőösszeg ($^{\circ}\text{C}$), I_e az effektív besugárzás összege a vegetációs időszak alatt (óra), P a csapadék a vegetációs időszakban (mm) és N a vegetációs periódus hossza (nap). Ez az index azonban nem a fajtaválasztást segíti, hanem arról ad tájékoztatást, hogy az adott területen jövedelmező-e szőlőt termelni, vagy nem. Ha a bioklimatikus index 2–5 között mozog, ott a szőlőtermesztés kevésbé jövedelmező, 6–10 közti eredményt adnak a közepes és jó termőterületek és 11-nél nagyobb az igen kedvező feltételekkel rendelkező térségek (Constantinescu, 1964; Kozma, 1991).

A *csapadék-hőviszony indexszel* (I_p) a peronoszpóra veszélyt állapíthatjuk meg, ha az indexet a tenyészidőszak öt hónapjára (április, május, június, július, augusztus) kiszámítjuk az alábbi képlet alapján:

$$I_p = 10^{-5} XP, \quad (3.)$$

ahol X az aktív hőösszeg ($^{\circ}\text{C}$), P a csapadékösszeg (mm) a felsorolt hónapokra vonatkozóan. Ha az index 4 feletti, akkor beszélünk peronoszpóra-vészről. Hazánkban a peronoszpóramentes években ez az érték 2,3–3,5 közötti (Kozma, 1991).

A csapadék és a hőmérséklet szőlőre gyakorolt együttes hatását a *hidrotermikus koefficienssel* (HTK) is jellemezhetjük. Ezt a vegetáció vízgazdálkodását mutató mérőszámot a következőképpen számíthatjuk:

$$HTK = 10P / T^0, \quad (4.)$$

ahol P a vegetációs időszak alatt lehullott csapadék (mm), T^0 az effektív hőösszeg ($^{\circ}\text{C}$). Azokon a területeken, ahol ez az érték 0,5 alatti, ott csak magas páratartalom vagy megfelelő öntözés mellett lehet szőlőt termesztani. A hidrotermikus koefficiens maximuma 1,5–2,5, optimuma 1 körül van (Szeljanyinov, 1928; Kozma, 1991; Mikó, 2009).

Ezen mérőszámokon túlmenően vizsgáltuk a szélsőséges hőmérsékleti és csapadékviszonyok gyakoriságát (Oláh, 1979; Dunkel és Kozma, 1981; Horváth, 2008; Szenteleki, 2011). Ennek során az alábbi küszöbértékeket vettük figyelembe:

- ◇ $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérséklet a téli nyugalmi időszakban,
- ◇ $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérséklet a téli nyugalmi időszakban,
- ◇ $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál magasabb hőmérséklet a vegetációs időszakban,
- ◇ egymást követő 1 mm-nél kevesebb csapadékú napok száma,
- ◇ egymást követő 5 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma.

4. Eredmények

A hőösszegekkel végzett számítások jól visszaadják azt, hogy a XX. század végén Magyarországon a korai és középérésű szőlőfajták termesztése volt jellemző (1. táblázat). Az effektív hőösszeg 2600–3000 °C, míg az aktív 1200–1400 °C (4–5. ábra). Ez alapján azt mondhatnánk, hogy akár késői érésű fajták is beérhetnek a magyarországi borvidékeken, ám figyelembe kell venni, hogy ez egy átlagos érték, vagyis előfordulnak olyan évek, mikor az effektív hőösszeg ennél az értéknél alacsonyabb, illetve nagyobb. Ez azt jelenti, hogy egyes években nincs elegendő hőmennyiség a késői érésű fajták beéréséhez.

A modelladatok nem veszik figyelembe a lejtőkitettségből származó többletsugárzást, így a dombos, illetve hegyes vidékeken, mint például a Bakony és az Alpokalja térségben, kisebb hőellátottságot mutatnak a térképek, így azt sugallják, hogy ott inkább a kisebb hőigényű fajták beérése biztosított. A 6. és 7. ábrán is látható, hogy a heliotermikus index alapján is azt állíthatnánk, hogy az alföldi borvidékeken lehet hőigényesebb fajtákat termesztetni, az Alpokalján kevésbé hőigényeseket. Ennek épp az ellenkezője tapasztalható a gyakorlatban, melynek oka a lejtőkitettségből adódó többletsugárzás.

A hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódus hossza (8. ábra) a referencia időszakban mindhárom modell esetében 160–190 nap közé esett Magyarország területén, ami körülbelül egy hónappal hosszabb, mint a korai és középérésű fajták érési ideje (1. táblázat). Ennek alapján azt mondhatjuk, hogy a vegetációs időszak hossza Magyarországon lehetővé teszi a késői érésű fajták termesztését is, ám láttuk, hogy ezalatt az időszak alatt nem minden évben kapja meg a szőlő a késői érésű fajták beéréséhez szükséges mennyiségű hőt.

Rövid- és hosszútávon egyaránt a hőösszegek növekedése várható (4–7. ábra). Ez a növekedés nem egyenletes, ugyanis mindhárom modell a század közepére kisebb ütemű emelkedést, a század végére markánsabb változást mutat.

Az ALADIN és RegCM adatokból számolt értékek jól együtt mozognak. Az effektív hőösszeg a modellszimulációk alapján 3000–3600 °C-ra, míg az aktív hőösszeg 1400–1700 °C-ra fog növekedni. A Huglin-féle heliotermikus index Magyarország területén 1800 °C fölé fog várhatóan emelkedni, illetve az Alföld területén 2300 °C fölötti értékek is előfordulhatnak. A 7. ábráról látható, hogy az 1980-as évektől kezdve minden borrhíóban a korábbiakhoz képest meredekebben emelkedik a heliotermikus index értéke.

A PRECIS modell alapján sokkal markánsabb emelkedés várható. Az effektív hőösszeg 3400–3900 °C-ra, míg az aktív 1600–2000 °C-ra emelkedhet. Rövidtávon várhatóan szinte a

teljes ország területén a heliotermikus index eléri a 2300 °C értéket. A 7. ábrán a PRECIS adatok görbéi emelkednek a legmeredekebben, vagyis ez a modell mutatja a legnagyobb változást a század közepére.

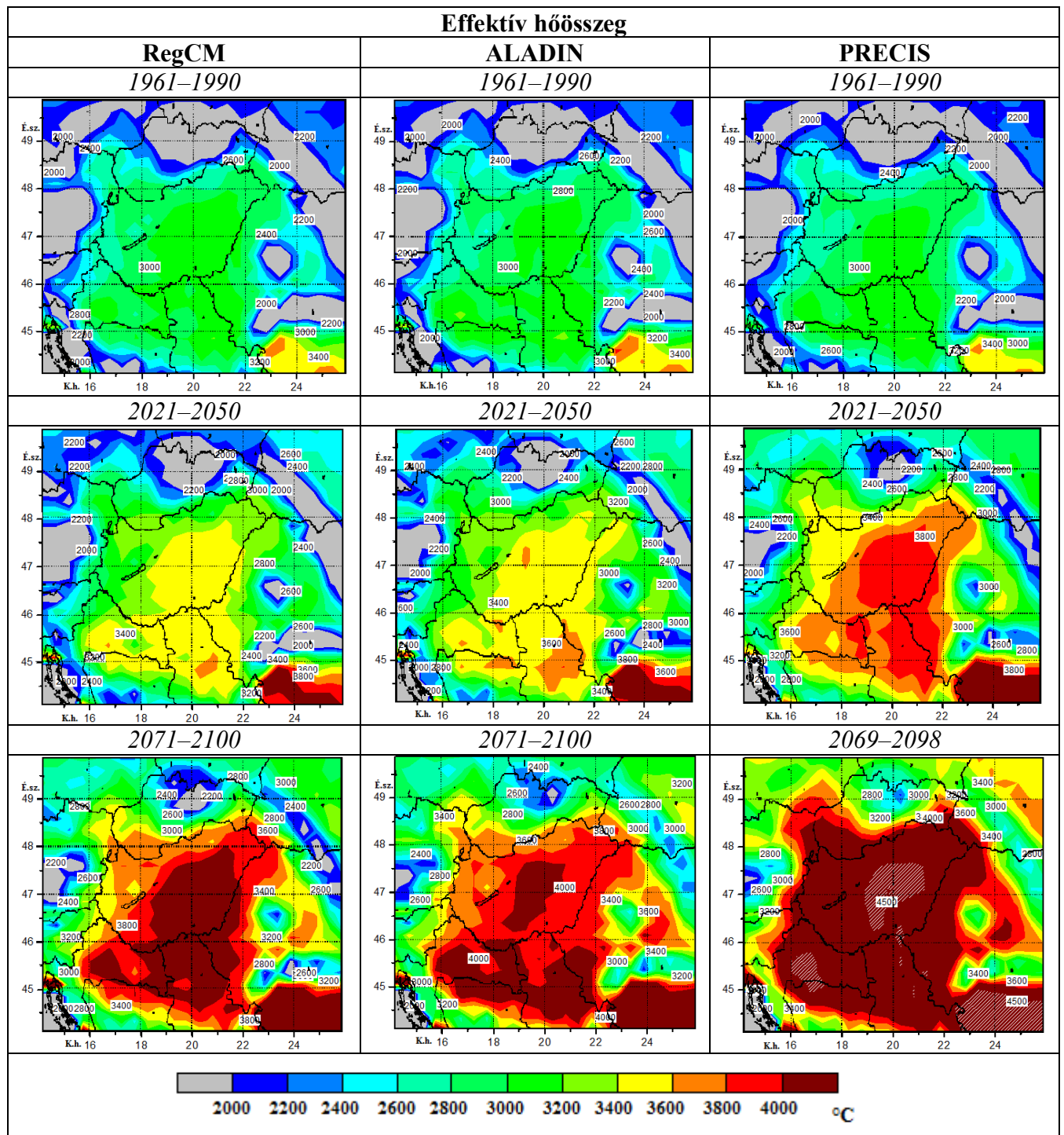
Mindhárom modell a vegetációs időszak hosszabbodását jelzi középtávon (8. ábra). A XXI. század közepére a szőlő meteorológiailag lehetséges vegetációs periódusa 180–210 nap is lehet, bár az ALADIN modell szerint a változás nem lesz ilyen nagymértékű (180–200 nap).

Mindezek azt sugallják, hogy a XXI. század közepére késői érésű fajták beérésére is alkalmasak lesznek egyes területek. Mivel a hőtöbblet lehetővé teszi a szín- és aromaanyagok kifejlődését, így lehetőség válhat számos borvidéken a vörösbort adó szőlőfajták nagyobb arányú termesztése.

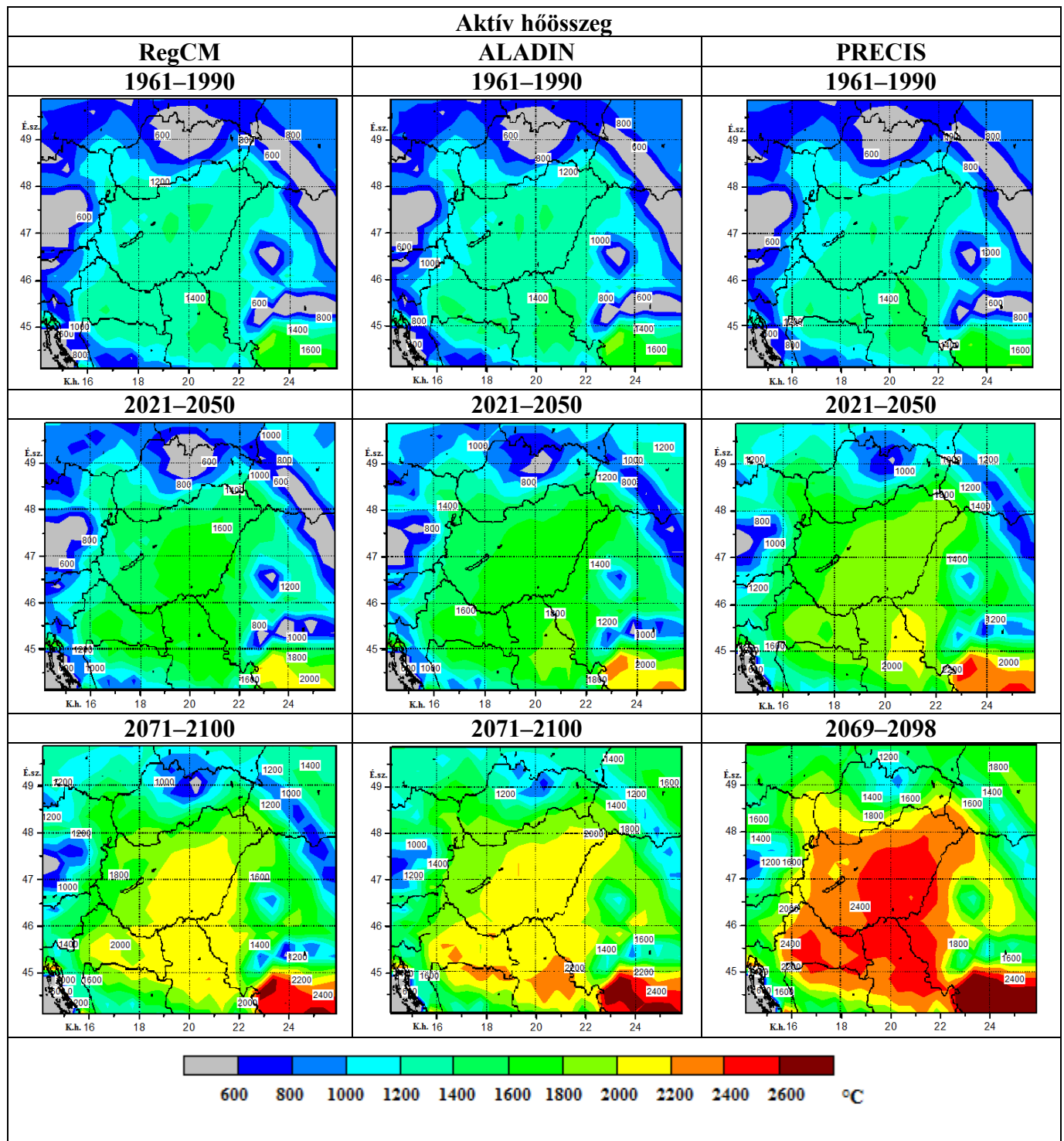
Hosszú távon is hasonló tendenciák várhatók (4–7. ábra). Az ALADIN és a RegCM modellek alapján az effektív hőösszeg 3400 °C fölé emelkedhet az országban, de az alföldi térségben 4000 °C fölötti átlagos értékek is előfordulhatnak. Ezzel párhuzamosan az aktív hőösszeg 1700–2200 °C körüli értékeket is felvehet. A rövidtávú eredményekhez hasonlóan a PRECIS adatokból származtatott értékek markánsabb változást mutatnak. Az effektív hőösszeg 4000–4600 °C közötti, míg az aktív 2000–2500 °C közötti értékeket vehet fel. A Huglin-féle heliotermikus index hosszútávon az ország egész területén mindhárom modell alapján 2300 °C fölötti értékeket fog felvenni.

Hosszútávon a meteorológiailag lehetséges vegetációs időszak még tovább hosszabbodhat (8. ábra). Időtartama elérheti 200–220 napot, illetve a PRECIS modelldatokkal végzett számítás 210–230 napos vegetációs időszakot adott.

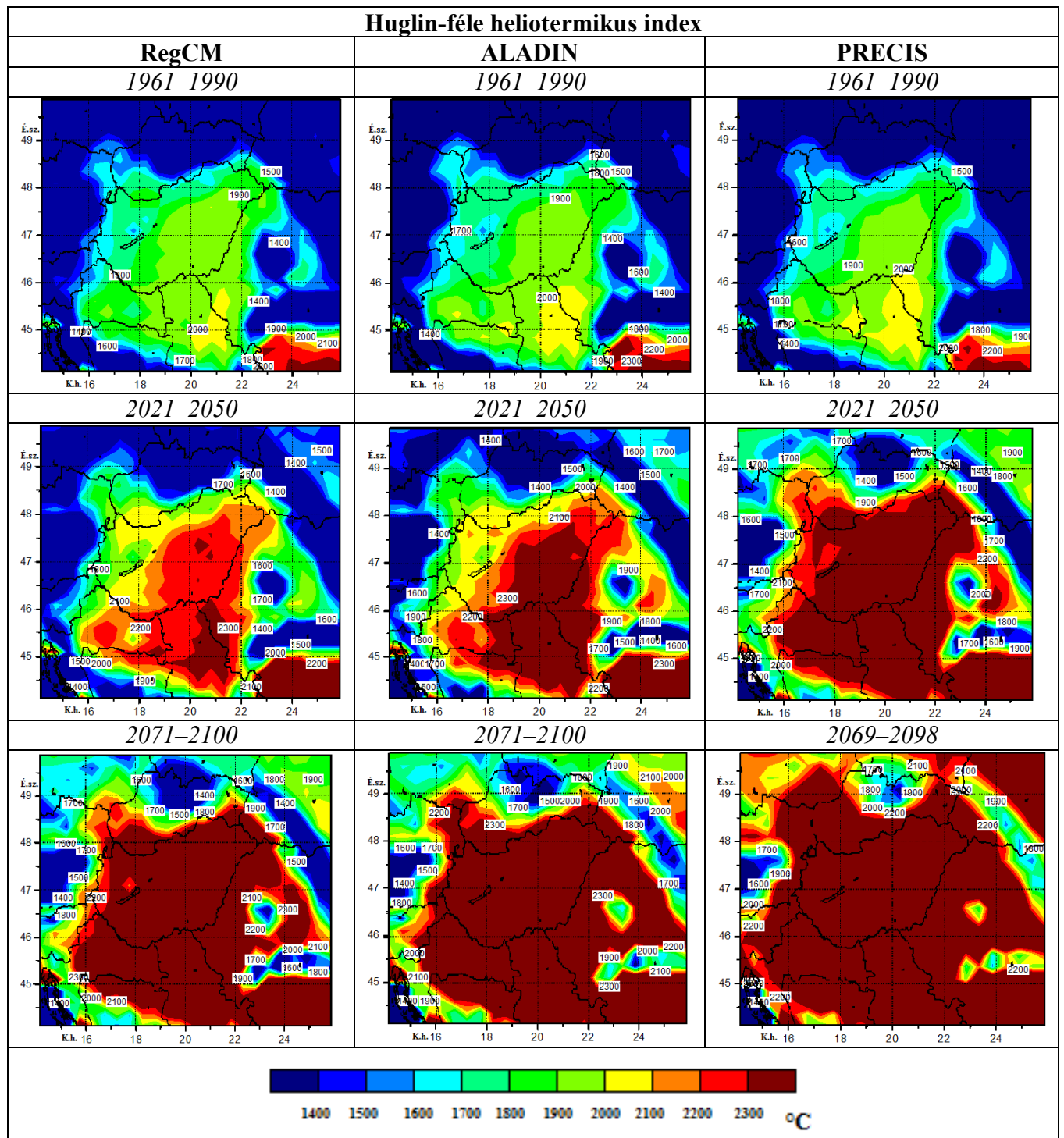
Az elmondottak alapján azt mondhatjuk, hogy a XXI. század végére a hazai borvidékek klimatikus adottságai lehetővé tehetik a mediterrán vörösbort adó szőlőfajták termesztését.



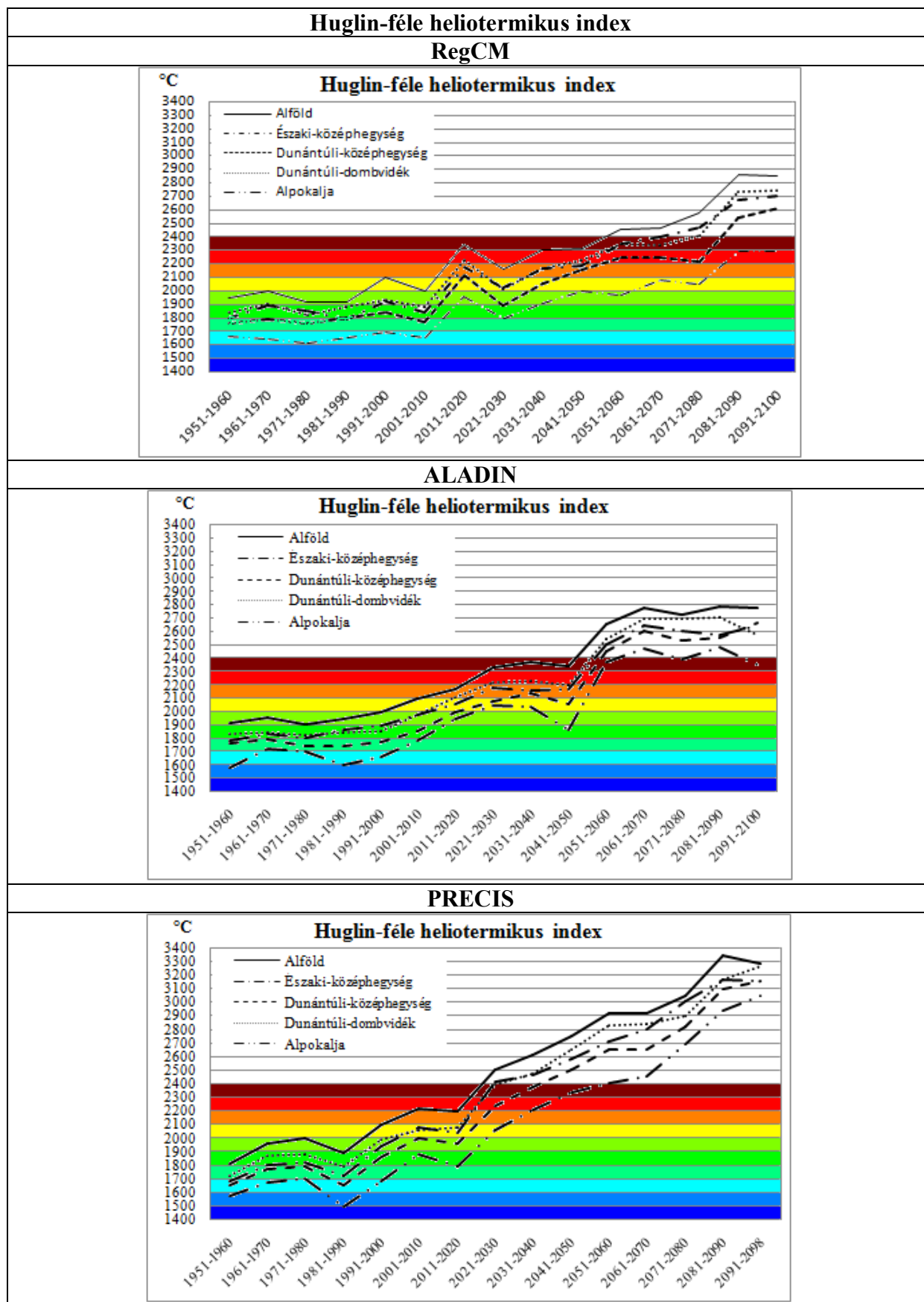
4. ábra: Az effektív hőösszeg index változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



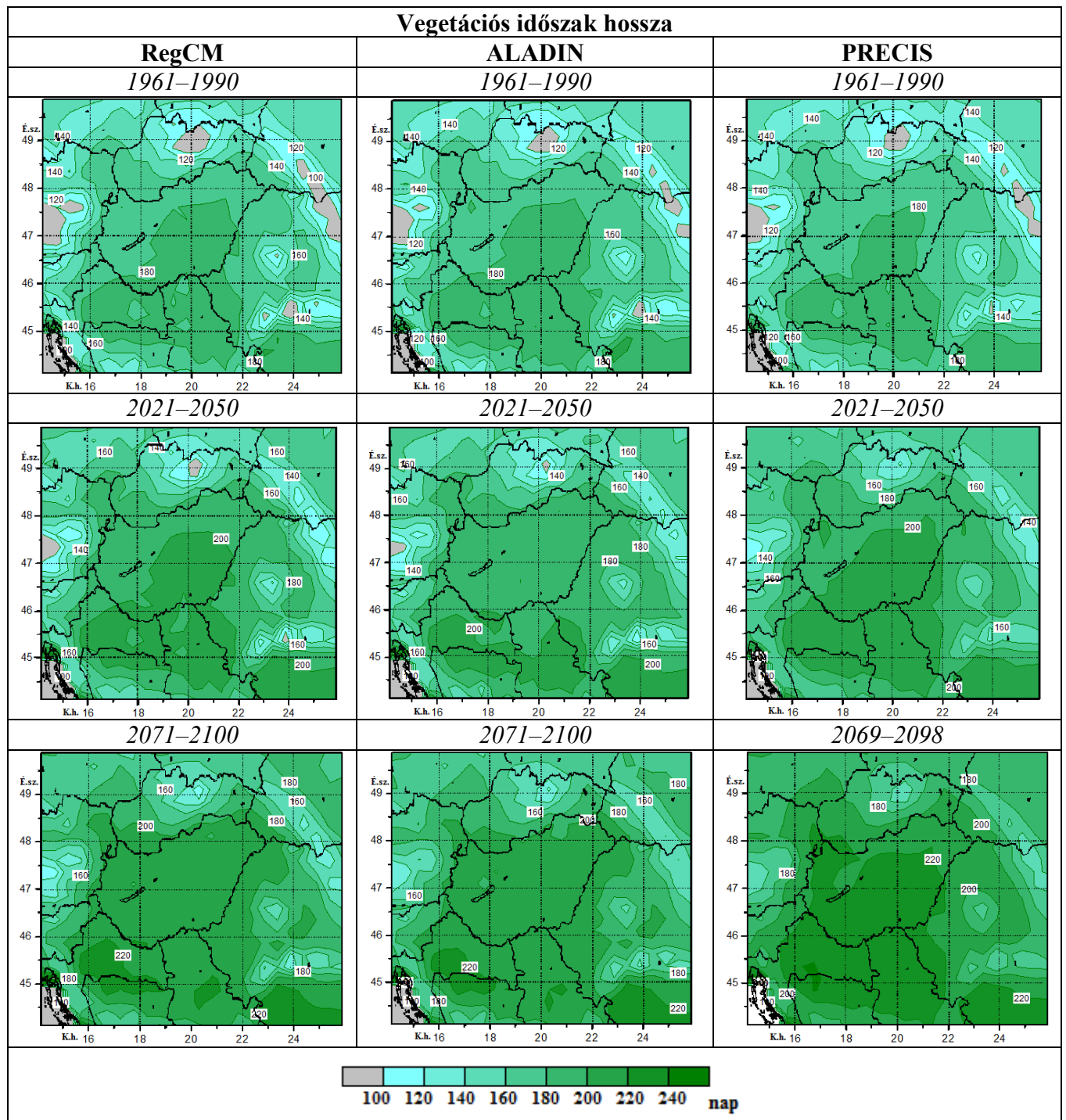
5. ábra: Az aktív hőösszeg változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



6. ábra: A Huglin-féle heliotermikus index változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



7. ábra: A Huglin-féle heliotermikus index évtizedes változása a Kárpát-medencében



8. ábra: Az vegetációs időszak hosszának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)

Az éves átlagok mellett a szélsőséges hőmérsékleti értékek előfordulásának is jelentős szerepe van.

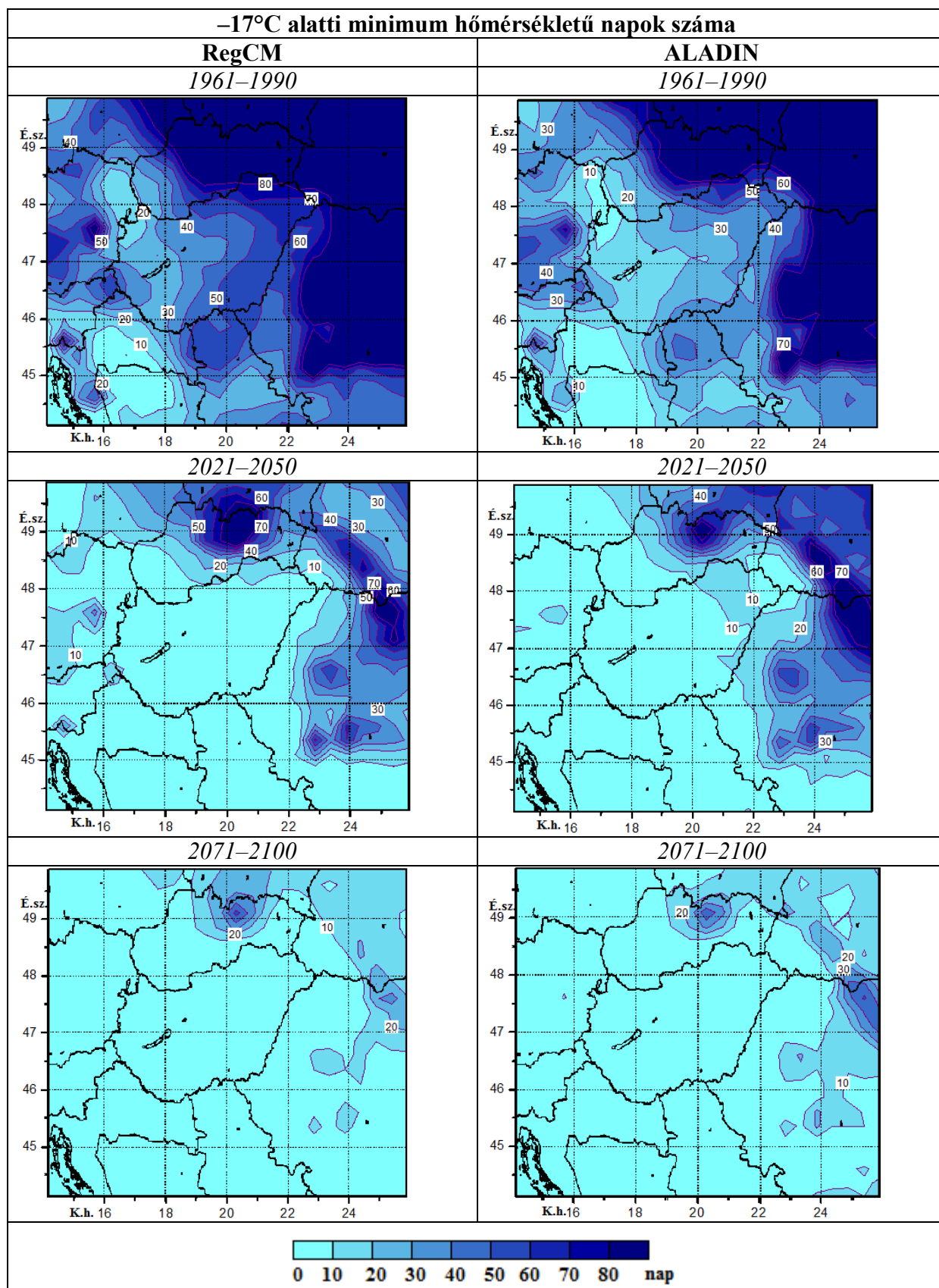
A PRECIS modellel végzett munkánk során nem fordultak elő -17 °C alatti hőmérsékleti minimumok, így csak a fent említett két modellre végeztem csak el az elemzést.

Látható, hogy a mérésekből számított az 1950–1979 közti időszakra vonatkozó -17 °C alatti minimum hőmérsékletű napok számát (1. ábra) a RegCM és az ALADIN modell jól közelíti (9–10. ábra). Az eltérés egyik oka lehet, hogy a referencia és a mérési időszak nem teljesen fedik egymást. A referencia időszakban minden 2–3. évben várható a kevésbé fagyűrő fajtánál fagykárosodás, ami a század közepére lecsökken, így csak minden 8–10. évben kell nagyobb téli fagykárrel számolni. Hosszútávon szinte teljesen eltűnnek az ilyen fagykárveszélyes évek.

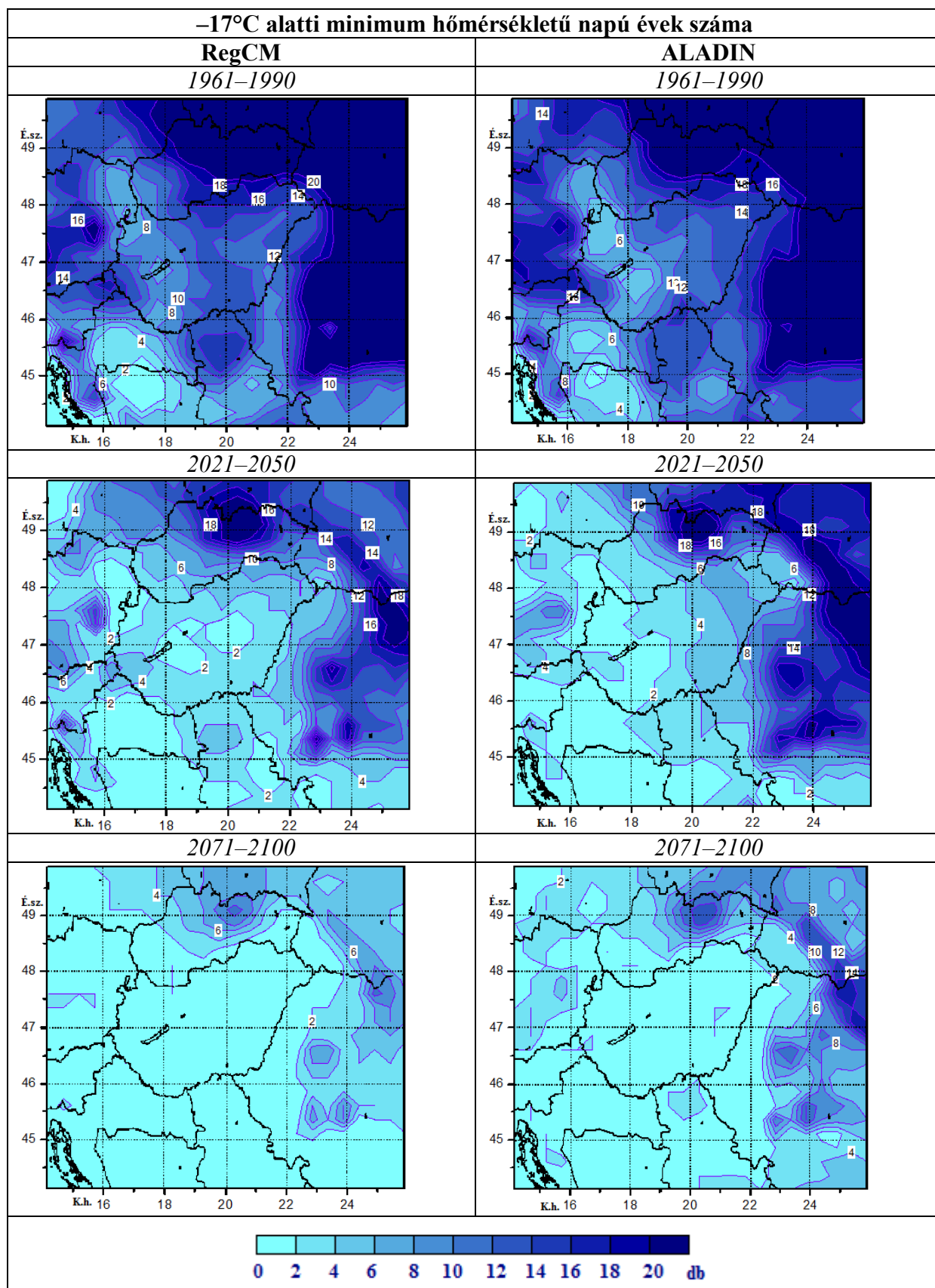
A -21 °C alatti minimum hőmérsékletű napok számát a modellek alulbecslik (2. és 11–12. ábra), habár ez a hiba az összehasonlítható két időszak nem tökéletes fedéséből is következhet. Ettől függetlenül elmondható, hogy rövidtávon a szélsőségesen hideg hőmérsékletek előfordulása csökken, illetve hosszútávon szinte teljesen eltűnnek a szélsőségesen hideg napok.

A vegetációs időszaki extrém meleg napokat is megsínyli a növény. A referencia időszakban a modelleredmények alapján átlagosan 2–10 évente jelentkeztek 35 °C feletti maximum hőmérsékletű napok (13–14. ábra). A RegCM modell szerint gyakran, míg az ALADIN alapján ritkán várhatóak ilyen évek. Abban az évben, mikor ilyen nap jelentkezik, átlagosan 1–4 nap emelkedhet 35 °C fölé a napi maximum hőmérséklet.

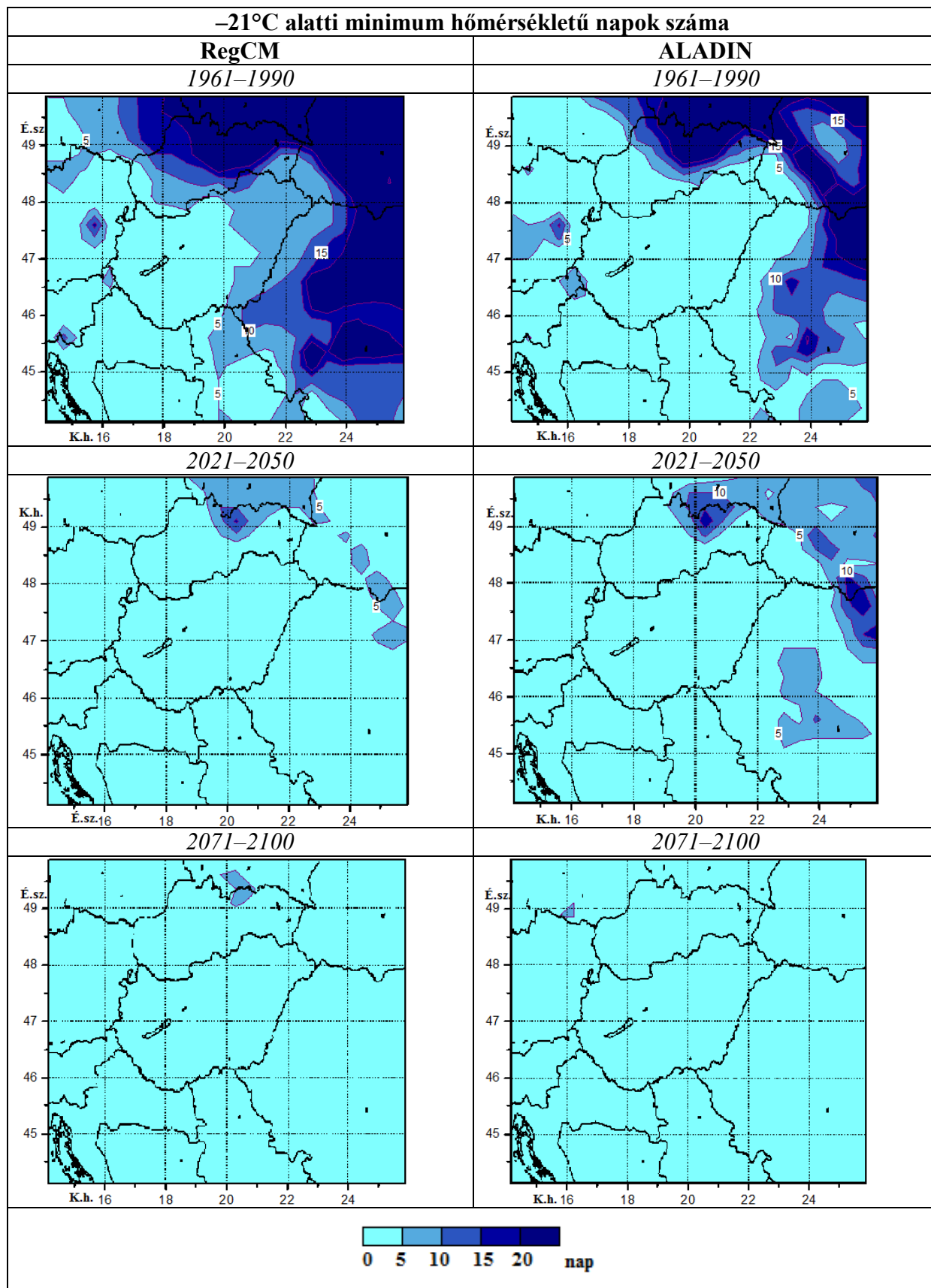
Rövid- és hosszútávon drasztikusan megnő az extrém magas hőmérsékletű napú évek száma (13–14. ábra). Mindhárom modell szerint rövidtávon minden vagy minden második, míg hosszútávon minden évben kell ilyen eseményre számítani. Azokban az években, mikor előfordul 35 °C feletti hőmérséklet, rövid és hosszútávon egyaránt többször jelennek meg éves szinten ilyen forró napok. Leggyakrabban az alföldi régiókban számíthatunk ilyen extrém hőmérsékletű eseményekre. A RegCM modell szerint rövidtávon 2–4 nap lesz ilyen az adott években, ám hosszútávon ez az érték 5–13 napot is elérhet. Az ALADIN és a főleg PRECIS modell esetében drasztikusabb ez a változás. Rövidtávon átlagosan 8–16 ilyen forró napra lehet évente számítani, de hosszútávon akár évente 27–40 35 °C feletti maximum hőmérsékletű nap is előfordulhat.



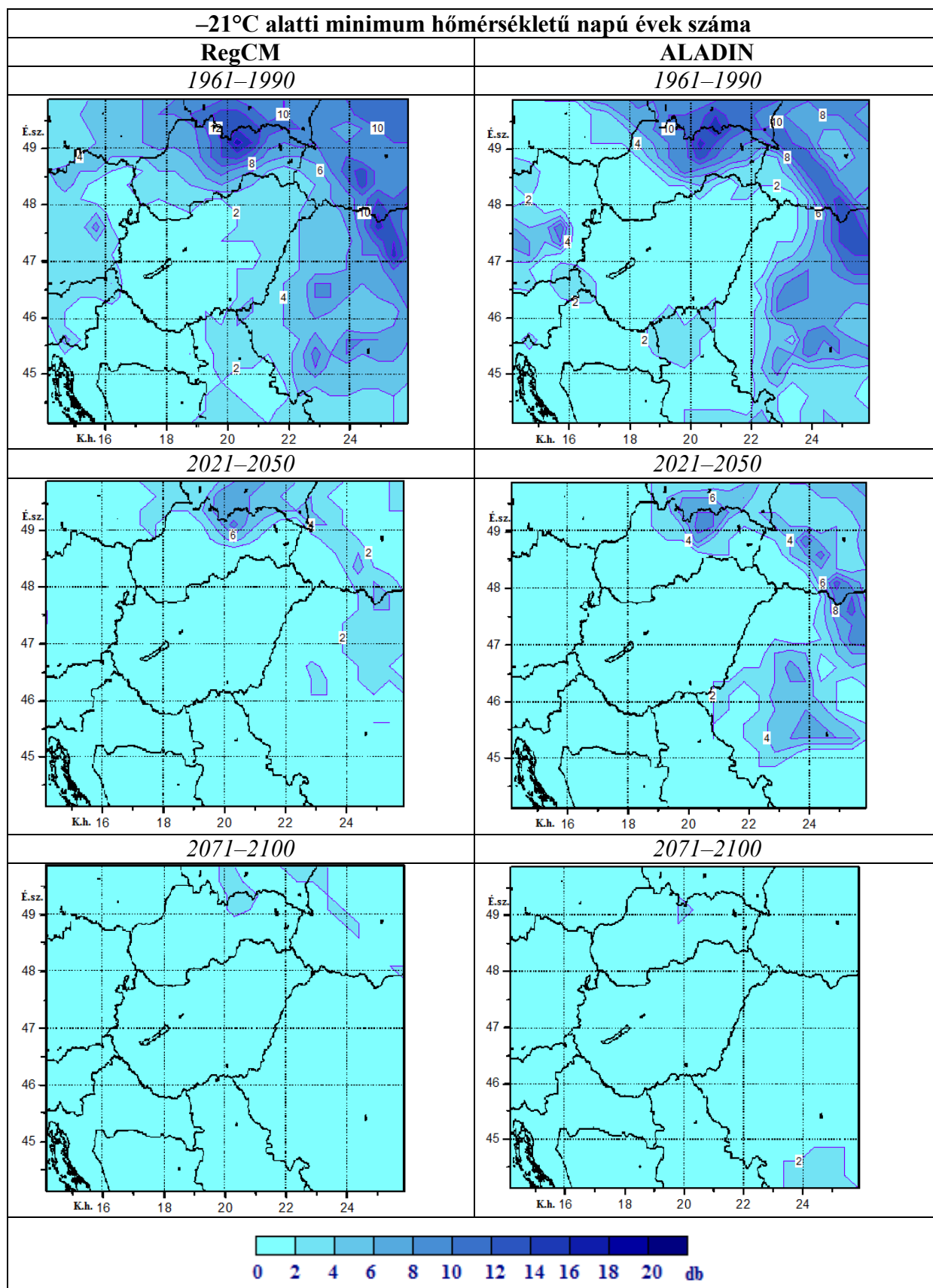
9. ábra: A -17°C alatti minimum hőmérsékletű napok számának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



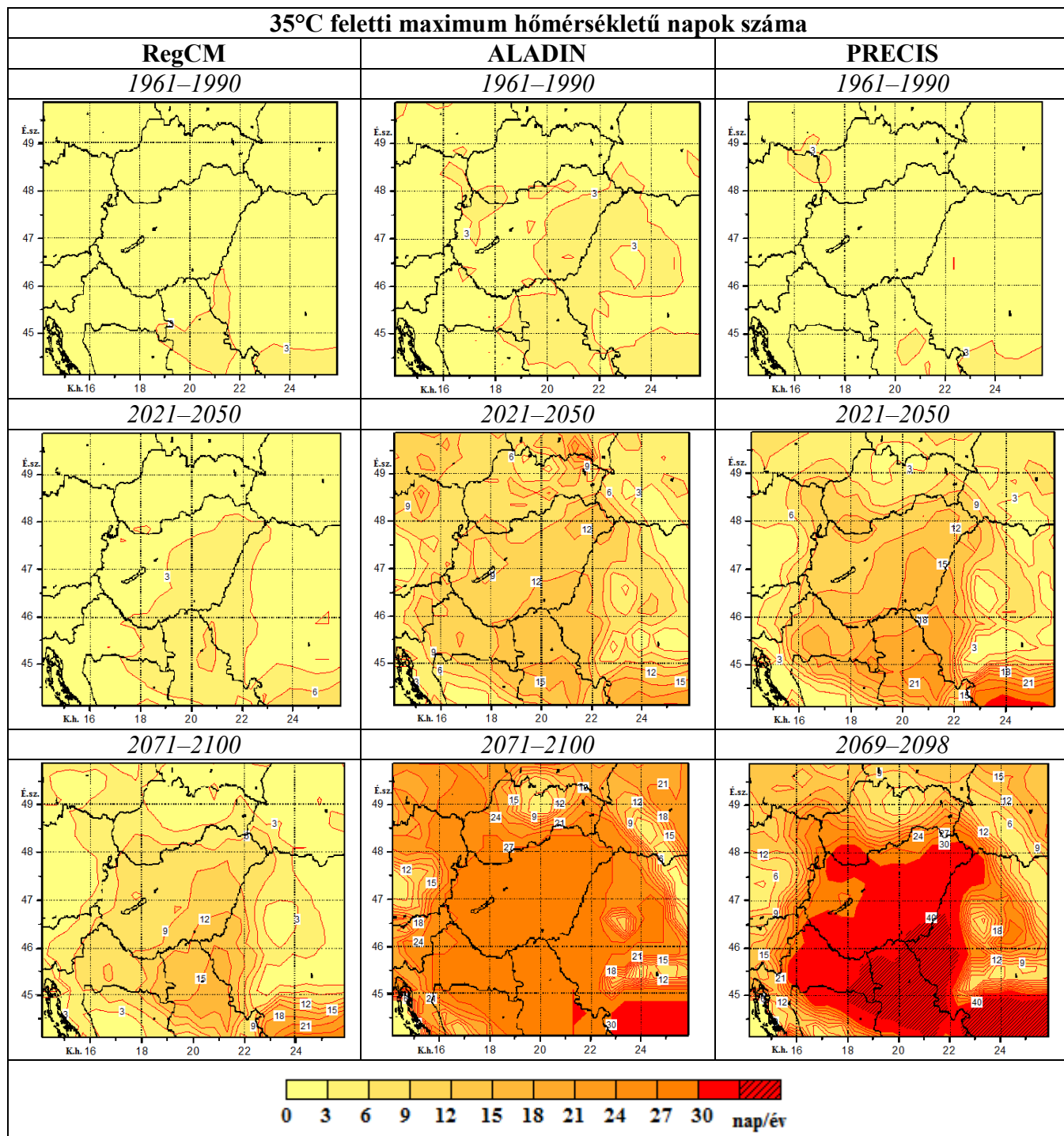
10. ábra: A -17°C alatti minimum hőmérsékletű napú évek számának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



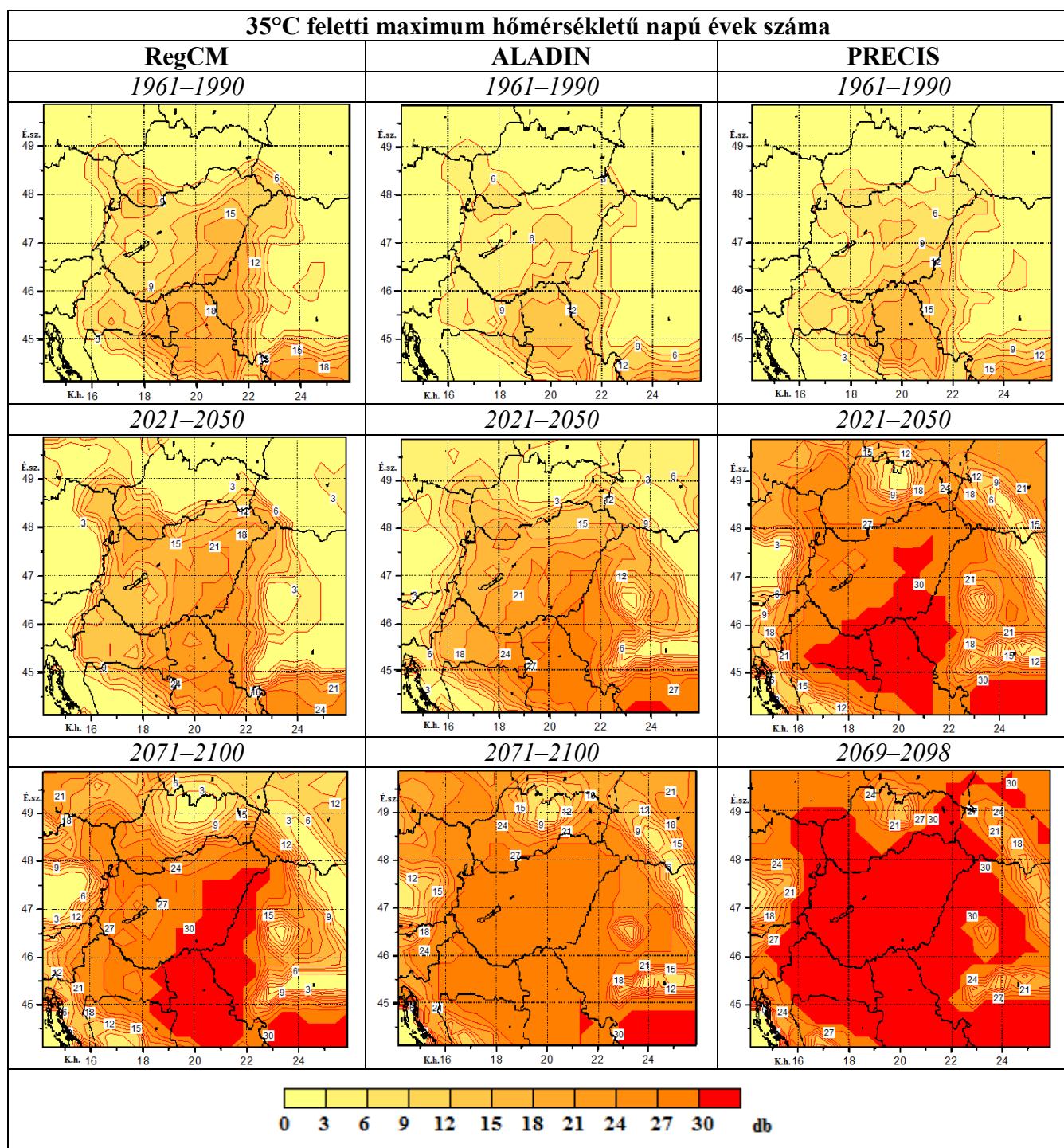
11. ábra: A -21 °C alatti minimum hőmérsékletű napok számának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



12. ábra: A -21 °C alatti minimum hőmérsékletű napú évek számának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



13. ábra: A 35 °C feletti maximum hőmérsékletű napok számának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



14. ábra: A 35 °C feletti maximum hőmérsékletű napú évek számának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)

A növények szempontjából a másik fontos tényező a nedvesség. Ezt a vegetációs időszak alatti csapadékösszeggel jellemezhetjük. A referencia időszakban ez a csapadékösszeg mindhárom modell alapján az ideálisnak mondható 240–320 mm között alakul (15. ábra). Az alföldi régió a legszárazabb. Rövidtávon az ALADIN modell a nyugati országrészekre, illetve a RegCM modell az ország teljes területére emelkedést mutat. A PRECIS adatok alapján rövidtávon az észak-keleti régiókban szárazodás várható. Hosszútávon jelentősebb változás nem várható, bár az ALADIN modell az északnyugati tájakra minimális szintű csapadékcsökkenést ad.

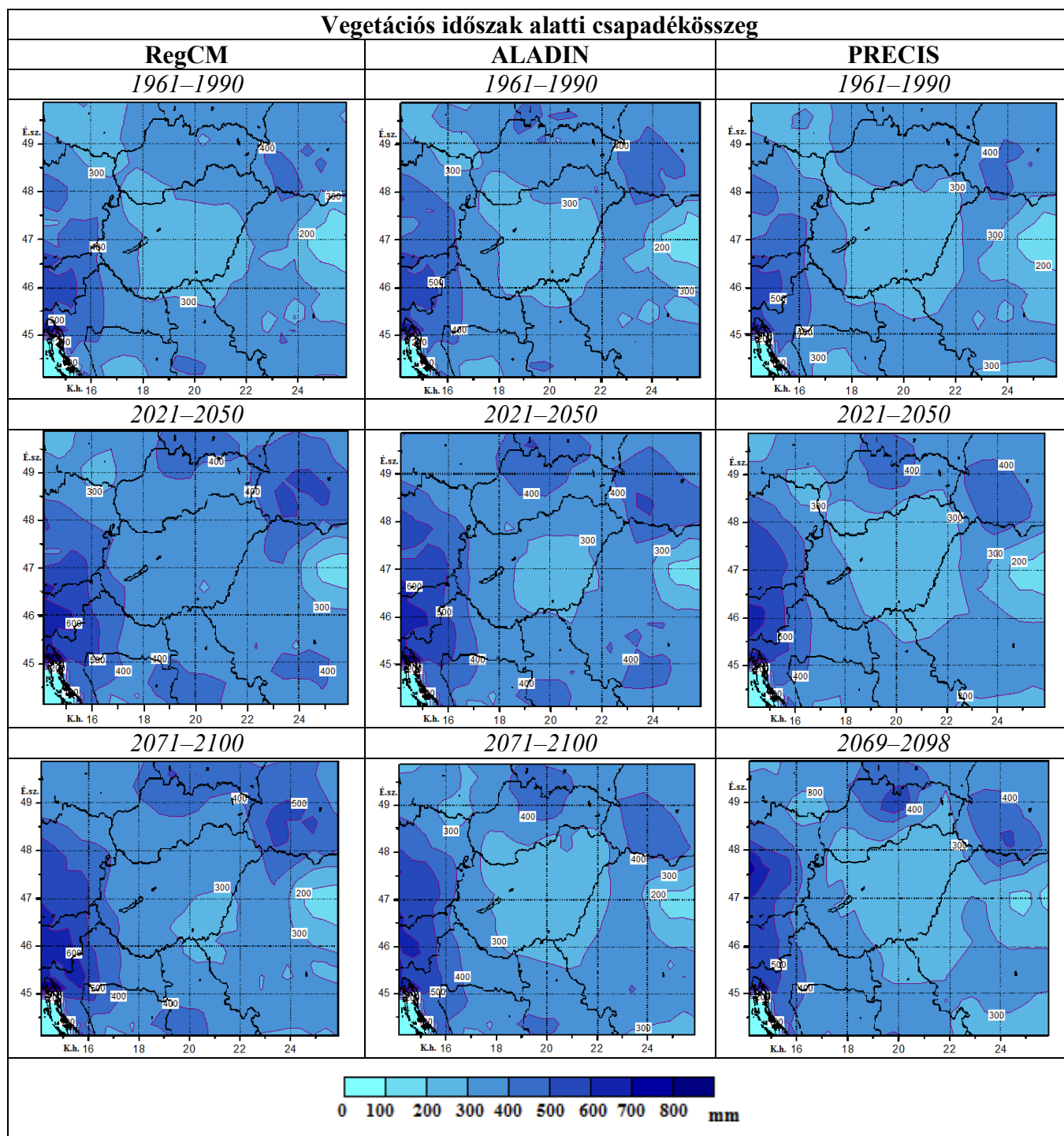
Elmondható, hogy a vegetációs időszaki csapadékösszegben várhatóan csak kismértékű változások állnak be, melyek nem befolyásolják döntően a termeszthetőséget. Ennél fontosabb kérdés, hogyan változik ennek eloszlása. Ezt némiképpen a csapadékos, illetve az aszályos időszak hosszának változásával lehet jellemezni.

Látható, hogy a maximális csapadékhullási időszak egyik modell alapján sem fog jelentősen változni (2,5–4 nap), ám egyes területeken minimális csökkenés várható (16. ábra).

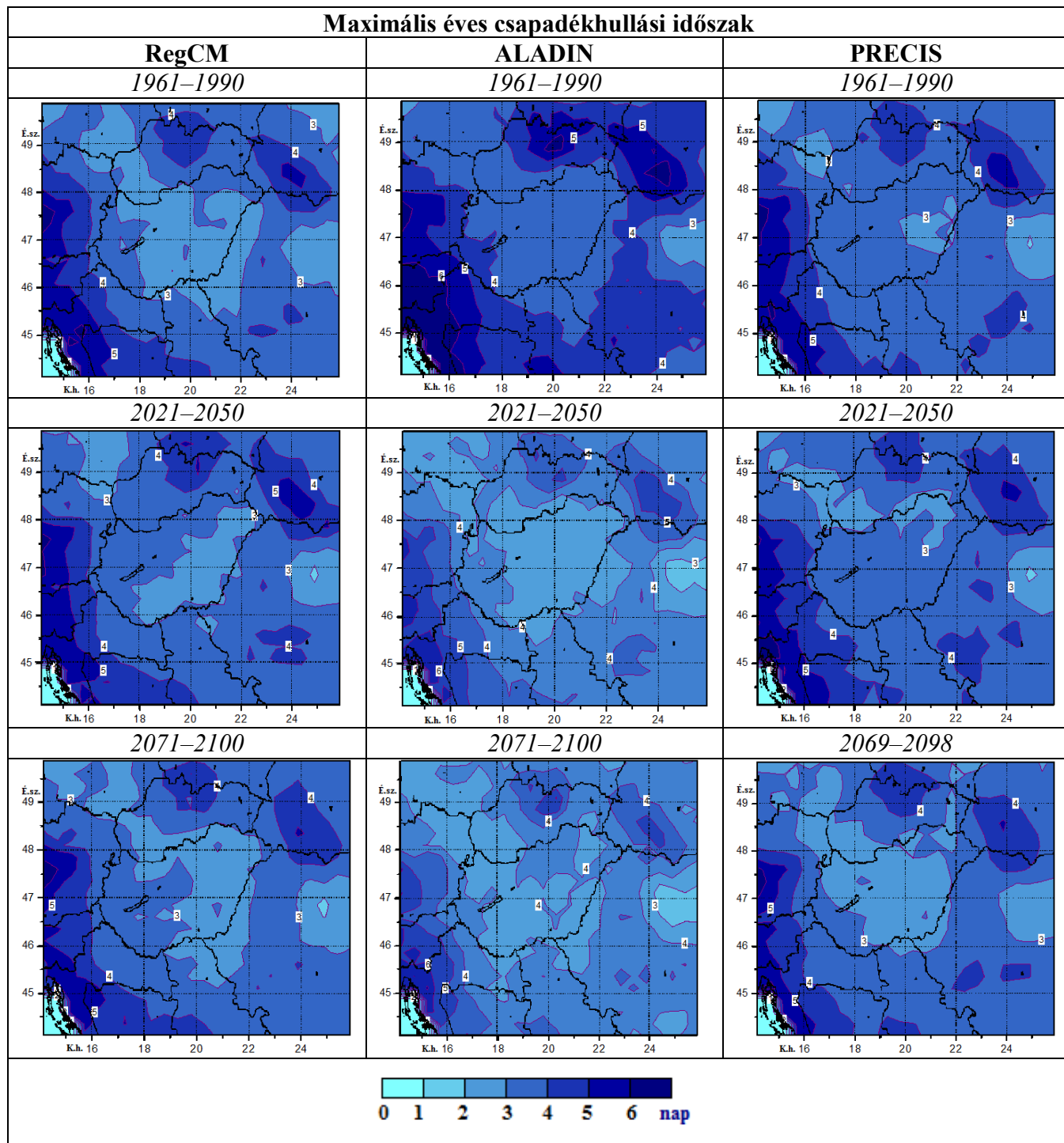
Az aszályos időszak hosszának változásában sokkal jelentősebb változást tapasztalhatunk, és a változás iránya sem egyértelmű (17. ábra). A referencia időszakban az éves maximális aszályidőszak a RegCM és PRECIS modell alapján 22–36 nap közti értéket mutat. Az ALADIN modelldatok 24–32 napos éves maximális aszályidőszakot adnak.

Rövidtávon a RegCM esetében országosan 1–3 nap csökkenés várható, kivétel a Balaton környéki borvidékek, ahol 1–2 növekedés jelentkezhethet (17. ábra). Ezzel szemben az ALADIN modell az ország nagy területére 1–4 nap növekedést, az ország középső területére viszont 1–3 nap csökkenést mutat. A legegységesebb képet a XXI. század közepére a PRECIS modell mutatja. Az ország szinte teljes területére (elsősorban azonban a keleti területeken) 1–3 nap emelkedés várható.

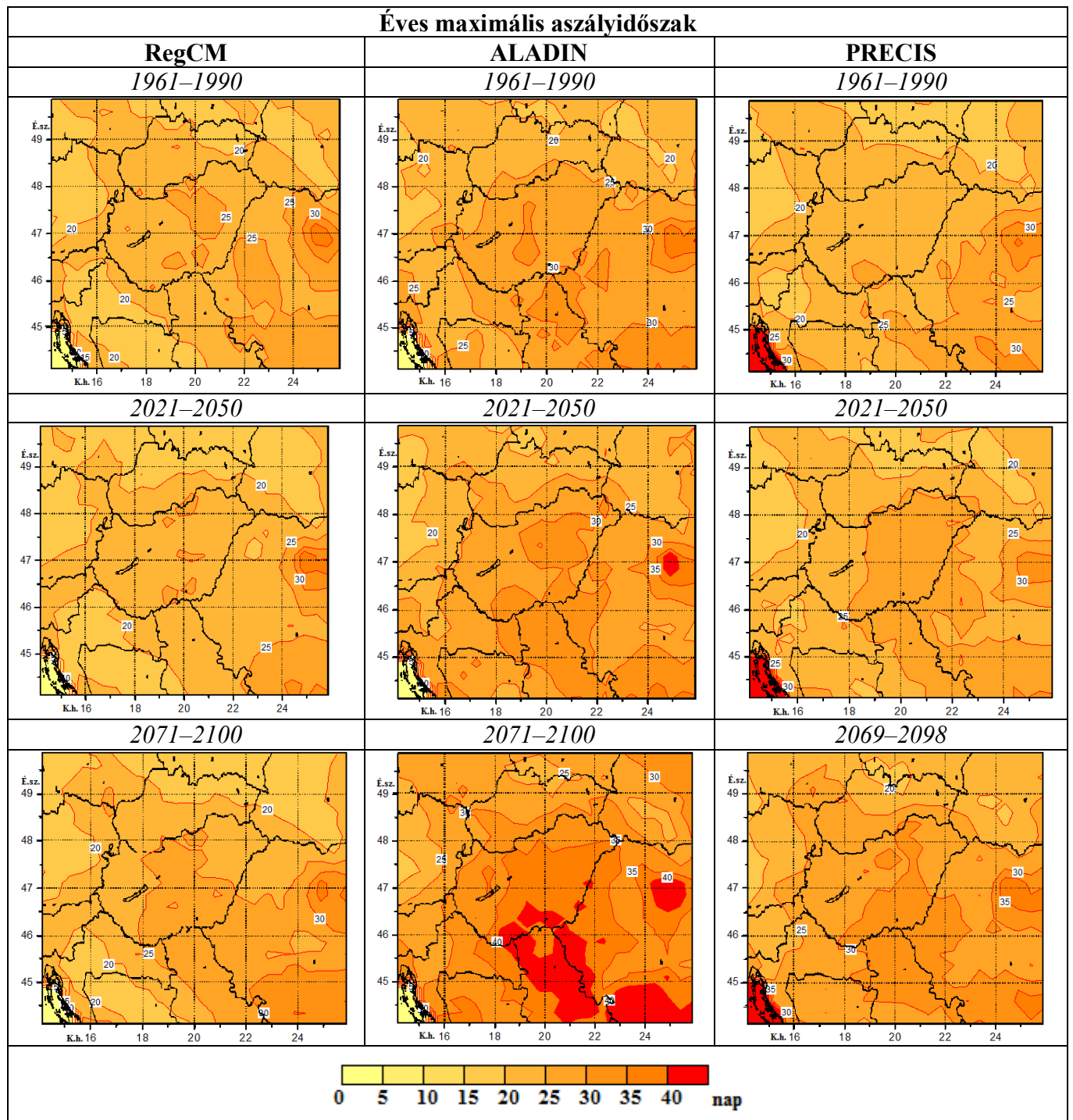
Hosszútávon a kép sokkal egységesebb (17. ábra). A RegCM esetében megmarad a keleti területek csökkenő, a nyugati területek emelkedő trendje. Az ALADIN és a PRECIS adatok viszont azt mutatják, hogy hosszútávon akár 8–10 nappal is növekedhet az éves maximális aszályidőszak hossza.



15. ábra: A vegetációs időszak alatti csapadékösszeg változása a Kárpát-medencében
(referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



16. ábra: Az éves maximális csapadékhullási időszak hosszának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)



17. ábra: Az éves maximális aszályidőszak hosszának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)

A hő- és nedvességellátottságot együttesen veszi figyelembe a bioklimatikus és a csapadék-hőviszony index, valamint a hidrotermikus koefficiens.

A bioklimatikus index számításánál adathiány miatt nem tudtuk a sugárzás jövőbeli várható változásait figyelembe venni, így a XX. század végére jellemző értékekkel számoltunk (Pécze, 1979, Ács és Mihailovic, 1982). Ilyen megkötésekkel végzett számítások eredményét a 3. táblázatban közöltük.

Bioklimatikus index ($^{\circ}\text{C}$ óra mm^{-1} nap $^{-1}$)															
	Alföld			Északi-középhegység			Dunántúli-középhegység			Dunántúli-dombvidék			Alpokalja		
	Re	AL	PR	Re	AL	PR	Re	AL	PR	Re	AL	PR	Re	AL	PR
referencia	9,9	10,4	11,7	8,0	8,6	8,9	7,8	8,6	8,6	8,8	9,3	10,0	6,2	6,9	6,8
rövidtáv	8,9	11,7	12,0	7,1	9,1	10,4	7,2	8,6	9,5	7,9	10,0	10,2	5,7	6,3	7,3
hosszútáv	10,2	13,1	13,0	8,3	10,7	12,2	7,8	10,7	10,6	8,8	11,8	10,7	5,9	7,7	8,0

3. táblázat: A bioklimatikus index értéke az egyes borrégiókban a RegCM (Re), az ALADIN (AL) és a PRECIS (PR) modell alapján (a referencia időszakban, illetve rövid- és hosszútávon)

A 3. táblázatból látható, hogy a RegCM adatok adják a legalacsonyabb, míg a PRECIS a legmagasabb értékeket. Minden érték 5 feletti, ami azt jelenti, hogy a Magyarországi borrégiók termőhelyeinek klimatikus adottságai most és a közeljövőben is alkalmasak lesznek szőlőtermesztésre. A három modell eredményei azonban nem egyeznek meg.

A RegCM rövidtávon a termőhelyek minőségének romlását mutatja. Hosszútávon az Alföldi és az Északi-középhegységi borrégió klimatikus viszonyai várhatóan javulni fognak. A dunántúli területek minősége azonban nem fog javulni, sőt az Alpokaljai régió esetében némi romlás várható.

Az ALADIN modell rövidtávon a termőhelyek javulását mutatják, kivéve a Dunántúli-középhegységet, ahol stagnálás, és az Alpokalját, ahol romlás várható. Hosszútávon minden borrégióban a klimatikus adottságok javulása várható.

A PRECIS modell rövid- és hosszútávra a hazai borrégiók termőhelyi viszonyainak javulását mutatja.

A három modellel végzett vizsgálataink kimutatták (4. táblázat), hogy a hidrotermikus koefficiens, mely a szőlőskertek nedvesség- és hőellátottságát jellemzi, sem most, sem a közeli vagy távoli jövőben nem éri el a kritikus 0,5-ös értéket, ami azt jelenti, hogy a későbbiekben is kielégítőek lesznek a klimatikus adottságok a hazai borrégiókban a

szőlőtermesztésre. Azt hogy javulnak vagy romlanak a termőhelyi adottságok az határozza meg, hogy mennyivel tér el egytől a hidrotermikus koeficiens értéke.

A referencia időszakban az Alföldi régiót mindhárom modell alapján hőtöbblet, míg a Dunántúli-középhegység és az Alpokalja régiót csapadéktöbblet jellemzett. Az Északi-középhegységre és a Dunántúli-dombvidékre az ALADIN modell csapadéktöbbletet, míg a PRECIS hőtöbbletet mutatott. A RegCM adatok az Északi-középhegység viszonyait optimálisnak mutatták, míg a Dunántúli-dombvidék körülményeit hőtöbblettel jellemezték.

Rövidtávon a változások nem egyértelműek. A RegCM adatok a régiók klimatikus viszonyainak romlását mutatják, kivéve a Dunántúli-dombvidéket, ahol javulás várható. Az ALADIN modell az alföldi térségben romlást, a Dunántúli-dombvidéken stagnállást, míg a többi régióban javulást mutat. Érdekes, hogy bár a Dunántúli-dombvidék stagnál, rövidtávon már nem nedvességtöbblet lesz jellemző, mint a referencia időszakban, hanem hőtöbblet. A PRECIS modell az Alpokalján javulást, a többi területen termesztési feltételek romlását mutatja.

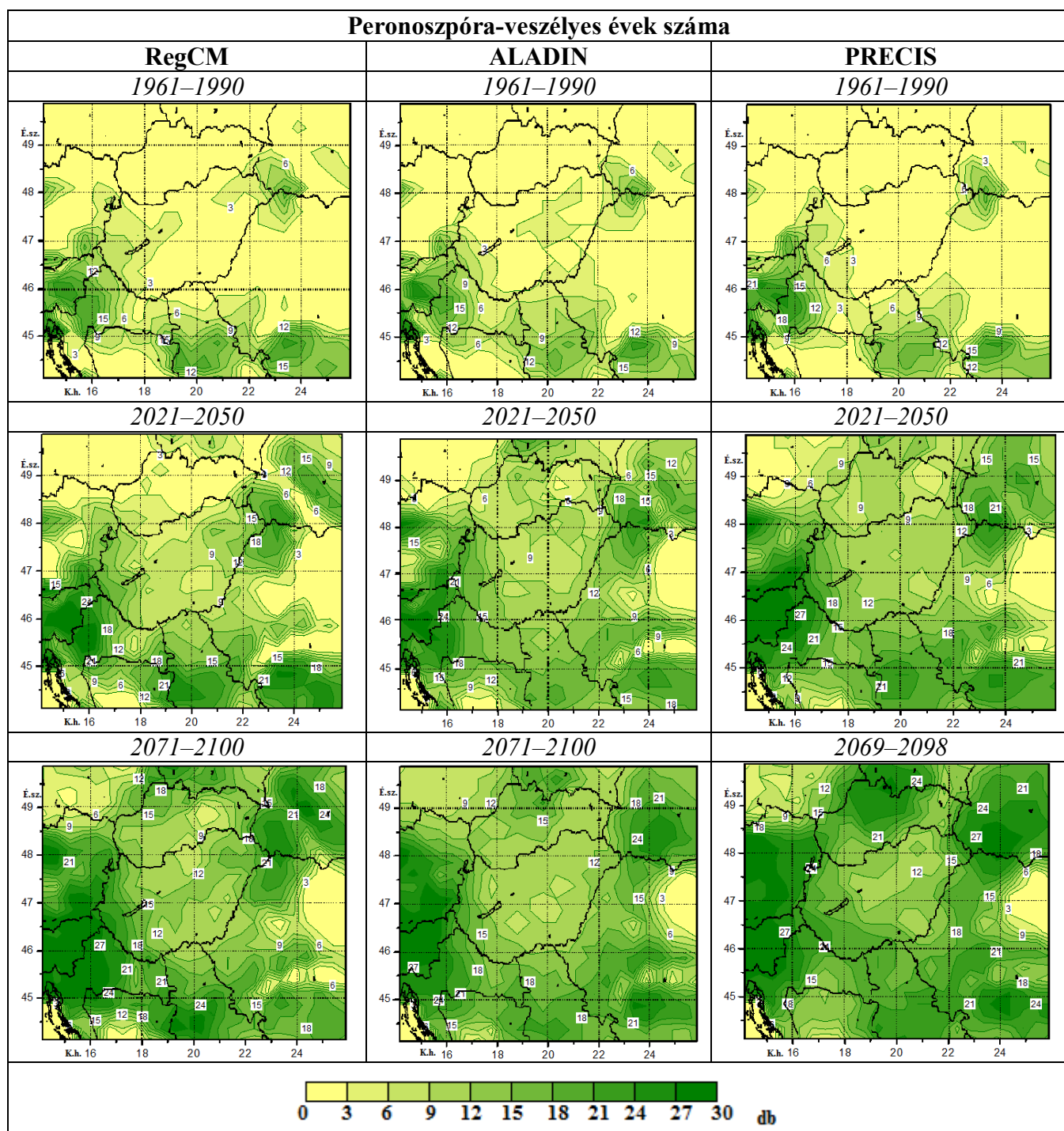
Hosszútávon mindhárom modell egységes képet mutat, mely szerint a referencia időszakhoz képest az Alpokalja régióban javulást, a többi borrégióban romlást mutat.

Hidrotermikus koeficiens ($\text{mm}^\circ\text{C}^{-1}$)															
	Alföld			Északi-középhegység			Dunántúli-középhegység			Dunántúli-dombvidék			Alpokalja		
	Re	AL	PR	Re	AL	PR	Re	AL	PR	Re	AL	PR	Re	AL	PR
referencia	0,85	0,94	0,84	1,00	1,07	0,97	1,05	1,13	1,03	0,96	1,06	0,97	1,28	1,34	1,20
rövidtáv	0,89	0,82	0,71	1,06	0,96	0,74	1,08	1,05	0,86	1,00	0,94	0,83	1,30	1,32	1,02
hosszútáv	0,74	0,70	0,60	0,87	0,78	0,59	0,93	0,82	0,70	0,86	0,78	0,71	1,18	1,02	0,84

4. táblázat: A hidrotermikus koeficiens értéke az egyes borrégiókban a RegCM (Re), az ALADIN (AL) és a PRECIS (PR) modell alapján (a referencia időszakban, illetve rövid- és hosszútávon)

A szőlőskerteket túlzott nedvességtartalom esetén gombás fertőzések kialakulása veszélyezteti. A peronoszpóra kialakulásának valószínűségét a csapadék-hőviszony indexszel jellemezhetjük. A referencia időszakban szinte nem kellett tartani peronoszpóra-vésztől, bár a hegvidéki területeken körülbelül 10 évente megjelent ez a gombás fertőzés (18. ábra).

Rövid- és hosszútávon egyaránt a peronoszpóra gyakoribb megjelenése várható. Rövidtávon 2–4 évente, míg hosszútávon átlagosan minden második évben számítani lehet ilyen fertőzésekre. Mindegyik modell az Alpokalja régiót ítélte e leginkább veszélyeztetettnek, ám fontos kiemelnünk, hogy a modellek nem veszik figyelembe a borvidékek mikroklimáját, ezért ezek a becslések csak egy általános jellemzésnek tekinthető.



18. ábra: A peronoszpóra-vészes évek számának változása a Kárpát-medencében (referencia időszak; rövid- és hosszútáv)

5. Összegzés

Vizsgálataink kimutatták, hogy hőellátottság szempontjából a XXI. század folyamán előtérbe kerülhetnek a vörösbort adó, illetve a késői érésű fajták. Erre utal az effektív és aktív hőösszeg, valamint a Huglin-féle heliotermikus index növekvő tendenciája. Emellett várhatóan növekedni fog a hazai borvidékeken a klimatikus szempontból lehetséges vegetációs időszak hossza.

A melegedés miatt ritkábbak lesznek a nyugalmi időszak alatti fagykárók, ám ezzel párhuzamosan növekedni fog a nyári 35 °C feletti maximum hőmérsékletű napok száma, amely súlyos károkat okozhat. A hőstressz okozta károk megelőzése és mérséklése céljából egyre nagyobb gondot kell fordítani a megfelelő zöldmunkákra (például a helyes metszésre).

Várhatóan drasztikusan megnövekszik a peronoszpóra-veszélyes évek száma, ezért nagy figyelmet kell fordítani a megelőzésre (például megfelelő összetételű permetszerek alkalmazásával).

A vegetációs időszaki csapadék mennyiségében nem várható jelentősebb változás, ám éves szinten a XXI. század végére várhatóan jelentősen megnő az 1 mm-nél kevesebb napi csapadékú időszakok hossza. Ha ez az időszak a szőlő vegetációs periódusának második felében következik be, jelentős termés kiesés várható.

További terveink között szerepel a tavaszi fagyok gyakoriságának vizsgálata. Emellett fontos lenne figyelembe venni az egyes borvidékekre jellemző fajták környezeti (elsősorban klimatikus) igényeit is vizsgálataink során.

Köszönetnyilvánítás

A modelladatokért és a szakmai tanácsokért köszönet illeti Pongrácz Ritát, Bartholy Juditot és Pieczka Ildikót. Köszönettel tartozok Mészáros Róbertnek a türelmes iránymutató közös munkáért. Az ábrázolási problémák leküzdésében Lagzi László István segítette munkámat.

A PRECIS regionális klíma-szimuláció futtatása az OTKA K-78125 számú pályázata keretében zajlott, a hibakorrigált outputok előállítása Pieczka Ildikónak köszönhető.

A RegCM és az ALADIN regionális klímamodell-szimulációt az ENSEMBLES projekt (505539) keretében állították elő, melyet az EU FP6 integrált program támogatott. Az E-OBS adatbázist az ENSEMBLES és az ECA&D projekt szolgáltatta. A kutatásokat az OTKA K81933 és K81975 kutatási pályázatok támogatták. A projekt az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg (TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR).

Irodalomjegyzék

- Ács, F., Mihailovic, T.D., 1982: A napfénytartam évi menetének harmonikus analízise. *Időjárás*, 86. 6., pp. 338–342.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., 2007: Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change*, 57. pp. 83–95.
- Botos, E. P., Hajdú, E., 2004: A valószínűsíthető klímaváltozás hatásai a szőlő- és bortermelésre. *"AGRO-21" Füzetek, 2004. 34.* pp. 61–73.
- Constantinescu Gh. et. al, 1964: Détermination de la valeur de l'indice bioclimatique de la vigne pour les principaux vignobles de R. P. Roumaine, *Revue Roumaine de Biologie, Série de Botanique*, 9, 1.
- Davitaja, F., F. (Давитая, Ф., Ф.), 1959: Климатические показатели сырьевой базы виноградо-винодельческой промышленности. *Труды ВНИИВИВ „Магарач”*, 6(1) pp. 12–32.
- Dunkel, Z., Kozma, F., 1981: A szőlő téli kritikus hőmérsékleti értékeinek területi eloszlása és gyakorisága Magyarországon. *Légkör* 26. 2., pp. 13–15.
- Dunkel, Z., Kozma F., Major Gy., 1981: Szőlőültetvényeink hőmérséklet- és sugárzásellátottsága a vegetációs időszakban. *Időjárás*, 85, 4., pp. 226–234.
- Formayer, H., Haas, P., 2009: Correction of RegCM3 model output data using a rank matching approach applied on various meteorological parameters. Deliverable D3.2 RCM output localization methods (BOKU-contribution of the FP6 CECILIA project)
- Hajdú, E., 2003: Magyar szőlőfajták, *Mezőgazda Kiadó*, pp. 11–15.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M., 2008: A European daily highresolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006., *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201, pp. 12.
- Horváth, Cs., 2008: A szőlő és a klímaváltozás. *Kertészet és szőlészet 2008. 57. 50.*, pp. 12–15.
- Huglin, P., 1978: Nouveau mode d'évaluation des possibilites héliothermiques d'un milieo viticole. *Proceedings of the Symposium International sur l'ecologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, Contanca*, 89–98.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B.,

- Tignor, M., Miller, H.L., eds.), *Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA*. pp. 1–996.
- Keller, M., 2010: The science of grapevines: anatomy and physiology. Academic Press, 2010., pp. 15., 61–62.
- Kissné Szabó, F., Marossi, R., 2006: Gyümölcs- és szőlőfajták. *Magyar Kertészeti Árudák Egyesülete*, 2006. pp. 98–121.
- Kozma, P., 1991: A szőlő és termesztése I. *Akadémiai Kiadó*, pp. 13–19., 213–272.
- van der Linden, P., Mitchell, J.F.B., 2009: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. pp. 1–164.
- Mesterházy, I., 2011: A móri borvidék éghajlati adottságainak elemzése, (Témavezető: Dr. Mészáros Róbert, ELTE Meteorológiai Tanszék), *Szakdolgozat: Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék* pp. 5–19.
- Mesterházy, I., 2012: A szőlőtermesztés éghajlati adottságainak várható alakulása a Kárpát-medencében. XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia, Veszprém 2012.04.06–07. pp. 19–28.
- Moisselin, J.M., Schneider, M., Canellas, C., Mestre, O. (2002): Les changements climatiques en France au XX siècle: étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations. *La Météorologie*. (38): pp. 45-56.
- Mikó, P., 2009: A zöldtrágyázás talajállapotra és utóveteményre gyakorolt hatásainak vizsgálata, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő pp. 55–56.
- Nakicenovic, N., Swart, R.J., 2000: Emissions Scenarios 2000 – Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Oláh, L., 1979: Szőlészek zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, pp. 38–42.
- Péczy, Gy., 1979: Éghajlattan. *Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt.*, pp. 277–284.
- Pieczka, I., Pongrácz, R., Bartholy, J., Kis, A., Miklós, E., 2011: A szélsőségek várható alakulása a Kárpát-medence térségében az ENSEMBLES projekt eredményei alapján. In: 36. Meteorológiai Tudományos Napok - Változó éghajlat és következményei a Kárpát-medencében. (Szerk.: Lakatos M.) Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. pp. 77–87.

- Pieczka I., 2012: A Kárpát-medence térségére vonatkozó éghajlati scénáriók elemzése a PRECIS finom felbontású regionális klímamodell felhasználásával. *PhD értekezés. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest.* pp. 1–95.
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Miklós, E., 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9, pp. 387–398.
- Stock, M., Badeck, F., Gerstengarbe, F.-W., Kartschall, T., Werner, P. C., 2003: Weinbau und Klima—eine Beziehung wechselseitiger Variabilität, *Terra Nostra 2003/6: 6. Deutsche Klimatagung*, pp. 422–426.
- Stock, M., Badeck, F., Gerstengarbe, F.-W., Hoppmann, D., Kartschall, T., Österle, H., Wrener, P.C., Wodinski, M., 2007: Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland (Klima 2050). *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.*, pp. 1–119.
- Szeljanyinov, G., T., 1928: On agricultural climate valuation. *Proceedings of Agricultural Meteorology*, 20, 165–177.
- Szenteleki, K., Gádl, M., Ladányi, M., Mézes, Z., Szabó, Z., Zanathy, G., Bisztray, Gy. D., 2011: A klímaváltozás hatásai a Közép-magyarországi régió szőlő-, meggy- és cseresznyetermesztésére és a termésbiztonságra. *Agroinformatikai tanulmányok III.* (Szerk.: Rózsa, T., Szilágyi, R.), pp. 113–150.
- Tonietto, J., Carbonneau, A., 2004: A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide, *Agricultural and Meteorology*, 124 (2004), pp. 81–97.
- Varga, I., 2005: Klímaváltozás okozta kihívások és lehetőségek. *Kertészet és szőlészet 2005/22*, pp. 10–11.
- Varga, Z., Varga-Haszonits, Z., Enzsőlné Gelencsér, E., Milics, G., 2006: Rövidebb tenészedő és korábbi érés. *Kertészet és Szőlészet 2006/48*, pp. 14.
- Varga, Z., Varga-Haszonits, Z., Enzsőlné Gelencsér, E., Milics, G., 2007: Az éghajlati változékonyság hatása a szőlőtermesztésre. *Kertgazdaság, 2007. 39. (2)*, pp. 27–34.
- Varga-Haszonits, Z., Varga, Z., 2004: Az éghajlati változékonyság és a természetes periódusok.”Agro–21” Füzetek Agroökoszisztámák 2004. 37. pp. 23–32.
- Varga-Haszonits, Z., Varga, Z., Lantos Zsuzsanna, Enzsőlné Gelencsér, E., 2006: Az 1951–2000 közötti időszak hőmérsékleti maximum értékeinek agroklimatológiai elemzése.”Agro–21” Füzetek Klímaváltozás–Hatások–Változások 2006. 47. pp. 55–69.

- Wilson, S., Hassell, D., Hein, D., Jones, R., Taylor, R., 2007: Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.5.1. UK Met Office Hadley Centre, Exeter. pp. 1–131.*
- Vingarzan R., 2004: A review of surface ozone background levels and trends. Atmospheric Environment 38, 2004., pp. 3431–3442.*
- Zanathy, G., 2008: Gondolatok a klímaváltozás szőlőtermesztésre gyakorolt hatásáról, Agronapló 2008. 12. 2., pp. 92–94.*

Melléklet

I. A dolgozat rövidlete angolul

Title: The expected changes of climatic conditions for viticulture in the 21th century in Hungary

Abstract

Wine grape production is a major segment of the Hungarian agriculture. The life cycle of grape is influenced by both climatic, edaphic, and biotic factors. This study investigated the effects of changes in the climatic factors.

To characterize the grape production, several different indices are widely used by researchers. Some of these indices show whether the climatic conditions at a given geographical region is suitable for grape production, and suggest grape varieties that should be planted there. The suitability of a region for grape production can be given in terms of the hydrothermal coefficient and of Constantinescu's bioclimatic index, while the variety-specific characteristics are usually described by Huglin's heliothermal index, and the effective and active degree days. Choosing the grape variety that is most suitable for the climatic factors in the vineyard can optimize grape production.

In this study, I have calculated the spacial distributions of multiple indices affecting wine production in Hungary, using the bias corrected outputs of three different regional climate models: RegCM, ALADIN, and PRECIS. The model outputs were the following: daily minimum, maximum and mean temperature, and daily precipitation amount. I have reconstructed the historical change of these indices from 1951, and predicted their changes in the future until 2100. The effects of some extreme temperature and precipitation values were also analysed.

The results show that white wine grapes will probably lose their dominance over red wine grapes in Hungary in the next few decades. At the same time, ripening of late ripening and very late ripening species may become more certain. In the future, more attention should be paid to preventive care against fungal infections, as the risk of these diseases could rise by the end of the century. Extreme high summer temperatures should become more frequent, time periods without rainfall should become longer, while the risk of frost damage should decrease. These predicted changes of extreme events could also influence the grape production.

II. A diplomamunka tématerve

Diplomamunka címe: A magyarországi szőlőtermesztés éghajlati adottságainak várható változása

Témavezetők: Dr. Mészáros Róbert, Dr. Pongrácz Rita

Tématerv:

A dolgozatban először hazai és nemzetközi szakirodalmak alapján bemutatom az éghajlat hatását a szőlőnövény életére.

Összefoglalom a témában készült eddigi munkákat, azok fontosabb megállapításait.

Ezt követően bemutatom:

1. a vizsgált területet: Magyarország 22 borvidékét (5 borrégióját) és az ezekre jellemző szőlőfajtákat (XX. század végi adatok alapján) és azok klimatikus igényeit,
2. a felhasznált regionális klímamodelleket: RegCM, ALADIN, PRECIS,
3. a vizsgált indexeket: effektív és aktív hőösszeg, Huglin-féle heliotermikus index, hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak hossza, vegetációs időszak csapadékösszege, Constantinescu-féle bioklimatikus index, csapadék-hőviszony index, hidrotermikus koefficiens, téli nyugalmi időszakban $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál, illetve $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérsékletű napok gyakorisága, tavaszi fagyok gyakorisága, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál magasabb hőmérsékletű napok gyakorisága a vegetációs időszakban, az egymást követő 1 mm-nél kevesebb, illetve 5 mm-nél nagyobb csapadékú napok gyakorisága.

A számításokat három időszakra végzem el: 1961–1990, 2021–2050, 2071–2100. Az értékek eloszlását térképesen ábrázolva mutatom be. Kiszámítom az egyes borvidékekre, illetve borrégiókra vonatkozó átlagértékeket is.

Az eredmények kiértékelésénél különbséget teszek a vegetációs periódus hosszának két szokásos definíciója között (naptári és hőmérsékleti alapú meghatározás). Figyelembe veszem továbbá a borvidékekre jellemző szőlőfajták klimatikus igényeit is.

Dolgozatomat egy kiválasztott borvidék részletes bemutatásával és erre a borvidékre vonatkozó számításaim értékelésével zárom.