



**A KLÍMAVÁLTOZÁSRA ADOTT EGYES
NÖVÉNYI VÁLASZADÁSOK
MATEMATIKAI-STATISZTIKAI MODELLEZÉSE**

Doktori (PhD) értekezés

Mesterházy Ildikó

Budapest

2022

A doktori iskola

megnevezése: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Tájépítészeti és Tájökológiai Doktori Iskola

tudományága: agrár-műszaki

vezetője: Dr. Bozó László
egyetemi tanár, DSc, MHAS
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Környezettudományi Intézet
Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

Témavezetők: Dr. Bozó László
egyetemi tanár, DSc, MHAS
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Környezettudományi Intézet
Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

Dr. Ladányi Márta
egyetemi docens, PhD habil.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Matematika és Természettudományi Alapok Intézet
Alkalmazott Statisztika Tanszék

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

A dolgozatban használt rövidítések jegyzéke	5
Előszó.....	7
I. rész: Vegetációsidőszak-számítási módszerek és indikátoranalízis kidolgozása és alkalmazása az eurázsiai termesztett szőlő növényre (<i>Vitis vinifera</i> L. syn: <i>Vitis vinifera</i> L. ssp. <i>sativa</i>) meteorológiai klímamodellek alapján	8
I.1. Bevezetés és célkitűzések	8
I.2. Szakirodalmi áttekintés	10
I.2.1. A szőlő termesztési területe és klimatikus igényei	10
I.2.2. Globális és regionális klímamodellek	15
I.2.3. A szőlőtermesztésben tapasztalt és várható változások	17
I.3. Anyag és módszer	22
I.3.1. A használt regionális klímamodellek és időszakok	22
I.3.2. Módszerek a vegetációs időszak hosszának számításához	23
I.3.3. A vizsgált indikátorok, valamint extrém hőmérsékleti és csapadékindexek.....	27
I.3.4. Statisztikai elemzés.....	32
I.4. Eredmények	36
I.4.1. A vegetációs időszak hossza, kezdete és vége.....	36
I.4.2. Klimatikus indikátorok, extrém hőmérsékleti és csapadékindexek	41
I.4.2.1. A módosított Winkler-index és a módosított Huglin-féle heliotermikus index..	41
I.4.2.2. A módosított hidrotermikus koefficiens	42
I.4.2.3. Csapadékösszeg	43
I.4.2.4. Az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos és száraz időszak hossza	45
I.4.2.5. Azon évek száma, amikor extrém magas hőmérsékletű nap fordult elő.....	46
I.4.2.6. Extrém alacsony hőmérsékletű napok száma	47
I.5. Eredmények értékelése és javaslatok.....	50
II. rész: A Chuine-féle Egységes Modell alkalmazása magyarországi kajszi (<i>Prunus armeniaca</i> L.) adatsorokra (1994–2020).....	53
II.1. Bevezetés és célkitűzések.....	53
II.2. Szakirodalmi áttekintés	54
II.2.1. A kajszi termesztési területe és éghajlati igényei	54
II.2.2. A kajszi virágrügyeinek fejlődése	56
II.2.3. A kajszi virágrügyeinek nyugalmi időszaka.....	58
II.2.4. Fenológiai modellek	60
II.3. Anyag és módszer	66
II.3.1. A felhasznált hőmérsékleti és fenológiai adatok	66
II.3.2. A használt modell	67

II.3.3. Paraméterek becslése a Szimulált Hűtés módszerével	69
II.4. Eredmények.....	71
II.5. Eredmények értékelése és javaslatok	81
Az új eredmények összefoglalása (tézisek).....	85
Összefoglalás	87
Summary	90
Köszönetnyilvánítás	93
Felhasznált irodalom	94
Függelék.....	108

A dolgozatban használt rövidítések jegyzéke

I. rész: Vegetációsidőszak-számítási módszerek és indikátoranalízis kidolgozása és alkalmazása az eurázsiai termesztett szőlő növényre (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) meteorológiai klímamodellek alapján

5mid	ötnapos kritériumteljesülés alapú vegetációsidőszak-számítási módszer
α	szignifikancia szint, az elsőfajú hiba valószínűsége
$AHI_{GS}^g(k)$	módosított Huglin-féle heliotermikus index k évben g rácsponton
ANOVA	varianciaanalízis
AOGCM	Légkör-Óceán Általános Cirkulációs Modell
$AWI_{GS}^g(k)$	módosított Winkler-index k évben g rácsponton
d	az Huglin-féle heliotermikus index földrajzi szélességi koefficiense
$DN_{B17m_D}^g(k)$	azon napok száma, amikor a napi minimumhőmérséklet -17 °C alatti a nyugalmi időszakban k évben g rácsponton
$DN_{B1m_GSf}^g(k)$	azon napok száma, amikor a napi minimumhőmérséklet -1 °C alatti a vegetációs időszak első felében k évben g rácsponton
$DN_{B21m_D}^g(k)$	azon napok száma, amikor a napi minimumhőmérséklet -21 °C alatti a nyugalmi időszakban k évben g rácsponton
F_1	2021–2050 közötti időszak
$F_{2,P}$	2069–2098 közötti időszak
F_2	2071–2100 közötti időszak
F_{krit}	a próbastatisztika kritikus értéke
$F_{szám}$	a próbastatisztika számított értéke
g	adott rácspont
G_B	a vegetációs időszak kezdete
G_E	a vegetációs időszak vége
G_L	a vegetációs időszak hossza
GS	vegetációs időszak
HNT	Hegyközségek Nemzeti Tanácsa
$HTC_{GS}^g(k)$	módosított hidrotermikus koefficiens k évben g rácsponton
int	interpolációs vegetációsidőszak-számítási módszer
IPCC	Éghajlatváltozási Kormányközi Testület
k	adott év
KSH	Központi Statisztikai Hivatal
$LDP_{B1_GS}^g(k)$	a leghosszabb egybefüggő száraz időszak k évben g rácsponton, amikor a napi csapadékösszeg 1 mm alatti
$LRP_{A5_GS}^g(k)$	a leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak k évben g rácsponton, amikor a napi csapadékösszeg 5 mm feletti
M	adott vegetációsidőszak-számítási módszer
MA	mozgóátlagolás
OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
p	szignifikancia
$P_{GS}^g(k)$	vegetációs időszak csapadékösszege k évben g rácsponton
SRES	Kibocsátási Forгатókönyvek Tematikus Jelentése
SZD_α	szignifikáns differencia
R	1961–1990 közötti referenciaidőszak
RCM	Regionális Klímamodell
RCP	Koncentrációváltozás Reprezentatív Pályái
ref	'referenciamódszer' a vegetációs időszak meghatározására
T	napi átlaghőmérséklet
T_{max}	napi maximumhőmérséklet
$TempSum_{GS}^g$	a vegetációs időszak napi átlaghőmérsékletek összege g rácsponton
$YN_{A35_GS}^g$	azon évek száma, amely során előfordult 35 °C feletti napi maximumhőmérséklet g rácsponton

II. rész: A Chuine-féle Egységes Modell alkalmazása magyarországi kajszi (*Prunus armeniaca* L.) adatsorokra (1994–2020)

a_c	az Egységes Modell egyik mélynyugalmi hidegakkumuláció paramétere
b_c	az Egységes Modell egyik mélynyugalmi hidegakkumuláció paramétere
b_f	az Egységes Modell egyik kényszernyugalmi hőgyűjtési paramétere
c_c	az Egységes Modell egyik mélynyugalmi hidegakkumuláció paramétere
c_f	az Egységes Modell egyik kényszernyugalmi hőgyűjtési paramétere
C_{crit}	a mélynyugalom megszűnéséhez szükséges hidegigény
C_{tot}	a teljes mélynyugalmi hidegösszeg
cb	Ceglédi biborkajszi
$Diff$	a Szimulált Hűtés a régi és az új illeszkedés jóságának mértéke közti különbség abszolútértéke
F_{crit}	a kényszernyugalom megszűnéséhez szükséges hőigény
F_{tot}	a teljes kényszernyugalmi hőösszeg
gm	Gönci magyar kajszi
k_f	az Egységes Modell egyik kényszernyugalmi hőgyűjtési paramétere
p^*	a Szimulált Hűtés lépésének elfogadási valószínűsége, ha az illeszkedés jóságának mértéke nagyobb, mint korábban
RMSE	átlagos négyzetes hiba gyöke
ro	Rózsakajszi C.1406
σ	korrigált tapasztalati szórás
SA	Szimulált Hűtés módszere
t_0	a mélynyugalmi hidegakkumuláció kezdete
t_1	a kényszernyugalmi hőgyűjtés kezdete
t_2	a kényszernyugalmi hőgyűjtés vége
t_c	a mélynyugalmi hidegakkumuláció vége
T^*	a Szimulált Hűtés hőmérsékletparamétere
T_{crit}	a Szimulált Hűtés hőmérsékletparaméterének kritikus értéke
T_{start}	a Szimulált Hűtés hőmérsékletparaméterének kezdőértéke
T_{step}	a Szimulált Hűtés hőmérsékletparaméterének csökkentési lépéshossza
UM	Egységes Modell
w	az Egységes Modell egyik kényszernyugalmi hőgyűjtési paramétere

Előszó

A mindenkori éghajlati és időjárási viszonyok jelentős hatással vannak a mezőgazdasági termelés mennyiségére és minőségére egyaránt. Ezért az elmúlt évtizedek tapasztalatainak szakszerű elemzése és a jövőbeli lehetséges változások megismerése kiemelkedő jelentőségű. Magyarországon több tízezer hektáron folyik minőségi gyümölcs- és szőlőtermesztés. Ennek két jelentős fajtát (a szőlőt – *Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa* és a kajszit – *Prunus armeniaca* L.) választottam kutatási témámul. Magyarország a szőlő és a kajszit termesztettségének északi határa, ezért az éghajlat bármilyen változása jelentős hatással lehet ezen növények életére. Munkám során kiemelkedő szerepet kapott a vegetációs időszak, illetve a virágzás bekövetkezési időpontjának hőmérsékleti adatok alapján történő becslése.

Dolgozatom első részében több hőmérsékletalapú vegetációsidőszak-számítási módszert megvizsgáltam, melyek közül a két legjobbnak ítélt modell eredményeit a későbbi számításaim során felhasználtam. Három regionális klímamodell (RegCM, ALADIN és PRECIS) percentilis-alapú hibakorrekcióval előállított adatait alapul véve kiszámítottam négy szőlőtermesztési szempontból fontos indikátor és hat csapadék és hőmérsékleti extrémítás rácspontonkénti átlagos értékeit Magyarországra az 1951–2100 időszak kiválasztott időszakokra. Az egyes időszakok átlagértékei között statisztikai összehasonlító vizsgálatokat végeztem.

Dolgozatom második felében három kajszifajta ('Ceglédi bíborkajszit', 'Gönci magyar kajszit' és 'Rózsakajszit C.1406') 1994–2020 közötti virágzási adatsorára adaptáltam az ültetvényhez közeli meteorológiai mérőállomás napi hőmérsékleti adatait felhasználva a Chuine-féle Egységes Modellt (Chuine, 2000). A modell paramétereinek becslésére a Szimulált Hűtés módszerét (Press, 2007; Weise, 2009) használtam.

I. rész: Vegetációsidőszak-számítási módszerek és indikátoranalízis kidolgozása és alkalmazása az eurázsiai termesztett szőlő növényre (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) meteorológiai klímamodellek alapján

I.1. Bevezetés és célkitűzések

Magyarországon a szőlőtermesztést a kedvező klimatikus körülmények teszik lehetővé. Egyes éghajlati tényezők azonban kockázatot jelenthetnek a termés mennyiségére és minőségére, továbbá a fajtaválasztást is befolyásolhatják. A szőlőtermesztő vidékek jellemzésére a gyakorlatban számos klimatikus indikátort használnak (például az Huglin-féle heliotermikus indexet vagy a hidrotermikus koefficiens). Ezen indikátorok egy részét hagyományosan a vegetációs időszakra (indikátortól függően április 1. – szeptember 30. vagy április 1. – október 31.) számolják ki. Kutatásomban azt a célt tűztem ki, hogy a klimatikus mérőszámokat nem egy rögzített időszakra, hanem éves szinten a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszakra (Varga-Haszonits és Varga, 1999; Huzsvai et al., 2004; Čimo et al., 2020) számolom ki. Döntésemet az indokolta, hogy a vegetációs időszak kezdete és vége nagymértékben függ az adott év meteorológiai körülményeitől (Keller, 2010). Emellett a klímakutatók előrejelzései szerint a XXI. század során a vegetációs időszak napi középhőmérséklet jelentős emelkedésére lehet számítani (IPCC, 2013), ami miatt a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak jelentős hosszabbodása várható. Ez a szőlőtermesztésre, ezen belül is döntően a fajtaválasztásra jelentős befolyással lehet (Jones, 2006).

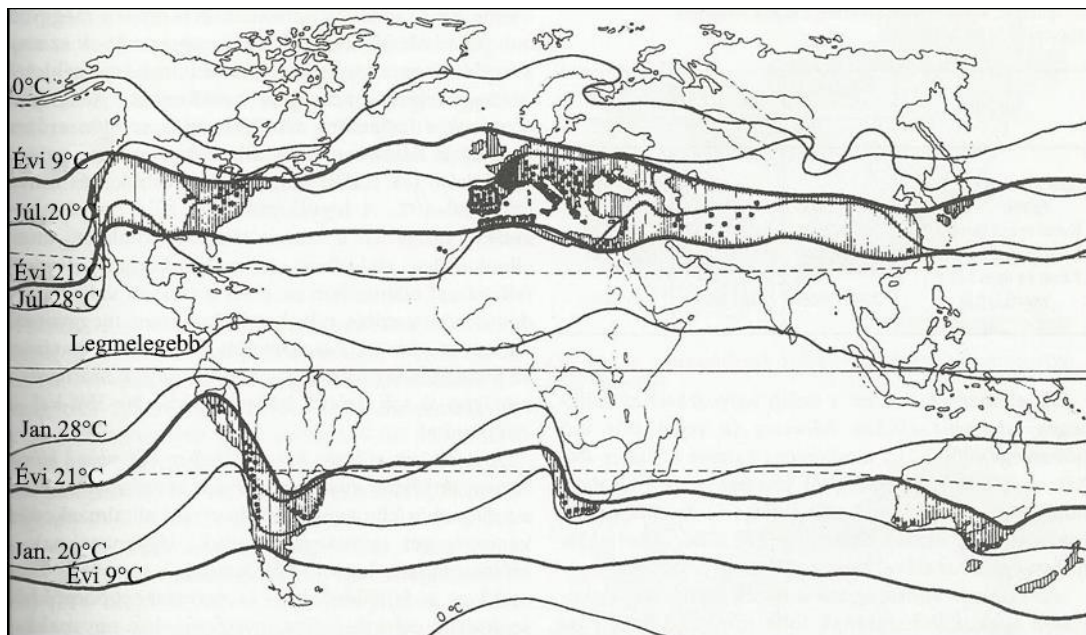
Korábbi tanulmányaimban (Mesterházy, 2013; Mesterházy et al., 2014) már elemeztem a szőlőtermesztést meghatározó klimatikus indikátorok időbeli és térbeli változását egy módosított vegetációsidőszak-számítási módszer alapján Magyarországra a XXI. századra. Jelen dolgozatban kiegészítettem akkori eredményeimet a modell finomításával (Mesterházy et al., 2018). Kiválasztottam a vegetációs időszak becslésének azt a két módszerét, melyek az átlagos négyzetes hiba gyöke alapján a legjobban közelítették az általam használt referencia adatsort. Ennek a két módszernek az eredményeit is felhasználva kiszámítottam négy szőlőtermesztési szempontból fontos klimatikus indikátort és hat extrém hőmérsékleti és csapadékindexet. Vizsgáltam ezen

mérőszámok térbeli és időbeli változását az 1951–2100 modellezett időszakban. Munkám során Magyarországra koncentráltam és három regionális klímamodell (RegCM, ALADIN, és PRECIS) percentilis-alapú hibakorrekciónal előállított adatsorát (napi minimum-, maximum- és átlaghőmérsékletet, valamint napi csapadékösszeget) használtam.

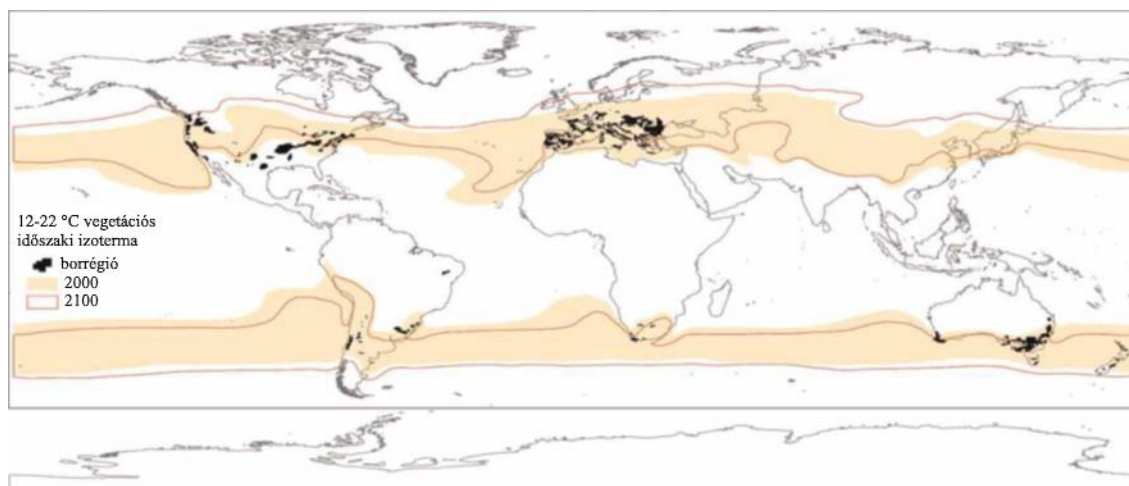
I.2. Szakirodalmi áttekintés

I.2.1. A szőlő termesztési területe és klimatikus igényei

A szőlő világszinten az egyik leghosszabb ideje termesztett növény (Jones, 2004). A klimatikus paraméterek (például a hőmérséklet) egyértelműen meghatározzák a szőlőtermesztésre alkalmas régiókat (Schultz és Jones, 2010). Szőlőtermesztésre döntően a 9–21 °C évi középhőmérsékletű izotermák között van lehetőség (1. ábra). Ez a terület az északi féltekén közelítőleg 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, 2002; Varga *et al.*, 2007). A 9 °C-os izotermától északra (a déli féltekén délre) sem a termés, sem a hajtás nem érik be. A 21 °C-os izotermától délre (a déli féltekén északra) pedig a nagy forróság akadályozza a termesztést (Zanathy, 2008). Schultz és Jones (2010) a vegetációs időszak (északi féltekén április – október, déli féltekén október – április) átlaghőmérsékletével jellemzik a szőlőtermesztésre alkalmas területeket. Eszerint a 12 °C és 22 °C vegetációs időszaki átlaghőmérsékletű izotermák közti területek kedvezőek szőlőtermesztési szempontból (2. ábra). Ezek a régiók az északi 30. és 50., illetve a déli 30. és 40. szélességi körök között találhatók (Amerine *et al.*, 1980), de ez nem zárja ki, hogy ezeken a területeken kívül is lehetőség adódhat minőségi szőlőtermesztésre (Schultz és Jones, 2010).



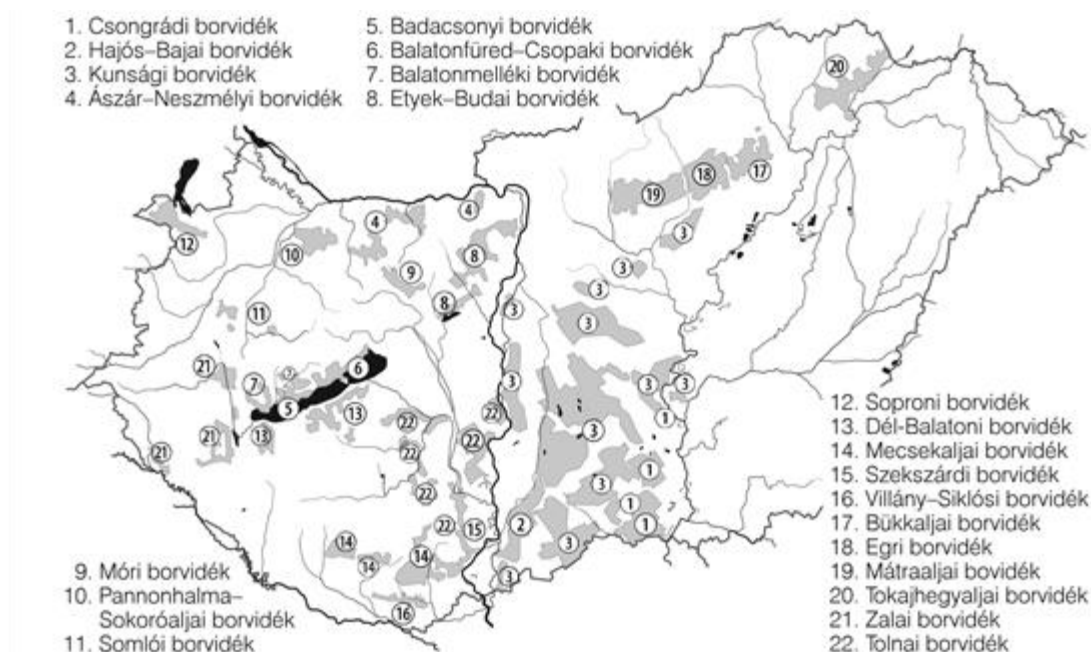
1. ábra: A 9 °C és 21 °C évi középhőmérsékletű izotermák és a világ borvidékeinek elhelyezkedése (Kozma, 2002 alapján).



2. ábra: A 12 °C és 22 °C vegetációs időszakos átlaghőmérsékletű izotermák és a világ borvidégeinek elhelyezkedése 2000-ben mért adatok, illetve 2100-ra vonatkozó A1B szcenárió felhasználó modellfuttatás alapján (Schultz és Jones, 2010 alapján).

A szőlő nagy földrajzi elterjedését a jó ökológiai alkalmazkodóképessége teszi lehetővé (Varga *et al.*, 2007). A szőlőtermesztő vidékre jellemző általános éghajlati adottságok határozzák meg a termesztendő szőlő fajtáját, a borok jellegét, míg az egyes évek időjárása alakítja ki az évjáratok közti minőségbeli különbségeket (Jones *et al.*, 2005a). A hazánkban túlnyomórészt elterjedt mediterrán eredetű eurázsiai kerti szőlő (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) nagy fény- és hőigényű (Kozma, 2002; Dunkel *et al.*, 1981). Magyarország a termesztetőség északi határán fekszik. Az évi középhőmérséklet 10,0 °C az 1971–2000 időszak alapján, de a déli, délnyugati lejtőkön 11 °C-nál magasabb értékek is lehetnek (Bartholy és Pongrácz, 2013). A délies lejtőkből fakadó többletsugárzás, valamint a száraz, meleg nyár, és az azt követő napsütéses ősz teszi lehetővé Magyarországon a minőségi szőlőtermesztést (Varga *et al.*, 2007). Intenzív termesztési mód mellett Magyarországon 25–30 évig termesztendő gazdaságosan a szőlő (Oláh, 1979), így az ültetvény helyének, szerkezetének, valamint a termesztendő kívánt fajtának a kiválasztása kiemelt fontosságú (Zanathy, 2008; Teszlák *et al.*, 2009). A legfrissebb nemzetközi adatok alapján Magyarország összes szőlőültetvénye 65 000 ha, ami világszinten a 23. legnagyobb terület (OIV¹, 2021). A hasonló domborzati, talajtani, éghajlati adottságokkal, jellemző fajtaösszetételű és művelésű ültetvényekkel, termesztési hagyományokkal, valamint sajátos borokkal rendelkező termőhely a borvidék (Bényei *et al.*, 1999). Magyarországon jelenleg 22 borvidék található (3. ábra és 1. táblázat)

¹ International Organisation of Vine and Wine – Nemzetközi Szőlészeti és Borászati Szervezet.



3. ábra: Magyarország borvidékei (Bényei et al., 1999)²

1. táblázat: Magyarország borvidégeinek területe 2021. évi adatok alapján. Zárójelben szerepelnek a borvidékek 1999-ben használt nevei. (Bényei, 1999; HNT³, url²⁴)

Borvidék	Terület
Csongrádi	869 ha
Hajós-Bajai	1839 ha
Kunsági	20158 ha
Neszmélyi (Ászár-Neszmélyi)	958 ha
Badacsonyi	1319 ha
Balatonfüred-Csopaki	1836 ha
Balaton-felvidéki (Balatonmelléki)	725 ha
Etyek-Budai	1674 ha
Móri	479 ha
Pannonhalmi (Pannonhalma-Sokoróaljai)	591 ha
Nagy-Somlói (Somlói)	484 ha
Soproni	1436 ha
Balatonboglári (Dél-Balaton)	3461 ha
Pécsi (Mecsekaljai)	574 ha
Szekszárdi	2189 ha
Villányi (Villány-Siklói)	2406 ha
Bükk (Bükkaljai)	847 ha
Egri	5597 ha
Mátrai (Mátraaljai)	6162 ha
Tokaji (Tokajhegyaljai)	5361 ha
Zalai	699 ha
Tolnai	2133 ha

² A borvidékek területével kapcsolatos frissebb (2021. évi) térképet lásd: <https://www.vingis.hu/index.php/termekleirasok-terkepi-mellekletei/category/44-termekleirasok-terkepi-mellekletei> (Utolsó letöltés: 2022. 05. 18.)

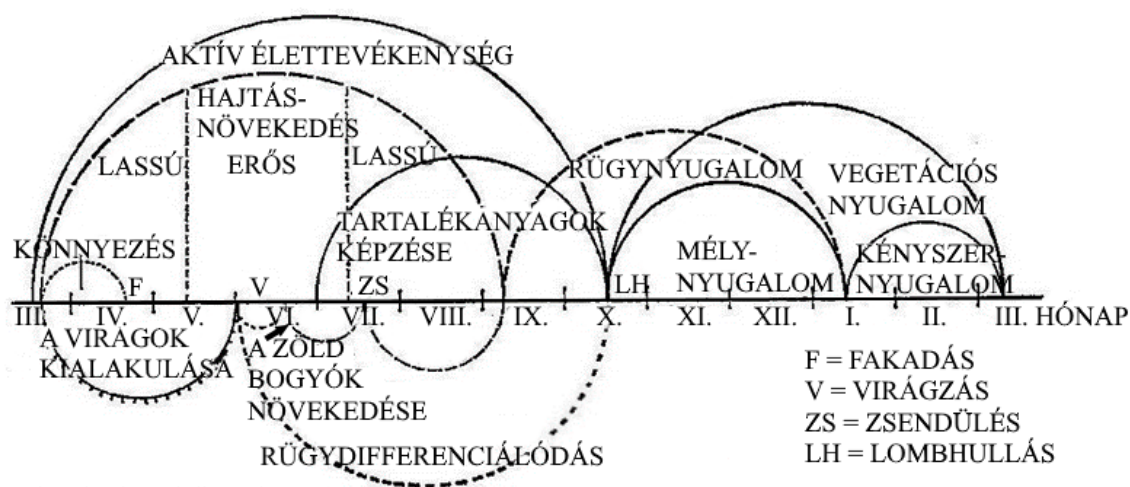
³ Hegyközségek Nemzeti Tanácsa

⁴ <https://www.hnt.hu/wp-content/uploads/2021/09/borszolovel-beultetett-terulet-2021.png> (Utolsó letöltés: 2022. 05. 18.)

Magyarországon a vegetációs időszak alatti napsütöses órák száma 1250–1500 óra (Csáky, 1993), ami az igen késői érésű fajták kivételével lehetővé teszi a szőlőtermesztést. Magyarországra és Európa más területére is igaz, hogy általában nem a sugárzás, hanem a hőmérséklet korlátozza a termesztést (Varga *et al.*, 2007). A téli nyugalmi időszakban rövid ideig $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ vagy egyes fajták esetén akár $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletet is eltűr a szőlőnövény, de a tavasszal kifakadt rügyekben és hajtásokban már a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérséklet is kárt tehet (Hidalgo, 2002).

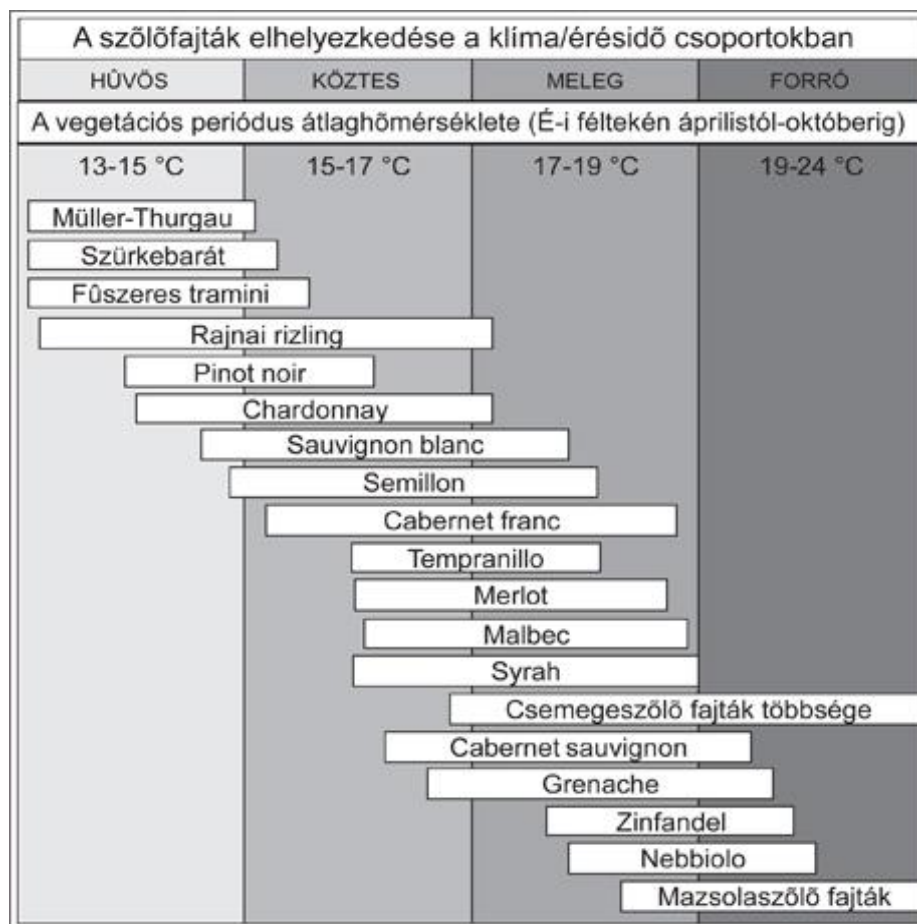
A szőlő közepes vízigényű növény. Ott termeszthető sikerrel, ahol az éves csapadék mennyisége 500–600 mm közötti (Kozma, 2002; Varga *et al.*, 2007). Magyarországon az éves csapadékösszeg országos átlagban 568 mm volt az 1971–2000 időszakban (Bartholy és Pongrácz, 2013). Ez a mennyiség kielégíti a szőlő igényeit, de az egyenlőtlen eloszlás probléma lehet (Csáky, 1993).

A szőlő élete a mérsékelt övezetben éves ciklust követ (4. ábra). Ennek két fő szakasza a vegetációs és a nyugalmi időszak. Ezek több egymást követő, illetve egymással párhuzamosan zajló fenológiai fázisra bonthatók (Oláh, 1979; Keller, 2010). Az egyes fenológiai állapotokra eltérő víz- és hőigény jellemző (A részleteket és hivatkozásokat lásd Mesterházy, 2011 munkájának 2.2.3. fejezetében.). A szőlő számára rendelkezésre álló nedvesség és hőmennyiség pontos mérése nehéz, így a legtöbb esetben ezeket a hőmérséklet- és csapadékviszonyokkal közelítik (Oláh, 1979; Kozma, 2002; Botos és Hajdu, 2004; Varga *et al.*, 2007).



4. ábra: A szőlő éves fenológiai ciklusa a mérsékelt övezetben (Oláh, 1979 alapján).

A fajtaválasztást több klimatikus mérőszám segíti, melyek többsége hőmérsékleti és csapadékadatokon alapszik. Az Huglin-féle heliotermikus index (Huglin, 1978) a vegetációs időszak napi átlaghőmérsékletek összege alapján mutatja meg, mely fajta termesztésére lehet alkalmas az adott terület. A 5. ábra a különböző szőlőfajták számára kedvező vegetációs időszakra számított átlaghőmérsékleteket mutatja (Jones, 2004; Teszlák et al., 2009).



5. ábra: A különböző szőlőfajták elhelyezkedése a klíma/érésidő csoportokban. A fajtákat jelölő sávok hossza mutatja a fajta tipikus termesztési övezetét, ahol a fajta sikeresen és kiváló minőségű terméssel termeszthető (Jones, 2006 alapján módosította Teszlák et al., 2009).

Elsősorban hőmérsékleti és nedvességi viszonyok alapján *Tonietto* és *Carbonneau* (2004) kidolgoztak egy klímaosztályozási rendszert kimondottan borvidékek jellemzésére (*Conceicao és Tonietto*, 2005; *Dal Monte et al.*, 2019). Három indexet használtak: az Huglin-féle heliotermikus, a „cool night” és a „dryness” indexet. Ezt *Jones és munkatársai* (2009) további három klimatikus indexszel (a Winkler-index-szel, a biológiai határos hőösszeggel, a vegetációs időszak átlaghőmérsékletével)

bővítették, majd ezzel vizsgálták 16 európai borrégió klimatikus adottságait.

Malheiro és munkatársai (2010) négy klimatikus mérőszám (az Hugin-féle és a Branas-féle heliotermikus index, valamint a „dryness” index és a -17 °C alatti napi minimumhőmérséklet) segítségével vizsgálták, hogy egyes területek alkalmasak-e szőlőtermesztésre.

Bois és munkatársai (2012) klaszteranalízissel 247 európai borvidék klimatikus viszonyait hasonlították össze éghajlati átlagok és kockázati tényezők alapján.

Látható, hogy az egyes termőterületek alkalmasságát nem elég egyetlen klimatikus paraméter segítségével leírni. Komplex képet kell alkotni az adott régió éghajlati viszonyairól (*Kovács, 2018*). A szakirodalomban elterjedten használt mérőszámok egyrészt segítenek a különböző régiók klimatikus, illetve szőlőtermesztési szempontú összehasonlításában, másrészt lehetőséget adnak klímamodell adatokkal kiszámolva az elkövetkező évtizedekre vonatkozó becslések felállítására.

A szőlő termesztethetőségét, illetve a termés minőségét és mennyiségét természetesen az éghajlati tényezőkön kívül számos más, nem légköri adottság is befolyásolja: a talaj szerkezete és összetétele, a biotikus tényezők (például a vírusok, baktériumok és gombák), valamint a fajtaválasztás (*Kozma, 2002; van Leeuwen et al., 2004*). Ezen nem légköri tényezőknek a vizsgálata nem képezi jelen dolgozat tárgyát.

I.2.2. Globális és regionális klímamodellek

Az alábbi fejezet *Bartholy és Pongrácz* (2013) egyetemi jegyzetén alapszik, akik a klímamodellekről szóló megállapításait két nemzetközi tanulmányra építik (*Randall et al., 2007; Bader et al., 2008*).

A XX. század közepétől a számítógépek megjelenésével és elterjedésével lehetőség nyílt az általános légkörzés számítógépes modellezésére. A tudományos ismeretek és a mérési adatbázis fejlődése, valamint a számítógépes kapacitás bővülése lehetővé tette összetettebb modellek megalkotását és futtatását. Így jöttek létre a Légkör–Óceán Általános Cirkulációs Modellek⁵ (AOGCM-ek), amelyek a globális klímamodellek jelenleg legfejlettebb osztályát alkotják.

⁵ Angolul: Atmosphere–Ocean General Circulation Model.

Az AOGCM-ek felbontása napjainkban 125–400 km, ezért ezen modellek által előrejelzett változások kisebb térskálakon nem eléggé megbízhatóak. Ha finomabb (néhányszor 10 km-es) felbontással szeretnénk éghajlati becslést készíteni, leskálázásra van szükség. A leskálázás során a kontinentális vagy annál kisebb régióra futtatott regionális klímamodellek⁶ (RCM-ek) határfeltételeit AOGCM-ek szolgáltatják. Az RCM-ek futtatásakor több a regionális éghajlatváltozást befolyásoló jelenséget is bevonhatunk a modellezésbe, melyre az AOGCM-ek használatakor nincs lehetőség. Ezáltal számos éghajlati mező átlagértékeit (*Giorgi et al.*, 2001), illetve extrémumait az RCM futtatások pontosabban becslik. (*Gutowski et al.*, 2007).

Az RCM futtatások eredményeit nagyban befolyásolják az AOGCM-ek által biztosított kezdeti-, és határfeltételek. Ezért egy térség klimatikus jellemzőinek leírására célszerű nem csupán egyetlen regionális modellszimulációt tekinteni, hanem több szimuláció együttesét. Így egy-egy meteorológiai paraméterre intervallumbecslés adható.

A jövőbeni társadalmi és gazdasági folyamatokat és az ezek okozta környezeti terhelést kibocsátási forgatókönyvek, úgynevezett scénáriók segítségével veszik figyelembe a klímamodellek futtatásakor. Ilyenkor az üvegházhatású gázok koncentráció-változásai bemenő paraméterekként szerepelnek a modellben.

Az IPCC⁷ Harmadik és a Negyedik Értékelő Jelentésében négy SRES⁸ éghajlati forgatókönyvet definiálnak (*Nakicenovic és Swart*, 2000; *IPCC*, 2001, 2007). Az A1 és a B1 scénáriókat a globalizációs folyamatok erősödése, míg az A2 és a B2 forgatókönyveket a regionális fejlődés jellemez. Az A1 és az A2 forgatókönyv gyors gazdasági fejlődést, míg a B1 és a B2 scénárió környezettudatos technológiák előtérbe kerülését feltételezi (2. táblázat). Ezek alapján a legpesszimistább kibocsátási forgatókönyv az A2, míg a legoptimistább a B1 scénárió. Az A1 scénárión belül három alszcenáriót különíthetünk el: az A1F1 (fosszilis energiahordozók intenzív felhasználása), az A1T (megújuló energiaforrások használatának jelentős mértékű elterjedése) és az A1B (fosszilis és megújuló energiaforrások kiegyenlített használata) forgatókönyvet.

A folyamatos gazdasági és társadalmi változások, valamint környezetvédelmi intézkedések miatt szükségessé vált a forgatókönyvek egy újabb generációjának

⁶ Angolul: **Regional Climate Model**.

⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change: Éghajlatváltozási Kormányközi Testület.

⁸ Special Report on Emissions Scenarios: Kibocsátási Forgatókönyvek Tematikus Jelentése.

létrehozása (Bartholy et al., 2011). Az IPCC Ötödik Értékelő Jelentésében (IPCC, 2013) a SRES kibocsátási forgatókönyvek helyett az ún. RCP⁹-típusú forgatókönyvek szerepelnek, melyek az üvegházhatású gázok koncentrációjának időbeli menetét becslik, de elnevezésük a koncentráció-növekedésből eredő sugárzási kényszer változására utal. Négy fő forgatókönyvet írnak le: az RCP2.6, az RCP4.5, az RCP6.0 és az RCP8.5 scenáriót. A számértékek azt jelzik, hogy az egyes forgatókönyvek szerint 2100-ra milyen mértékű sugárzási kényszerbeli változás várható W/m² egységben kifejezve. Míg a SRES scenáriók csak 2100-ig vázolták a várható jövőképet, addig az RCP-scenáriókat már 2300-ig kiterjesztették.

2. táblázat: A négy SRES globális alapszcenário fontosabb jellemzői (Nakicenovic és Swart, 2000 alapján Bartholy és Pongrácz, 2013).

A1 - nagyon gyors gazdasági növekedés - népességnövekedés a XXI. század közepéig, utána csökkenés - új és hatékony technológiák gyors megjelenése - az egyes régiók közötti kiegyenlítődés - fokozott kulturális és társadalmi hatások - a regionális jövedelemkülönbségek csökkenése	B1 - kiegyenlítődő világ felé fejlődés az A1-hez hasonló népességváltozások - gazdasági szerkezet gyors eltolódása a szolgáltatási és információs ágazatok felé - környezetbarát és energia-hatékony technológiák bevezetése - a gazdasági, társadalmi és környezeti problémákra globális megoldások kidolgozása
A2 - heterogén világkép - helyi önkormányzatok, önszerveződések hangsúlyosabb működése - folyamatosan növekvő népesség - regionális gazdasági fejlődések - lassú és térben nem egyenletes technológiai változások	B2 - a gazdasági, társadalmi és környezeti problémák lokális szinten kezelése - folyamatosan lassuló ütemű globális népességnövekedés - közepes mértékű gazdasági fejlődés - az A1, B1-hez képest lassabb és sokoldalúbb változások

I.2.3. A szőlőtermesztésben tapasztalt és várható változások

A vegetációs időszak átlaghőmérséklete a XX. század második felében 1,26 °C-kal nőtt világszinten. A legnagyobb növekmény Észak-Amerika nyugati partvidékén, illetve Európán belül az Ibériai-félszigeten és Dél-Franciaországban volt. Ezeken a területeken a vegetációs időszaki átlaghőmérséklet szignifikánsan emelkedett ($p^{10} < 0,01$), méghozzá

⁹ Representative Concentration Pathways: Koncentrációváltozás Reprezentatív Pályái.

¹⁰ p-érték vagy szignifikancia: annak a valószínűsége, hogy a statisztikai null-hipotézis igaz, a véletlen mégis ennek ellentmondó megfigyelést eredményez.

több, mint 2,5 °C-kal. A nyugalmi időszaki átlaghőmérséklet is több helyen szignifikánsan nőtt ($p < 0,01$). A legkisebb vegetációs időszaki hőmérsékletnövekedést Chile, Dél-Afrika és Ausztrália területén észlelték, ami nem volt szignifikáns ($p > 0,1$; Jones *et al.*, 2005a; Jones, 2007).

Európában a XX. század második felében az átlaghőmérséklet 1,7 °C-kal emelkedett. Jellemző volt az éjszakai hőmérsékletek emelkedése, valamint a tavaszi és a nyári átlaghőmérséklet intenzív növekedése. Mindez a vegetációs időszaki hőösszeg 250–300 °C egységgel történő növekedését okozta (Jones, 2007).

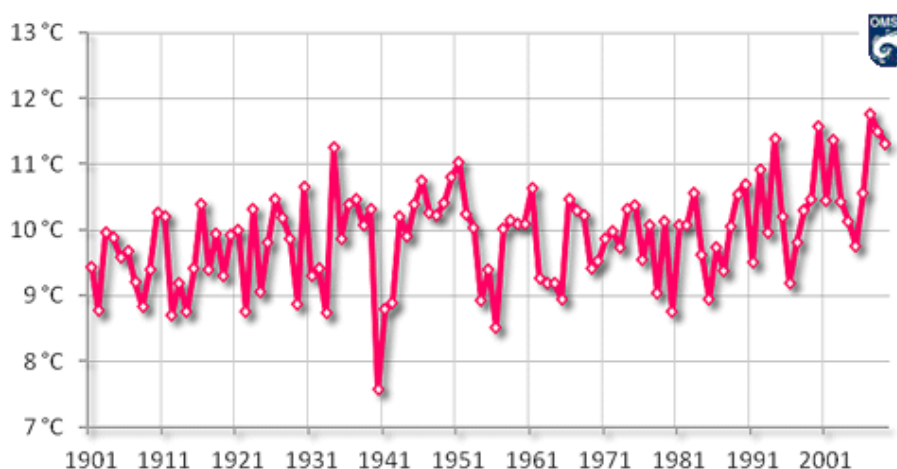
Az elmúlt évtizedek melegedése világszinten többnyire kedvezően hatott a borok minőségére (Jones, 2005b; Jones, 2007). A kaliforniai Napa és Sonoma térségében az XX. század második felében a fagyos események számának csökkenése és a szőlő növekedésének korábbi megindulása magasabb hozamokat és minőségi javulást eredményezett. Az enyhébb telek miatt azonban nagyobb volt a kártevők és betegségek pusztítása ezeken a területeken (Jones *et al.*, 2005a). Ramos és munkatársai (2008) Északkelet-Spanyolországban a XX. század második felében jelentős csapadékcsökkenést írtak le a szőlő virágzása és érése közti időszakban, ami a hőmérséklet-növekedéssel együtt jelentkezve stresszként érte a növényeket.

Ugyancsak a vegetációs időszaki hőmérséklet-növekedéssel magyarázták Santos és munkatársai (2012) az általuk vizsgált hőmérsékleti indexek (például az Huglin-féle heliotermikus index) szignifikáns növekedését ($p < 0,01$) az 1950–2009 közötti időszakban a főbb európai szőlőtermesztési régiókban. Stock és munkatársai (2007) is az Huglin-féle heliotermikus index növekedését írták le a XX. század második felében, Németországban mért adatokat vizsgálva.

A változó éghajlat jól érzékelhető hatást gyakorol a szőlő éves biológiai ciklusára, vegetatív és generatív tevékenységére (Zanathy, 2008). Jones és munkatársai (2005b) erős kapcsolatot találtak számos európai borvidéken a szőlő fenológiai fázisainak korábbra tolódása és a melegedés között. A melegedés hatására az egyes fenológiai állapotok közti időintervallumok is rövidebbek lettek az elmúlt évtizedekben (Jones *et al.*, 2005b; Teszlák *et al.*, 2009). A jobb fényviszonyok a rügyek termékenységét is fokozták. A virágzás és a szüret időpontja korábbra tevődött (Kovács *et al.*, 2018). A németországi Rheingau borvidéken az elmúlt száz évben a Rajnai Rizling szüretének időpontja október végéről, október elejére tolódott (Stock *et al.*, 2003). Chervenkov és Slavlov (2020) az 1961-2018 időszakot vizsgálva szignifikáns ($p < 0,05$) változást

tapasztaltak Délkelet-Európában az 5 °C bázishőmérsékletű¹¹ hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak hosszabbodása kapcsán, ami vizsgálataik szerint elsősorban korábbi kezdetet, semmint későbbi befejeződést jelent.

Magyarországon az 1901–2009 közötti időszakban 0,99 °C-kal nőtt az éves átlaghőmérséklet (6. ábra). A legintenzívebb növekedést az utolsó harminc évben tapasztalhattuk. Ezen időszak alatt a növekedés országos átlagban 1,5 °C volt (*Bartholy és Pongrácz*, 2013). A szüret időpontjával kapcsolatban elmondható, hogy míg a XIX. században minden évben azonos időpontban szüreteltek (az Alföldön szeptember 29-én, Tokaj-Hegyalján október 28-án), addig manapság gyakran szeptember elején szüretelik a tokaji Furmintot (*Zanathy*, 2008).



6. ábra: Évi középhőmérsékletek Magyarországon az 1901–2009 időszakban homogenizált, interpolált adatok alapján (°C; OMSZ¹², url¹³)

Az elmúlt évtizedekben az extrém időjárási események gyakoribbá váltak Magyarországon (*Bartholy és Pongrácz*, 2007, 2013), melyek kockázatot jelentenek mezőgazdasági szempontból. Megnövekedett az aszályos időszakok, illetve a felhőszakadásszerű csapadékhullások éves száma. Az intenzív csapadékhullás során a víz kisebb arányban tud beszivárogni a talajba, nagy része lefolyik. Ez, valamint az emelkedő átlaghőmérséklet okozta fokozott párolgás a vízmérleg romlását (a beérkező és eltávozó vízmennyiség különbségének növekedését) eredményezte, ami előnytelenül hatott a mezőgazdasági termelésre (*Kozma*, 2002). További kockázati tényező, hogy az elmúlt évtizedekben a meleg szélsőségek gyakoribbá váltak. A fagyos napok

¹¹ Bázishőmérséklet: az a hőmérséklet, ami tartósan szükséges adott növény vegetációs tevékenységéhez (Huzsvai et al., 2004).

¹² Országos Meteorológiai Szolgálat

¹³ https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/ (Utolsó letöltés: 2021.09.13.)

számában viszont szignifikáns csökkenést figyeltek meg ($p < 0,05$; Bartholy és Pongrácz, 2007).

Az elmúlt évtizedekben tapasztalt és a jövőben is várható éghajlatváltozás (elsősorban a hőmérséklet emelkedése) a világ számos pontján a szőlőtermesztési stratégiák átalakítását indokolja (Droulia és Chaalampopoulos, 2021). Jones és munkatársai (2005a) klímamodell eredményeket felhasználva a 2000–2049 időszakra (az 1950–1999 modellezett időszakhoz képest) világszinten a vegetációs időszaki átlaghőmérséklet $1,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal történő emelkedését prognosztizálják a főbb szőlőtermesztő régiókban (Európa, Észak-Amerika nyugati partvidéke, Chile, Dél-Afrika és Ausztrália vizsgált borvidékein). Ez az északi féltekén $1,31\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg a déli féltekén $0,93\text{ }^{\circ}\text{C}$ növekedést jelent. A legnagyobb változás Észak-Amerika nyugati partvidékén, míg a legkisebb Dél-Afrikában várható.

Az átlaghőmérséklet emelkedése miatt a szőlőtermesztésre alkalmas területek, melyek a $12\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$ izotermák között helyezkednek el, a pólusok irányába tolódhatnak (2. ábra). A XXI. század közepére $150\text{--}300\text{ km}$, majd a század végére további $125\text{--}250\text{ km}$ eltolódás várható a sarkok irányába (Jones et al., 2007; Schultz és Jones, 2010). A hűvösebb klímájú, pólusokhoz közelebb eső szőlőterületeken a fehérborok általában frissebbek, savasabbak, üde illat- és aromaanyagokban gazdagabbak (Becker, 1985). Ezek a területek kedvezőbb helyzetbe kerülhetnek az átlaghőmérséklet emelkedése miatt (Teszlák et al., 2009). Számos európai borvidék (például több dél-angliai, közép-, és nyugat-európai terület) kerülhet az optimális hőmérsékleti tartományba (Malheiro et al., 2010), ami a borok minőségét javíthatja és nőhet a fajtaválaszték is (Jones et al., 2005a, 2007). Azonban, ha a hőmérsékletnövekedés már meghaladja a minőségi szőlőtermesztés optimális értékét egy adott borrhíóban (például Dél-Európa egyes területein), akkor az nagy kihívást jelenthet a termesztésben (Jones et al., 2005a; Jones, 2007; Cahill et al., 2007). A dél-európai mediterrán térségben az emelkedő hőmérséklet mellett a nyári csapadék csökkenése és kedvezőtlen eloszlása is problémát okozhat (Schultz, 2000; Teszlák et al., 2009, Malheiro et al., 2010).

Jones és munkatársai (2005) nem találtak egyértelmű kapcsolatot a déli félteke fontosabb bortermelő régióiban (Chile, Dél-Afrika és Ausztrália) a borok minőségének javulása és a vegetációs időszaki átlaghőmérséklet növekedése között. Ebből arra következtettek, hogy ezekben a régiókban más éghajlati tényezők hatása, valamint a szőlőtermesztési és borászati technológia fejlődése nem elhanyagolható.

A megváltozott éghajlati (elsősorban hőmérsékleti) körülmények a fajtaválaszték átalakulását világszinten szükségessé teszik. Észak-Amerika nyugati partvidékére és Európára végzett vizsgálatok az sugallják, hogy a történelmi hagyományokkal rendelkező fajták helyett más, a megváltozott éghajlati körülményeknek jobban megfelelő fajták alkalmazása szükséges (Jones *et al.*, 2005; Fraga *et al.*, 2016a). Az európai borvidékekre jellemző széles fajtaválasztékot a kontinens hőmérsékleti- és csapadékviszonyainak heterogenitása teszi lehetővé (Santos *et al.*, 2012). Bár a *Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa* fajnak széles a genetikai sokfélesége, meleg klímán minőségi bort adó fajta kevés van (Diffenbaugh *et al.*, 2011). Az átlaghőmérséklet emelkedésével a kis hőigényű fajták termesztése nehezzé válhat, míg a nagy hőigényű, szín- és aromaanyagokban gazdag fajták előtérbe kerülése várható (Zanathy, 2008; Fraga *et al.*, 2016a). Ez utóbbi, többnyire vörösbort adó fajták általánosságban jobban viselik az átlaghőmérséklet emelkedését (Schultz és Jones, 2010). A megváltozott körülmények hatását megfelelően választott fajta és termesztési technológia alkalmazásával (például öntözéssel) mérsékelni lehet (Malheiro *et al.*, 2010; Fraga *et al.*, 2016a), ám még így is a korábbi évtizedekhez képest nagyobb termésingadozással kell számolni (Teszlák *et al.*, 2009). A korábbi évszázadok során kialakult fajtahasználat és művelésmód átalakítása különösen azokban a régiókban lehet látványos, ahol hagyományosan egy vagy csak néhány fajtát termesztenek, mint például a németországi Rheingau-ban (Rizling) vagy a franciaországi Bordeaux-ban (Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon és Merlot; Schultz és Jones, 2010).

Az növekvő vegetációs átlaghőmérséklet miatt több európai (elsősorban németországi) borrégióban a XXI. század közepére az Huglin-féle heliotermikus index értékében jelentős mértékű (akár 200–300 egységnyi) növekedést prognosztizálnak. Ezáltal lehetőség nyílna nagyobb hőigényű fajták (például Cabernet Sauvignon) termesztésére (Stock *et al.*, 2007; Neumann és Matzarakis, 2011).

A klímaváltozás az átlagértékek változásán túl az extrémítások fokozódását is jelenti. Előfordulhat, hogy bár az átlagértékek megfelelőek lesznek egy-egy új fajta termesztéséhez, a kedvezőtlen eloszlás vagy extrém időjárási események mégis korlátozzák a termesztést (Jones, 2007). A lejtős területeken az aszályok és a hirtelen lezúduló nagy mennyiségű csapadék egyaránt károkat okozhat (Teszlák *et al.*, 2009). Ugyancsak problémát jelenthet a nyugalmi időszakban várható melegedés, ami negatív hatással van a rügyek fagyállóságára (Jones, 2007). Ezek miatt a meredek hegyoldali szőlészet kifejezetten érzékeny a klímaváltozásra (Teszlák *et al.*, 2009).

I.3. Anyag és módszer

I.3.1. A használt regionális klímamodellek és időszakok

Munkám során három regionális klímamodell napi minimum-, maximum- és átlaghőmérsékleti, valamint napi csapadékösszeg-outputjait használtam: az európai ENSEMBLES project (*van der Linden és Mitchell, 2009*) keretén belül előállított RegCM (*Giorgi et al., 1993a,b*) és ALADIN (*Déqué et al., 1998*) regionális klímamodellek, valamint a UK Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research által fejlesztett PRECIS modell (*Wilson et al., 2007*) alapján. Ezeket a modelleket a Kárpát-medencére adaptálták (*Pieczka, 2012*). A nyers regionális klímamodell-outputok általánosan felülbecslik a nyári hőmérsékletet és a csapadékot (*Pongrácz et al., 2011; Pieczka et al., 2011*). Ezeket percentilis-alapú hibakorrekcióval (*Formayer és Haas, 2010*) módosították szimulált napi adatok alapján, melyek mért meteorológiai adatok havi eloszlásán alapultak. A megfigyelések az E-OBS adatbázisból származtak (*Haylock et al., 2008*). Mindhárom regionális klímamodell-szimuláció esetén A1B emissziós forgatókönyvet (*Nakicenovic és Swart, 2000*) használtak a XXI. századra vonatkozó futtatásoknál. Ezek a regionális klímamodellek 25 km horizontális felbontásúak. A futtatásokat a Kárpát-medence térségére, az északi szélesség 44°–50° és a keleti hosszúság 14°–26° közötti területre végezték.

Munkám során 228 rácspont ($g = 1, \dots, 228$) adatait használtam, melyek lefedik Magyarország területét. Három időszakra végeztem el a számításokat: R : 1961 – 1990 (mint referenciaidőszak), F_1 : 2021 – 2050, és F_2 : 2071 – 2100¹⁴ időszakra.

Fontos megjegyezni, hogy az általam is használt regionális klímamodell-értékek síkfelszínre vonatkoznak. Vagyis az eredmények nem veszik figyelembe a lejtőkitettségéből származó hőtöbbletet, besugárzást vagy egyéb mikroklimatikus hatásokat, melyek nagy befolyással bírnak a szőlőtermesztésre. *Dunkel és munkatársainak* (1981) vizsgálatai kimutatták, hogy Magyarországon a lejtőkitettség erőteljes pozitív hatása elsősorban a tenyészidőszak elején és végén, valamint télen érvényesül, vagyis akkor, amikor a mi éghajlatunkon a sugárzási és hőmérsékleti tényezők kevésbé hatnak.

¹⁴ A PRECIS modell rövidebb szimulációs hossza miatt az indikátorokat és extrém indexeket az $F_{2,p}$: 2069–2098 időszakra számítottam ki.

I.3.2. Módszerek a vegetációs időszak hosszának számításához

Célom volt egy olyan módszer kidolgozása, mellyel éves szinten kizárólag hőmérsékleti adatok alapján lehet a szőlő vegetációs időszakának kezdetét, végét, illetve hosszát jó közelítéssel meghatározni. A szőlő esetében általánosan elfogadott a 10 °C biológiai alaphőmérséklet, vagy bázishőmérséklet (Amerine és Winkler, 1944; Winkler *et al.*, 1974; Kozma, 2002). Ez a napi átlaghőmérséklet tartósan szükséges a növény vegetációs tevékenységéhez (Huzsvai *et al.*, 2004; Sluys, 2006). Ám a bázishőmérséklet fajta-, termőhely- és évjáratfüggő (Galet, 2000; Fraga *et al.*, 2016b). Többnyire 7–11 °C között változik (Jackson és Spurling, 1988; Fitzharris és Endlicher, 1996). Számításaim során egységesen 10 °C-os értéket használtam.

Munkám során kilenc módszer alapján határoztam meg a vegetációs időszak kezdetét, végét és hosszát k évre az R, F_1 , illetve F_2 vagy $F_{2,p}$ időszakokra minden magyarországi g rácspontra, melyeket később egy ún. 'referenciamódszerhez' hasonlítottam. 'Referenciamódszerként' (*ref*) egy mozgóátlagoláson alapuló eljárást használtam, melyet a magyarországi agrometeorológiai számításoknál gyakran alkalmaznak (Ambrózy *et al.*, 2002). A 'referenciamódszer' számításai során meghatároztam a g rácsponthoz és a k év i . napjához tartozó $T^g(i, k)$ napi átlaghőmérsékletek $T^g(i)$ átlagát az év minden napjára a harmincéves periódusra:

$$T^g(i) = \underset{k}{Aver}(T^g(i, k)) \quad (k \in R \text{ vagy } F_1 \text{ vagy } F_2 \text{ vagy } F_{2,p}), \quad (1)$$

majd 5 napos mozgóátlagolással simítottam az adatsort.

A vegetációs időszak kezdetét és végét az első, illetve az utolsó napként határoztam meg, amikor az átlagolt és simított hőmérséklet nem kevesebb, mint 10 °C, ami a szőlő biológiai alaphőmérséklete. Ezt a módszert használtam a harmincéves időperiódusok (R, F_1 , illetve F_2 vagy $F_{2,p}$) vegetációs időszakának kezdete ($G_{B;ref}^g$), vége ($G_{E;ref}^g$) és hossza ($G_{L;ref}^g$) meghatározására minden magyarországi g rácspontra.

A következőkben bemutatom azt a kilenc módszert, melyeket a vegetációs időszak kezdetének számítására használtam:

'3' és '5' módszer: az első napja annak a háromnapos ($G_{B;3}^g(k)$) vagy ötnapos ($G_{B;5}^g(k)$) időszaknak, ahol a napi átlaghőmérsékletek nem kevesebbek, mint 10 °C;

‘3mid’ és ‘5mid’ módszer: a középső napja annak a háromnapos ($G_{B;3mid}^g(k)$) vagy ötnapos ($G_{B;5mid}^g(k)$) időszaknak, ahol a napi átlaghőmérsékletek nem kevesebbek, mint 10 °C;

‘MA3’ és ‘MA5’ módszer: az első napja annak a mozgóátlagolással (MA) simított háromnapos ($G_{B;MA3}^g(k)$) vagy ötnapos ($G_{B;MA5}^g(k)$) időszaknak, ahol a napi átlaghőmérsékletek nem kevesebbek, mint 10 °C;

‘MA3mid’ és ‘MA5mid’ módszer: a középső napja annak a mozgóátlagolással (MA) simított háromnapos ($G_{B;MA3mid}^g(k)$) vagy ötnapos ($G_{B;MA5mid}^g(k)$) időszaknak, ahol a napi átlaghőmérsékletek nem kevesebbek, mint 10 °C;

‘int’ módszer: az interpolációs módszer (Csepregi, 1997; Hlaszny, 2012) szerint a vegetációs időszak kezdete az első olyan nap ($G_{B,int}^g(k)$) március 15. után, amikor a márciusi és áprilisi havi átlaghőmérsékletekkel simított napi átlaghőmérsékleti adatsor meghaladja a 10 °C-t. Az interpolációnál használt hőmérsékleti egység:

$$d_B^g(k) = \frac{T_{\text{április}}^g(k) - T_{\text{március}}^g(k)}{31}, \quad (2)$$

ahol $T_{\text{március}}^g(k)$ és $T_{\text{április}}^g(k)$ a március és április havi átlaghőmérsékletek a k évben, °C-ban kifejezve. A vegetációs időszak első napja:

$$G_{B,int}^g(k) = [\text{március 15.}] + n_B^g(k), \quad (3)$$

ahol $n_B^g(k)$ a legkisebb $\frac{10^\circ\text{C} - T_{\text{március}}^g(k)}{d_B^g(k)}$ -nál nagyobb természetes szám.

A vegetációs időszak végét ($G_{E;M}^g(k)$; ahol $M = \text{‘3’, ‘5’, ‘3mid’, ‘5mid’, ‘MA3’, ‘MA5’, ‘MA3mid’, ‘MA5mid’}$) is ezekkel a módszerekkel számítottam azzal a módosítással, hogy nem az adott periódus első, hanem az utolsó három- (‘3’, ‘3mid’, ‘MA3’, ‘MA3mid’) vagy ötnapos (‘5’, ‘5mid’, ‘MA5’, ‘MA5mid’) időszakát vettem figyelembe, majd ezen időszakok utolsó (‘3’, ‘5’, ‘MA3’, ‘MA5’) vagy középső (‘3mid’, ‘5mid’, ‘MA3mid’, ‘MA5mid’) napjaként definiáltam a vegetációs időszak végét. Az interpolációs módszernél (‘int’ index-szel jelölve) a $d_B^g(k)$ és $G_{B,int}^g$ értékek helyett $d_E^g(k)$ és $G_{E,int}^g$ értékeket használtam, melyeket az alábbiak szerint számítottam ki:

$$d_E^g(k) = \frac{T_{\text{szeptember}}^g(k) - T_{\text{október}}^g(k)}{30}, \quad (4)$$

$$G_{E,int}^g(k) = [\text{szeptember 15.}] + (n_E^g(k) - 1), \quad (5)$$

ahol $T_{szeptember}^g(k)$ és $T_{október}^g(k)$ a szeptember és október havi átlaghőmérsékletek k évben, °C-ban kifejezve, és $n_E^g(k)$ a legkisebb $\frac{T_{szeptember}^g(k)-10^\circ\text{C}}{d_E^g(k)}$ -nál nagyobb természetes szám. Így $G_{E;int}^g$ az első olyan nap szeptember 15. után, amikor a szeptember és október havi átlaghőmérsékletekkel simított napi hőmérsékleti adatsor 10°C alá süllyed.

Az interpolációs módszer (Csepregi, 1997; Hlaszny, 2012) alkalmazásakor egy jelentős korlátot vettem észre. Ha

$$2 \cdot \frac{10-T_{\text{ápr}}}{T_{\text{ápr}}-T_{\text{márc}}} > 1, \quad (6)$$

azaz a március és április havi átlaghőmérsékletek nagyon közeli értékűek és az április havi átlaghőmérséklet jóval kisebb, mint 10°C , akkor az interpolációs módszer hibás eredményt ad. Ugyanez igaz abban az esetben is, ha a szeptember és október havi átlaghőmérsékletek nagyon közeli értékűek és az október havi átlaghőmérséklet jóval nagyobb, mint 10°C , azaz, ha az alábbi egyenlőtlenség teljesül:

$$2 \cdot \frac{T_{\text{okt}}-10}{T_{\text{szept}}-T_{\text{okt}}} > 1. \quad (7)$$

Ilyen esetekben az interpolációs módszer nem használható a vegetációs időszak kezdetének, illetve végének becslésére. Példaként vettem a RegCM modell adta 1979. évi március és április havi átlaghőmérsékleteket az é.sz. 48,125 és k.h. 20,375 rácspont esetén ($T_{\text{március}}^{203}(29) = 7,13$ és $T_{\text{április}}^{203}(29) = 7,71$). Ekkor a (2) és a (3) egyenlet alapján a vegetációs időszak kezdete augusztus 16. napjára esett. Ez egyértelműen hibás eredmény. Számításaim során szakirodalmi forrásokat (Ambrózy *et al.*, 2002; Huzsvai *et al.*, 2004) alapul véve, ha a vegetációs időszak kezdetére május utáni, illetve végére november utáni időpontot adtak a számítások, azt az értéket nem vettem figyelembe a továbbiakban.

A vegetációs időszak hosszát ($G_{L,M}^g(k)$; ahol $M='3', '5', '3\text{mid}', '5\text{mid}', '7\text{mid}', 'MA3', 'MA5', 'MA3\text{mid}', 'MA5\text{mid}', 'int'$) a következő módon számítottam:

$$G_{L,M}^g(k) = G_{E,M}^g(k) - G_{B,M}^g(k) + 1. \quad (8)$$

Ezt követően minden magyarországi g rácspontra kiszámítottam a vegetációs időszak átlagos kezdetét ($G_{B,M}^g$), végét ($G_{E,M}^g$) és hosszát ($G_{L,M}^g$) $k \in R$ vagy F_1 vagy F_2 vagy $F_{2,p}$ évek felhasználásával az R, F_1, F_2 vagy $F_{2,p}$ időszakokra:

$$G_{B;M}^g = \underset{k}{Aver}(G_{B;M}^g(k)), \quad (9)$$

$$G_{E;M}^g = \underset{k}{Aver}(G_{E;M}^g(k)), \quad (10)$$

$$\text{illetve } G_{L;M}^g = \underset{k}{Aver}(G_{L;M}^g(k)). \quad (11)$$

Végezetül meghatároztam a magyarországi rácspontok ($G_{B;M}^g$, $G_{E;M}^g$, $G_{L;M}^g$) átlagát ($G_{B;M}$, $G_{E;M}$, $G_{L;M}$), vagyis a vegetációs időszak országos átlagos kezdetét, végét és hosszát az R , F_1 , F_2 vagy $F_{2,P}$ időszakokra.

A kilenc vegetációsidőszak-számítási módszerrel kapott eredményeket minden magyarországi g rácspont esetén a ‘referenciamódszer’ eredményeihez hasonlítottam. Ehhez kiszámítottam az átlagos négyzetes hiba gyökének ($RMSE^{15}$) értékeit a vegetációs időszak kezdetére ($RMSE_B$), végére ($RMSE_E$), és hosszára ($RMSE_L$):

$$RMSE_{B;M} = \sqrt{\sum_{i=1}^g \frac{(G_{B;ref}^g - G_{B;M}^g)^2}{g}}, \quad (12)$$

$$RMSE_{E;M} = \sqrt{\sum_{i=1}^g \frac{(G_{E;ref}^g - G_{E;M}^g)^2}{g}}, \quad (13)$$

$$\text{Illetve } RMSE_{L;M} = \sqrt{\sum_{i=1}^g \frac{(G_{L;ref}^g - G_{L;M}^g)^2}{g}}, \quad (14)$$

ahol $M = \text{'3', '5', '3mid', '5mid', '7mid', 'MA3', 'MA5', 'MA3mid', 'MA5mid', 'int'}$ és

$g = 1, \dots, 228$. Mindhárom klímamodell (RegCM, ALADIN, és PRECIS) és mindhárom időszak (1961–1990, 2021–2050, és 2071–2100¹⁶) esetében megvizsgáltam, hogy az esetek hány százalékában volt a kapott $RMSE$ érték egy bizonyos érték alatt (3. táblázat). A vegetációs időszak hosszára az ‘5mid’ és az ‘int’ módszer adta a legjobb becslést. Ennél a két módszernél az $RMSE$ értékek az esetek legalább 67 százalékában 9 nap alatt volt. A vegetációs időszak kezdetére az ‘int’, míg a végére az ‘5’ és az ‘5mid’ módszer adta a referenciaértékek legpontosabb becslését. Az említett módszerek használatakor az $RMSE$ 5 nap alatt volt az esetek legalább 78 százalékában.

¹⁵Angolul: Root Means Square Error

¹⁶ 2069–2098 a PRECIS modellnél

Ezek alapján a továbbiakban a klimatikus indikátorok, valamint extrém hőmérsékleti és csapadékesemények gyakoriságának meghatározásakor, ha szükség volt a vegetációs időszak kezdetének, végének vagy hosszának éves szintű ismeretére, az '5mid' és az 'int' módszert használtam. Ez a két módszer a rögzített dátumokat (április 1. – szeptember 30. vagy április 1. – október 31.) vagy a 'referenciamódszer' adta dátumokat alkalmazó számításoktól eltérően éves szinten használható.

3. táblázat: Azon esetek aránya, amikor a magyarországi rácsponatokon vett *RMSE* [nap] 9 nap alatt volt a vegetációs időszak hosszát vizsgálva és 5 nap alatt a vegetációs időszak kezdetét, illetve végét figyelembe véve. A százalékos arány számításakor három regionális klímamodell (RegCM, ALADIN, és PRECIS) és három időszakot (1961–1990, 2021–2050, és 2071–2100¹⁷) vettem figyelembe. (A vegetációsidőszak-számítási módszerek jelölése és leírása a 3.2. fejezetben található.) A legpontosabb becsléseket vastag betűvel emeltem ki.

	Vegetációsidőszak-számítási módszer								
	'3'	'5'	'3mid'	'5mid'	'MA3'	'MA5'	'MA3mid'	MA5mid'	'int'
GS hossza									
<i>RMSE</i>_{L,M} < 9 nap	0%	33%	0%	67%	0%	0%	0%	33%	89%
GS kezdete									
<i>RMSE</i>_{B,M} < 5 nap	0%	22%	0%	56%	0%	11%	0%	22%	100%
GS vége									
<i>RMSE</i>_{E,M} < 5 nap	0%	78%	0%	100%	0%	22%	0%	56%	33%

I.3.3. A vizsgált indikátorok, valamint extrém hőmérsékleti és csapadékindexek

A szőlő életét, éves biológiai ciklusát legnagyobb mértékben az éghajlati viszonyok befolyásolják. A szőlő klimatikus igényeinek leírására, illetve a borvidékek éghajlati viszonyainak jellemzésére számos hőmérsékleti és csapadékadatokon alapuló mérőszámot kidolgoztak. A következőkben a szakirodalomban elterjedten használt mérőszámokat mutatom be. A vegetációs időszakot jellemző mérőszámokat hagyományosan április 1. – szeptember 30. vagy április 1. – október 31. közötti időszakra, azaz egy elméleti vegetációs időszakra számolják, de ezzel a módszertannal szakítva jelen tanulmányomban a klimatikus indikátorokat az '5mid' és az 'int'

¹⁷ 2069–2098 a PRECIS modellnél

módszerrel meghatározott hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszakra számoltam ki. Azért döntöttem a szőlészeti kutatásban elterjedten alkalmazott, hagyományos vegetációs időszaki időpontok módosítása mellett, mert becsléseim szerint a vegetációs időszak kezdetének és végének időpontja jelentősen módosulhat a XXI. század során (lásd 4.1. fejezetben). A hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak hosszának ismerete kiemelkedően fontos, mert ha ez az érték meghaladja az adott növény tényleges vegetációs periódusának (a rügyfakadástól az érésig terjedő időszak) hosszát, akkor az adott növény termeszthető a vizsgált területen (Huzsvai, 2004). Az indikátorokat és extrém indexeket minden k évre és minden magyarországi g rácspontra meghatároztam.

1) $AWI_{GS}^g(k)$ (módosított Winkler-index¹⁸; °C): a k évben a g rácsponthoz tartozó vegetációs időszak¹⁹ ($GS^g(k) = [G_B^g(k); G_E^g(k)]$) során a 10 °C feletti hőmérsékletek 10 °C feletti maradéktagjainak összege:

$$AWI_{GS}^g(k) = \sum_{i=G_B^g(k)}^{G_E^g(k)} \max(0; [T^g(k, i) - 10]), \quad (15)$$

ahol $T^g(k, i)$ a g rácsponthoz tartozó napi átlaghőmérséklet (°C) a k év i . napján. Látható, hogy az összegzést csak a pozitív maradéktagokra ($T^g(k, i) - 10 > 0$) végeztem el.

A szőlőfajtákat a rájuk jellemző Winkler-index alapján csoportosíthatjuk. Az igen korai és korai érésű fajtákra alacsonyabb, míg a kései és igen kései érésű fajtákra magasabb Winkler-index jellemző (4. táblázat; Amerine és Winkler, 1944; Winkler et al., 1974; Davitaja, 1959; Riou, 1994; Kozma, 2002; Botos és Hajdu, 2004).

4. táblázat: A szőlőfajták csoportosítása a Winkler-index alapján (Kozma, 2002; Botos és Hajdu, 2004).

Fajta	Winkler-index ²⁰
Igen korai érésű	690–850 °C
Korai érésű	850–1150 °C
Középérésű	1150–1350 °C
Kései érésű	1350–1600 °C
Igen kései érésű	1600 °C felett

¹⁸ Angolul: Adjusted Winkler Index.

¹⁹ Angolul: Growing Season.

²⁰ Rügyfakadástól a bogyók teljes éréséig (Kozma, 2002).

2) $AHI_{GS}^g(k)$ (módosított Huglin-féle heliotermikus index²¹; °C): a k évben a g rácsponthoz tartozó vegetációs időszak ($GS^g(k)$) alatti hőösszeg, melyet a 16. egyenlet alapján számítottam ki minden k évre:

$$AHI_{GS}^g(k) = d \sum_{i=GS_B^g(k)}^{GS_E^g(k)} \frac{[(T^g(k,i)-10)+(T_{max}^g(k,i)-10)]}{2}, \quad (16)$$

ahol d a földrajzi szélességi koefficiens (Magyarországon $d = 1,05$), $T^g(k,i)$ a g rácsponthoz tartozó napi átlaghőmérséklet a k év i . napján (°C), és $T_{max}^g(k,i)$ a g rácsponthoz tartozó napi maximumhőmérséklet a k év i . napján (°C).

Az Huglin-index értékei alapján megkülönböztethetünk nagyon meleg, meleg, mérsékelten meleg, mérsékelt, hűvös, és nagyon hűvös termesztési területeket (5. táblázat). De nemcsak a termőhelyeket, hanem a szőlőfajtákat is csoportosíthatjuk a rájuk jellemző Huglin-index értékek alapján. Az egyes szőlőfajták eltérő hőigénye miatt, különböző hőösszeg (jelen esetben Huglin-index) az optimális számukra. Az 6. táblázatból kiolvasható, hogy a fehérbort adó fajtáknak többnyire kisebb a hőigénye, vagyis kisebb Huglin-index jellemzi őket. Ezzel szemben a vörösbort adó fajták számára több hő szükséges a szín- és aromaanyagaik gazdagításához, így ezekhez a fajtákhoz nagyobb Huglin-index tartozik (Huglin, 1978; Kozma, 2002; Tonietto és Carbonneau, 2004).

5. táblázat: A termőhelyek osztályozása az Huglin-féle heliotermikus index alapján (Tonietto és Carbonneau, 2004).

Termőhelyi osztályok	Huglin-index
Nagyon meleg	$3000\text{ °C} < HI$
Meleg	$2400\text{ °C} < HI \leq 3000\text{ °C}$
Mérsékelten meleg	$2100\text{ °C} < HI \leq 2400\text{ °C}$
Mérsékelt	$1800\text{ °C} < HI \leq 2100\text{ °C}$
Hűvös	$1500\text{ °C} < HI \leq 1800\text{ °C}$
Nagyon hűvös	$HI \leq 1500\text{ °C}$

²¹ Angolul: **A**ddjusted **H**uglin's **H**eliothermal **I**ndex.

6. táblázat: Az Huglin-féle heliothermikus index értékei és az ahhoz ajánlott szőlőfajták. Az álló betűvel írtak fehérbort, a dőlt betűvel írtak vörösbort adó fajták. (Huglin, 1978; Kozma, 2002 alapján).

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

3) $AHTC_{GS}^g(k)$ (módosított hidrotermikus koeficiens²²; mm°C⁻¹): a k évben a g rácsponthoz tartozó vegetációs időszak vízgazdálkodását jellemzi a csapadékösszeg és a hőösszeg hányadosa alapján:

$$AHTC_{GS}^g(k) = \frac{10 \cdot P_{GS}^g(k)}{TempSum_{GS}^g(k)}, \quad (17)$$

ahol $P_{GS}^g(k)$ a k évben a g rácsponthoz tartozó csapadékösszeg (mm) a $GS^g(k)$ vegetációs időszak során, $TempSum_{GS}^g(k)$ a k évben a g rácsponthoz tartozó napi átlaghőmérsékletek összege (°C) a $GS^g(k)$ vegetációs időszak során, ha a napi átlaghőmérséklet legalább 10 °C.

A szőlő növekedéséhez szükséges optimális $AHTC_{GS}^g(k)$ értéke 1,0 mm°C⁻¹ körüli. A minimumérték 0,3–0,5 mm°C⁻¹, míg a maximumérték 1,5–2,5 mm°C⁻¹. A szőlő növekedése $AHTC_{GS}^g = 0,5$ mm°C⁻¹ alatt megáll, így ezeken a kritikus területeken szőlőtermesztés csak magas páratartalom vagy öntözés mellett lehetséges (Seljaninov, 1928; Kozma, 2002; Mikó, 2009).

4) $P_{GS}^g(k)$ (mm): a k évben és g rácsponthoz tartozó csapadékösszeg a $GS^g(k)$ vegetációs időszak során²³. A szőlő számára 240–320 mm csapadék ideális a $GS^g(k)$ vegetációs időszak során (Varga et al., 2006), ám a szőlő vízfelhasználása

²² Angolul: Adjusted Hydrothermal Coefficient. Ezt a mérőszámot a szőlőtermesztési szakirodalomban Kozma, 2002 nyomán magyar fordításban hidrotermikus koeficiens néven használják, ám társtudományokban hidrotermális együttható néven is említik (Nagy, 2009; Esztergályos et al., 2018)

²³ Angolul: sum of precipitation.

nagymértékben függ a fenológiai fázistól (Oláh, 1979; Varga et al., 2006; Szenteleki et al., 2012).

Csapadék és hőmérsékleti extrémításokat is vizsgáltam, melyek küszöbértékeit az alábbi tanulmányok alapján határoztam meg: Oláh, 1979; Dunkel és Kozma, 1981; Kozma, 2002; Horváth, 2008; Szenteleki et al., 2012.

5) $LRP_{A5_GS}^g(k)$ (nap): a g rácsponthoz tartozó leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak a k évben, amikor a napi csapadékösszeg 5 mm feletti a $GS^g(k)$ vegetációs időszak során²⁴.

6) $LDP_{B1_GS}^g(k)$ (nap): a g rácsponthoz tartozó leghosszabb egybefüggő száraz időszak a k évben, amikor a napi csapadékösszeg 1 mm alatti a $GS^g(k)$ vegetációs időszak során²⁵.

7) $YN_{A35_GS}^g$: a g rácsponthoz tartozó azon évek száma, amikor legalább egy olyan nap van az évben, amikor a napi maximumhőmérséklet 35 °C feletti a $GS^g(k)$ vegetációs időszak során²⁶. Extrém magas (35 °C feletti) léghőmérséklet esetén a levelek és a bogyók megperzselődhetnek, a fotoszintézis pedig leáll.

8) $DN_{B1m_GSf}^g(k)$: a g rácsponthoz tartozó azon napok száma a k évben, amikor a napi minimumhőmérséklet -1 °C alatti a $GS^g(k)$ vegetációs időszak első felében²⁷ ($G_B^g(k)$ -től június végéig, tehát ide nem számítom bele az esetleges ősszel előforduló ilyen tulajdonságú napokat). A tavasszal kifakadt rügyek -1 °C alatti léghőmérsékleten már károsodhatnak.

9–10) $DN_{B17m_D}^g(k)$ és $DN_{B21m_D}^g(k)$: a g rácsponthoz tartozó azon napok száma, amikor a napi minimumhőmérséklet -17 °C, illetve -21 °C alatti a nyugalmi időszakban²⁸ ($G_E^g(k)$ és $G_B^g(k + 1)$ között). A kevésbé fagyűrő szőlőfajták -17 °C alatti léghőmérséklet esetén már károsodhatnak. Extrém alacsony (-21 °C alatti) hőmérsékleti

²⁴ Angolul: the longest unbroken (rainy) period of precipitation with above 5 mm per day.

²⁵ Angolul: the longest unbroken (dry) period of precipitation with below 1 mm per day.

²⁶ Angolul: the number of years with at least one day when the daily maximum temperature is above 35 °C.

²⁷ Angolul: the number of days when the daily minimum temperature is below -1 °C during the first part of growing season.

²⁸ Angolul: the number of days when the daily minimum temperature is below -17 °C or -21 °C during dormancy.

értékeknél viszont már minden magyarországi fajta fagykárt szenved. A mélynyugalmi szakaszban súlyosabb a kár, mert ekkor a növényi sejtek keményítővel teltek, melyek fagyáspontja magasabb, mint a kényszernyugalmi időszakban cukorral telt sejteké (Csapó, 1984).

Minden g rácspontra kiszámoltam $AWI_{GS}^g(k)$, $AHI_{GS}^g(k)$, $AHTC_{GS}^g(k)$, $P_{GS}^g(k)$, $LRP_{A5_GS}^g(k)$, és $LDP_{B1_GS}^g(k)$ értékeinek átlagát a vizsgált harmincéves időintervallumokra. $DN_{B1m_GSf}^g(k)$, $DN_{B17m_D}^g(k)$, és $DN_{B21m_D}^g(k)$ értékeit pedig összegeztem a vizsgált időszakokra. Ezeket az átlagokat és összegeket AWI_{GS}^g , AHI_{GS}^g , $AHTC_{GS}^g$, P_{GS}^g , stb. szimbólummal jelöltem.

I.3.4. Statisztikai elemzés

Minden olyan indikátorra és extrém indexre, melyeket minden k évben meghatároztam (ide értve $G_{B;M}^g(k)$, $G_{E;M}^g(k)$, $G_{L;M}^g(k)$, valamint $AWI_{GS}^g(k)$, $AHI_{GS}^g(k)$, $AHTC_{GS}^g(k)$, $P_{GS}^g(k)$, $LRP_{A5_GS}^g(k)$, és $LDP_{B1_GS}^g(k)$ értékeket, ahol $M = \text{'5mid', 'int'}$), összehasonlítást végeztem annak megállapítására, hogy az indikátorok változása szignifikáns-e $p < 0,05$ szinten. Ehhez a harmincéves időszakokra (R, F_1 , illetve F_2 vagy $F_{2,p}$) minden g rácspontra egytényezős teljes véletlen varianciaanalízist (ANOVA²⁹) futtattam. Szignifikáns eredmény esetén folytattam a vizsgálatot páronkénti összehasonlítással.

Az egytényezős teljes véletlen ANOVA vizsgálatot feltételellenőrzéssel kezdtem. Egy tényező (az időszak) három ($m = 3$) különböző szintjét (R, F_1 , illetve F_2 vagy $F_{2,p}$) vizsgáltam. Mindhárom minta harmincelemű volt ($n = 30$).

A függetlenség feltétele a mintavétel módja miatt teljesült, ugyanis mindhárom vizsgált időszakban az egyes évekre vonatkozó indikátorértékek függetlenek egymástól.

A normalitás ellenőrzésére D'Agostino-tesztet (D'Agostino et al., 1990) végeztem:

$$\chi_{szám}^2 = \left(\frac{Skew}{StErr_{Skew}} \right)^2 + \left(\frac{Kurt}{StErr_{Kurt}} \right)^2, \quad (18)$$

$$Skew = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x-\bar{x}}{s} \right)^3, \quad (19)$$

²⁹ Angolul: one-way completely randomized **analysis of variance**.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}, \quad (20)$$

$$Kurt = \left[\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x-\bar{x}}{s} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}, \quad (21)$$

$$StErr_{skew} = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}}, \quad (22)$$

$$StErr_{Kurt} = 2StErr_{skew} \sqrt{\frac{n^2-1}{(n-3)(n+5)}}, \quad (23)$$

ahol x az adott indikátor vagy extrém index ANOVA modelljének hibatagja.

A normalitás feltételét teljesítettnek tekinthető, ha a $\chi^2_{szám}$ (18. egyenlet) értéke kisebb, mint az $\alpha = 0,001$ szinthez és 2 szabadsági fokhoz tartozó kritikus érték ($\chi^2_\alpha = 13,81551$). A csoportok azonos mintaelemszáma miatt, ezzel a feltétellel a normalitás nem sérült, figyelembe véve az ANOVA módszer robusztusságát (*D'Agostino, 1970; D'Agostino et al., 1990; Field, 2009*).

A szóráshomogenitási feltételt is ellenőriztem. A szóráshomogenitás akkor teljesül, ha az alábbi egyenlőtlenség igaz (*Field, 2009; Tabachnick et al., 2013*).

$$\frac{\max(s_1, s_2, s_3)}{\min(s_1, s_2, s_3)} < 6, \quad (24)$$

ahol s_1 , s_2 , és s_3 a 20. egyenlet alapján számolt korrigált tapasztalati szórása az indikátorok és extrém indexek értékeinek a vizsgált három időszakban (R, F_1 , illetve F_2 vagy $F_{2,P}$). A 24. egyenlőtlenség („ökölszabály”) alkalmazását szintén az azonos csoportbeli mintaelemszám tette lehetővé (*Field, 2009*).

A normalitás feltétele a vizsgálat vegetációs időszaki számítások során nagyrészt teljesült. Ám a vegetációs időszak kezdetére a RegCM (XXI. század végi) adatokon az 'int' módszert használva, valamint a vegetációs időszak hosszára és végére a RegCM (mindhárom vizsgált időszaki) és a PRECIS (XXI. század végi) adatokon az 'int' módszert használva a magyarországi rácpontok nagy részén (több, mint 90 százalékán) sérült a normalitás. A szóráshomogenitás feltétele a vizsgált vegetációs időszaki mérőszámok esetén nagyrészt teljesült. Kivételt képezett a PRECIS (mindhárom vizsgált időszaki) adatokon az 'int' módszerrel végzett számításaim, melyek a vegetációs időszak hosszát és végét becsülték. Itt a magyarországi rácpontok több, mint 90 százalékán sérült a szóráshomogenitás feltétele.

A vizsgált indikátorokra és extrém indexekre végzett ANOVA feltételvizsgálata során megállapítottam, hogy a normalitás feltétele, néhány rácpont kivételével, teljesült

minden vizsgált időszakban mindkét vegetációs-időszak-számítási módszer mellett. Kivételt képeztek a módosított Winkler-index és a módosított Huglin-index RegCM (mindhárom vizsgált időszaki) adatokon az 'int' módszerrel, valamint a PRECIS (XXI. század végi) adatokon az '5mid' és az 'int' módszerrel végzett számítások, ahol a normalitás a magyarországi rácspontok nagy részén (több, mint 90 százalékan) sérült. A szóráshomogenitás feltétele a módosított Winkler-index és a módosított Huglin-index PRECIS (mindhárom vizsgált időszaki) adatokon az '5mid' és az 'int' módszerrel végzett számításait kivéve teljesült a magyarországi rácspontokon. Ezekben az említett esetekben a rácspontok nagy részénél (több, mint 90 százalékan) sérült a szóráshomogenitás, amit a hőmérsékleti indikátorok esetén a XXI. század során várható növekvő hőmérsékleti változékonyság magyarázhat.

A feltételellenőrzés után elvégeztem az egytényezős teljes véletlen ANOVA-t. A szignifikancia szintet $\alpha = 0,05^{30}$ értéknek vettem, de mivel három minta volt (R, F_1, F_2 vagy $F_{2,p}$), ezért a szignifikancia szintre Bonferroni-korrekción alkalmaztam (Bonferroni, 1936), amivel a szóráshomogenitás sérülésének problémáját is kezelni tudtam. Így $\alpha^* = 0,01667$ értéket kaptam.

Minden g rácsponton kiszámoltam az adott indikátor átlagát mindhárom időszakra (ezeket $\bar{x}_R$, $\bar{x}_{F1}$, és $\bar{x}_{F2}$ szimbólumokkal jelöltem), majd meghatároztam a három időszak átlagát, azaz $N = 90$ év átlagát ($\bar{\bar{x}}$).

A próbastatisztika F-értékét a csoportok közötti és csoporton belüli szórásnégyzetek hányadosaként határoztam meg:

$$F_{szám} = \frac{MS_K}{MS_H} = \frac{\frac{1}{m-1}(n(\bar{x}_R - \bar{\bar{x}})^2 + n(\bar{x}_{F1} - \bar{\bar{x}})^2 + n(\bar{x}_{F2} - \bar{\bar{x}})^2)}{\frac{1}{N-m}(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{\bar{x}})^2 - n(\bar{x}_R - \bar{\bar{x}})^2 - n(\bar{x}_{F1} - \bar{\bar{x}})^2 - n(\bar{x}_{F2} - \bar{\bar{x}})^2)}, \quad (25)$$

Ha ez az $F_{szám}$ értéke nagyobb, mint az $1 - \alpha^* = 0,98333$ szinthez és a 2;87 szabadsági fokhoz tartozó kritikus érték ($F_{1-\alpha^*} = 4,29322$), akkor szignifikáns eltérés van a vizsgált időszakok indikátorértékei között.

Amennyiben szignifikáns eltérést kaptam, páronkénti összehasonlítást végeztem. Ehhez a szignifikáns differenciát a következő képlet alapján számítottam:

$$SZD_{\alpha^*} = t_{1-\frac{\alpha^*}{2}} \sqrt{MS_H \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n} \right)}, \quad (26)$$

³⁰ Szignifikancia-szint (α): statisztikai hipotézisvizsgálat során az elsőfajú hiba valószínűsége.

ahol a szignifikancia szint $\alpha^* = 0,01667$, a szabadsági fok 87, így a $t_{1-\frac{\alpha^*}{2}} = 2,44115$ volt.

Ha $|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > SZD_{\alpha^*}$ (ahol i és j a két összehasonlítandó időszakot jelöli), akkor szignifikáns eltérés van a két összehasonlított időszak indikátor értékei között. A függelékben bemutatott térképeken (F6., F7., F9., F10., F12., F13., F15., F16., F19., F20., F22., F23.) a szignifikánsan eltérő értékeket különböző színnel jelöltem.

Munkám során a számításokat Fortran77 programozási nyelvvel, valamint Microsoft Excel (verzió: 2105) szoftverrel végeztem.

A következőkben bemutatott térképek az ArcGIS szoftver 10.2 és 10.3 verziójával készültek. Technikai problémák miatt a térképek egy része EOVS 1972, másik része WGS 1984 vetületű. A térképek összeszerkesztését és feliratozását Microsoft paint.net 4.2.15 szoftver használatával végeztem.

A vegetációs időszak kezdetének, végének és hosszának az '5mid' és az 'int' módszerrel számolt magyarországi eredményeit egyaránt EOVS 1972 vetületű térképeken ábrázoltam. Ezen paraméterek statisztikai vizsgálatának eredményeit Microsoft paint.net 4.2.15 szoftverrel készített összefoglaló táblázatokban mutattam be. Az indikátorok és extrém indexek értékeit, valamint azok statisztikai vizsgálatának eredményeit az '5mid' módszer esetében WGS 1984 vetületű térképeken ábrázoltam. Ugyanezen mérőszámok 'int' módszerrel számolt értékeiről Microsoft Excel (verzió: 2105), valamint Microsoft paint.net 4.2.15 szoftverrel készített összefoglaló táblázatokot közöltem az '5mid' és az 'int' módszer eredményeinek nagyfokú hasonlósága miatt.

I.4. Eredmények

I.4.1. A vegetációs időszak hossza, kezdete és vége ($G_{L;M}^g$, $G_{B;M}^g$, és $G_{E;M}^g$; ahol $M='5mid'$, illetve $'int'$)

A vegetációs időszak magyarországi átlagos hossza az '5mid' módszerrel számolva ($G_{L;5mid}$) a referenciaidőszakban (R: 1961–1990) átlagosan 192 napnak adódott a felhasznált modelleredmények (RegCM, ALADIN, és PRECIS) alapján (7. ábra). Átlagosan április 10-én kezdődött (8. ábra) és október 18-án ért véget (9. ábra) a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak, vagyis az az időintervallum, amikor a napi átlaghőmérséklet tartósan 10 °C feletti. Hosszabb vegetációs időszak (azaz korábbi $G_{B;5mid}^g$ és későbbi $G_{E;5mid}^g$) az alföldi területekre, míg rövidebb vegetációs időszak (azaz későbbi $G_{B;5mid}^g$ és korábbi $G_{E;5mid}^g$) a hegyvidékekre volt jellemző. Ezek a regionális különbségek a XXI. századi számításoknál is jelentkeztek. Az általam használt regionális klímamodellek alapján a vegetációs időszak országos átlagos hossza ($G_{L;5mid}$) 214 napnak (március 30. – október 29.) adódott a 2021–2050 időszakra. A XXI. század végére a RegCM és az ALADIN szimulációk 229 napos (március 21. – november 4.) vegetációs időszakot adtak. A PRECIS szimuláció szerint ez az időszak akár 238 napos (március 20. – november 12.) is lehet (7.táblázat). A XXI. század végére vonatkozó eredmények szignifikánsak voltak ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$) majdnem minden Magyarországi rácsponton (kivéve két rácspontot³¹ az ALADIN modell '5mid' módszerrel számolt vegetációs időszak végi eredményei közül; F1. táblázat).

Az 'int' módszerrel kapott értékek hasonló térbeli és időbeli eloszlást mutattak. A referenciaidőszakra a vegetációs időszak országos átlagos hossza 'int' módszerrel számolva a vegetációs időszak hossza 'int' módszerrel számolva ($G_{L;int}$) 182–190 napnak adódott (F1. ábra). A felhasznált három modell átlagát tekintve a vegetációs időszak országos átlagos kezdete ($G_{B;int}$) április 11-ére (F2. ábra), míg a vége ($G_{E;int}$) október 14-ére esett (F3. ábra). Az 'int' módszerrel kapott eredmények is a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak hosszabbodását mutatták a XXI. század folyamán. A RegCM és az ALADIN modell 201 napos (április 4. – október 21.), míg a PRECIS modell 214 napos (március 30. – október 29.) vegetációs időszakot ($G_{L;int}$) adott a 2021–2050 időszakra. A XXI. század végére ez az érték akár 210 nap (március

³¹ É.sz. 47,125; k.h. 19,125 – Kiskunság ($F_{szám}(2; 87) = 3,84$; $p > 0,05$) és é.sz. 45,625; k.h. 17,625 – Drávamente ($F_{szám}(2; 87) = 3,75$; $p > 0,05$).

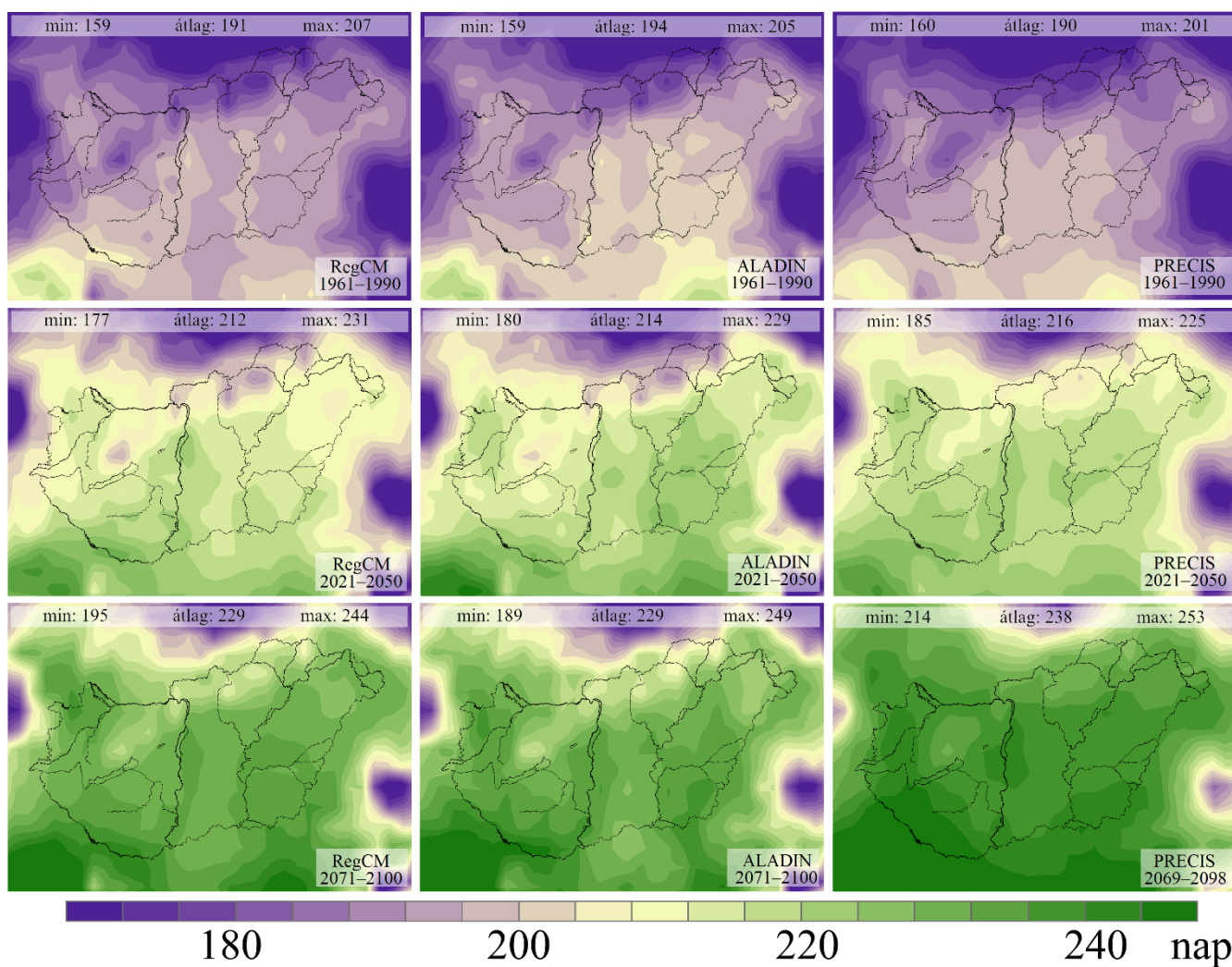
25. – október 21.) is lehet a RegCM és ALADIN szimulációk alapján. A PRECIS szimulációs eredmények ennél is hosszabb, 226 napos (március 24. – november 4.) vegetációs időszakot adtak (F1. táblázat). A XXI. század végére mindhárom klímamodell alapján a vegetációs időszak kezdete a magyarországi rácspontok legalább 90 százalékan szignifikánsan ($F_{szám}(2; 87) > 4,29; p < 0,05$) korábbra várható, ám a vegetációs időszak vége és hossza esetén nem kaptam ilyen markáns eredményt, bár az ALADIN modell a XXI. század végére a rácspontok legalább 60 százalékan szignifikánsan hosszabb hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszakot adott (F2. táblázat).

Habár az 'int' módszerrel végzett számítások csak a vegetációs időszak kezdetére adtak minden modell esetén szignifikáns eredményt, az '5mid' módszerrel végzett számításokat is figyelembe véve elmondható, hogy az eredményeim azt sugallják, hogy a XXI. század során a változó hőmérsékleti körülmények hosszabb vegetációs időszakot tehetnek lehetővé a XX. század végi számított (és mért) eredményekhez képest. A vegetációs időszak kezdete általánosan korábbra, vége pedig későbbre várható, mint az a XX. század végére jellemző volt.

7. táblázat: Vegetációs időszak magyarországi átlagos hossza ($L; G_{L;5mid}^g$), kezdete ($B; G_{B;5mid}^g$) és vége ($E; G_{E;5mid}^g$) az '5mid' módszerrel számolva.

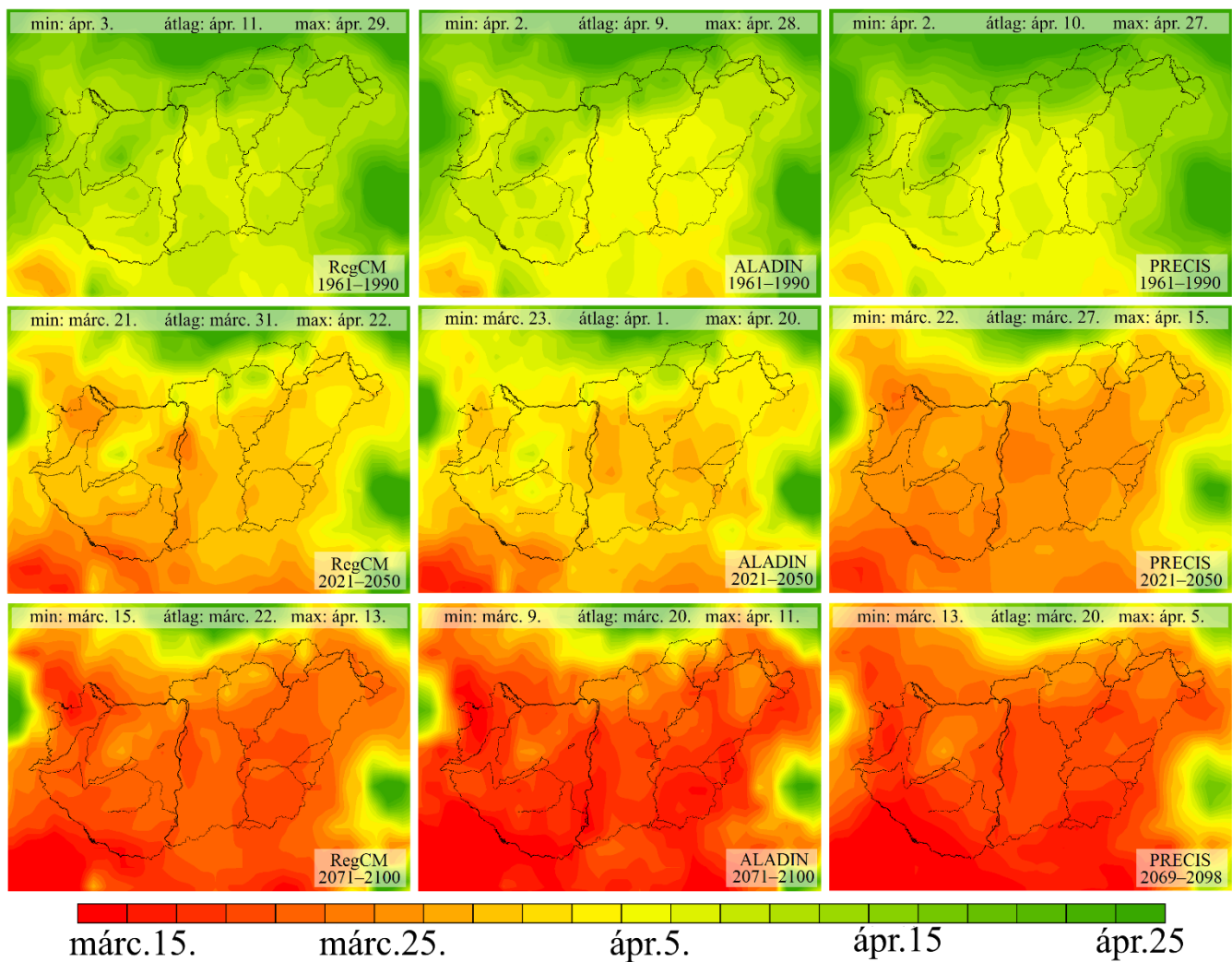
A vegetációs időszak hossza (L), kezdete (B) és vége (E) Magyarországon az '5mid' módszerrel									
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	L	B	E	L	B	E	L	B	E
1961–1990	191 nap	ápr. 11.	okt. 18.	194 nap	ápr. 9.	okt. 18.	190 nap	ápr. 10.	okt. 16.
2021–2050	212 nap	márc. 31.	okt. 28.	214 nap	ápr. 1.	nov. 1.	216 nap	márc. 27.	okt. 28.
2071–2100 ³²	229 nap	márc. 22.	nov. 5.	229 nap	márc. 20.	nov. 3.	238 nap	márc. 20.	nov. 12.

³² 2069–2098 a PRECIS modellnél



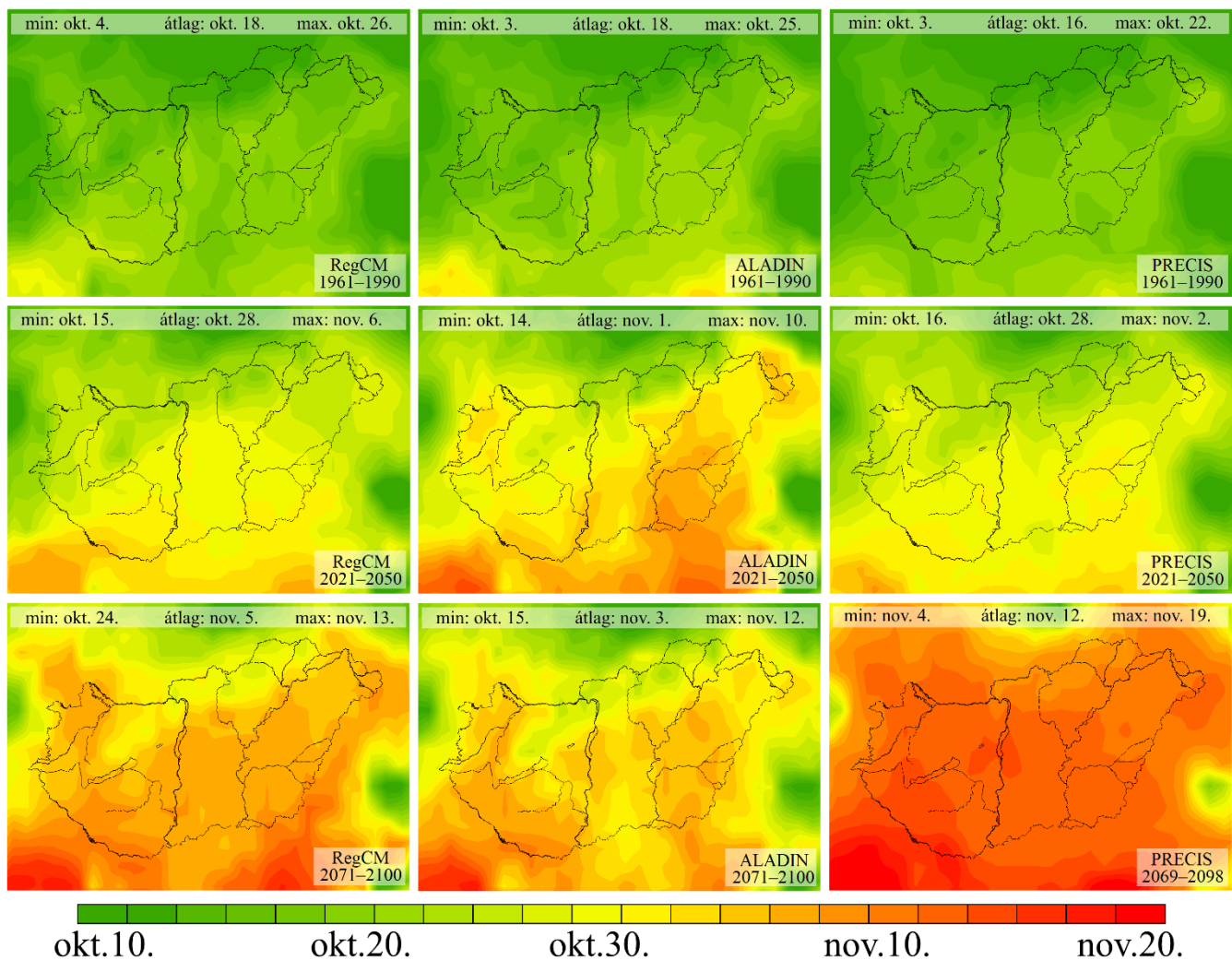
7. ábra: A vegetációs időszak hossza ($G_{L;5mid}^g$, nap) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100³³ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

³³ 2069–2098 a PRECIS modellnél



8. ábra: A vegetációs időszak kezdete ($G_{B;5mid}^g$) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100³⁴ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

³⁴ 2069–2098 a PRECIS modellnél



9. ábra: A vegetációs időszak vége ($G^g_{E;5mid}$) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100³⁵ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

³⁵ 2069–2098 a PRECIS modellnél

I.4.2. Klimatikus indikátorok, extrém hőmérsékleti és csapadékindexek

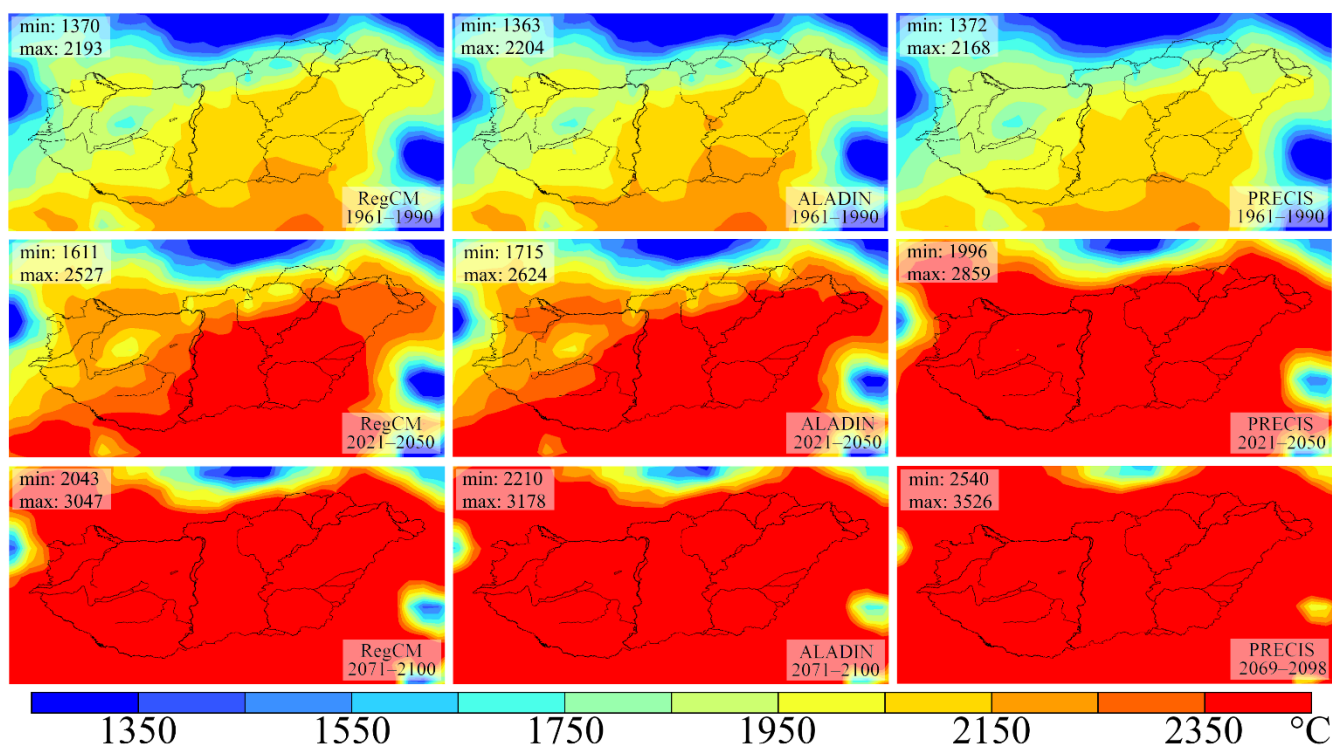
I.4.2.1. A módosított Winkler-index és a módosított Huglin-féle

heliotermikus index (AWI_{GS}^g és AHI_{GS}^g)

A regionális klímamodellek alapján a referenciaidőszakra számított módosított Winkler-index értékek (AWI_{GS}^g) az '5mid' és az 'int' módszerrel rendre 834–1540 °C és 809–1501 °C közé estek (F4. ábra és F3A. táblázat). Magasabb értékek általában az alföldi és kistáplai, míg alacsonyabb értékek a hegyvidéki területekre adódtak. A XXI. század közepére és végére vonatkozó eredmények is ezt a területi eloszlást mutatták. A XXI. század során a módosított Winkler-index értékek (AWI_{GS}^g) növekedésére lehet számítani. A 2021–2050 időszakra az Alföld déli területeire becsült értékek akár 1700–2100 °C is lehetnek. A 2071–2100 időszakra a legmagasabb értékeket ('5mid': 1806–2657 °C; 'int': 1782–2607 °C) a PRECIS modell alapján kaptam. Ugyanerre az időszakra a legalacsonyabb értékeket ('5mid': 1369–2248 °C; 'int': 1333–2161 °C) a RegCM modell adta.

A módosított Huglin-féle heliotermikus index értéke (AHI_{GS}^g) Magyarországon a referenciaidőszakra 1363–2204 °C, illetve 1323–2161 °C között adódott az '5mid', illetve az 'int' módszerrel (10. ábra és F3B. táblázat). A módosított Winkler-index értékek (AWI_{GS}^g) térbeli eloszlásához hasonlóan a legmagasabb módosított Huglin-féle heliotermikus index értékek (AHI_{GS}^g) az Alföld déli területeire adódtak. Minden becslés azt mutatta, hogy ezeken a területeken a XXI. század közepére akár 2350–2850 °C közötti értékek is várhatóak. A legtöbb becslés szerint a XXI. század végére a módosított Huglin-féle heliotermikus index értékek (AHI_{GS}^g) akár a 3000 °C-ot is meghaladhatják a dél-alföldi régióban. A legmagasabb értékeket a 2071–2100 időszakra a PRECIS modell adta ('5mid': 2540–3178 °C; 'int': 2499–3454 °C), míg a legalacsonyabbakat a RegCM modell ('5mid': 2043–3047 °C; 'int': 1976–2903 °C).

A módosított Winkler-index (AWI_{GS}^g) és a módosított Huglin-féle heliotermikus index (AHI_{GS}^g) értékek az '5mid' módszerrel számolva szignifikáns ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$) növekedést mutattak mindhárom modell esetében a vizsgált időszakokban minden magyarországi rácsponton (nem bemutatott ábrák). Az 'int' módszerrel történt számítások esetében pedig az mondható el, hogy a RegCM modell 2021–2050 időszaki eredményeinek kivételével a XXI. századi eredmények szignifikánsan ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$) eltértek a XX. századi referenciaidőszaki értékektől a magyarországi rácspontok legalább 79%-án (F4A. és F4B. ábra).



10. ábra: A módosított Huglin-féle heliotermikus index (AHI_{GS}^g , °C) értéke Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100³⁶ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

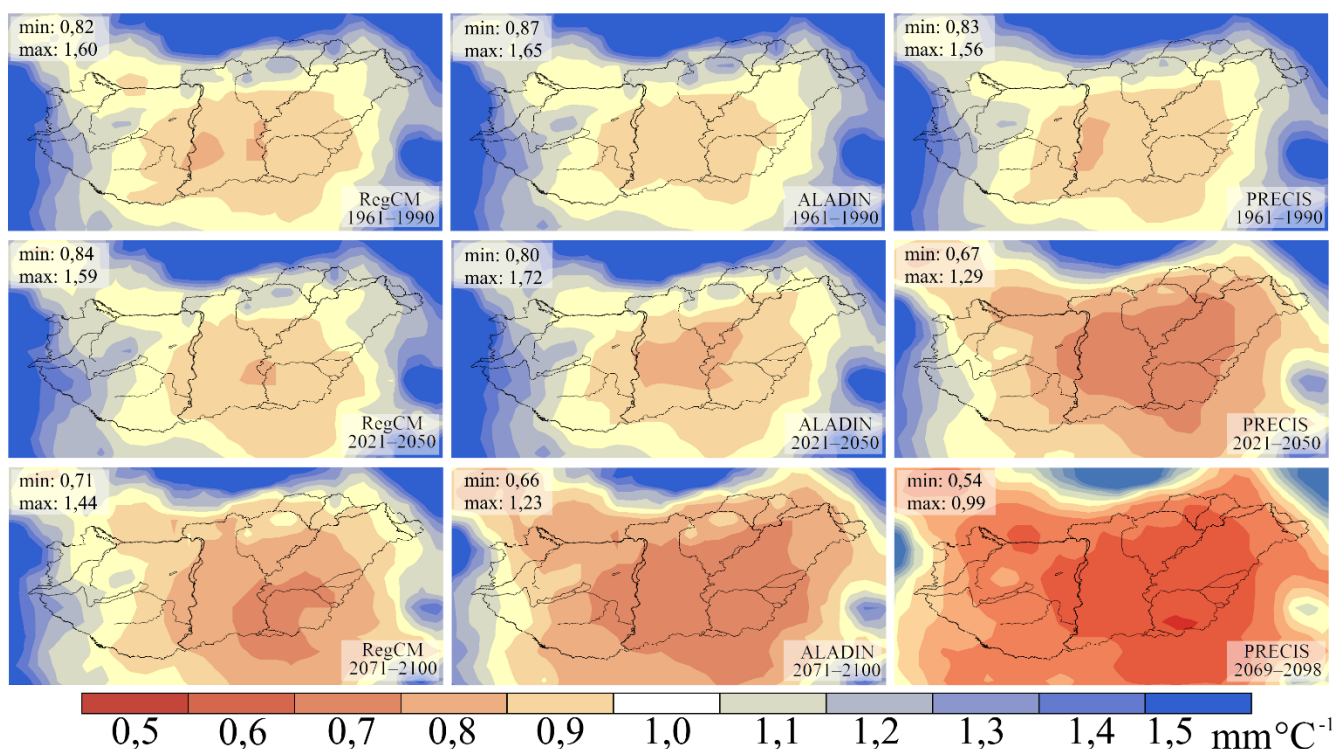
I.4.2.2. A módosított hidrotermikus koeficiens ($AHTC_{GS}^g$)

A módosított hidrotermikus koeficiens ($AHTC_{GS}^g$) 0,82–1,69 mm°C⁻¹ értékeket vett fel a magyarországi rácsponthoz a referenciaidőszakban (11. ábra és F3C. táblázat). Eredményeink alapján magas hőmérséklet kevés csapadékkal ($AHTC_{GS}^g < 1,0$ mm°C⁻¹) többnyire az alföldi területekre volt jellemző, míg a csapadék dominanciája ($AHTC_{GS}^g > 1,0$ mm°C⁻¹) a hegyvidéki területekre. A regionális klímamodell szimulációk alapján a módosított hidrotermikus koeficiens ($AHTC_{GS}^g$) értékek csökkenése várható a XXI. század során. A 2071–2100 időszakra 0,54–1,44 mm°C⁻¹ értékeket adtak a modellek az '5mid' és az 'int' módszer alapján. A módosított hidrotermikus koeficiens ($AHTC_{GS}^g$) értékeinek csökkenése a hőmérséklet dominanciájának növekedését jelenti a csapadékkal szemben, habár a módosított hidrotermikus koeficiens ($AHTC_{GS}^g$) értékek

³⁶ 2069–2098 a PRECIS modellnél

várhatóan nem esnek a kritikus tartományba, azaz $0,5 \text{ mm}^\circ\text{C}^{-1}$ alá, amikor már csak öntözéssel lehetne minőségi szőlőtermesztést folytatni.

A PRECIS modell alapján a XXI. század végére az '5mid' és az 'int' módszerrel kapott módosított hidrotermikus koeficiens értékek ($AHTC_{GS}^g$) egy rácspont kivételével³⁷ az ország teljes területén szignifikánsan ($F_{szám}(2; 87) > 4,29; p < 0,05$) eltértek a referenciaidőszakra becsült értékektől (F5. ábra és F4C. táblázat). A RegCM és az ALADIN modell esetében elsősorban az Északi-középhegység és az Alföld keleti területeire kaptam szignifikáns ($F_{szám}(2; 87) > 4,29; p < 0,05$) csökkenést.



11. ábra: A módosított hidrotermikus koeficiens ($AHTC_{GS}^g$, $\text{mm}^\circ\text{C}^{-1}$) értéke Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100³⁸ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

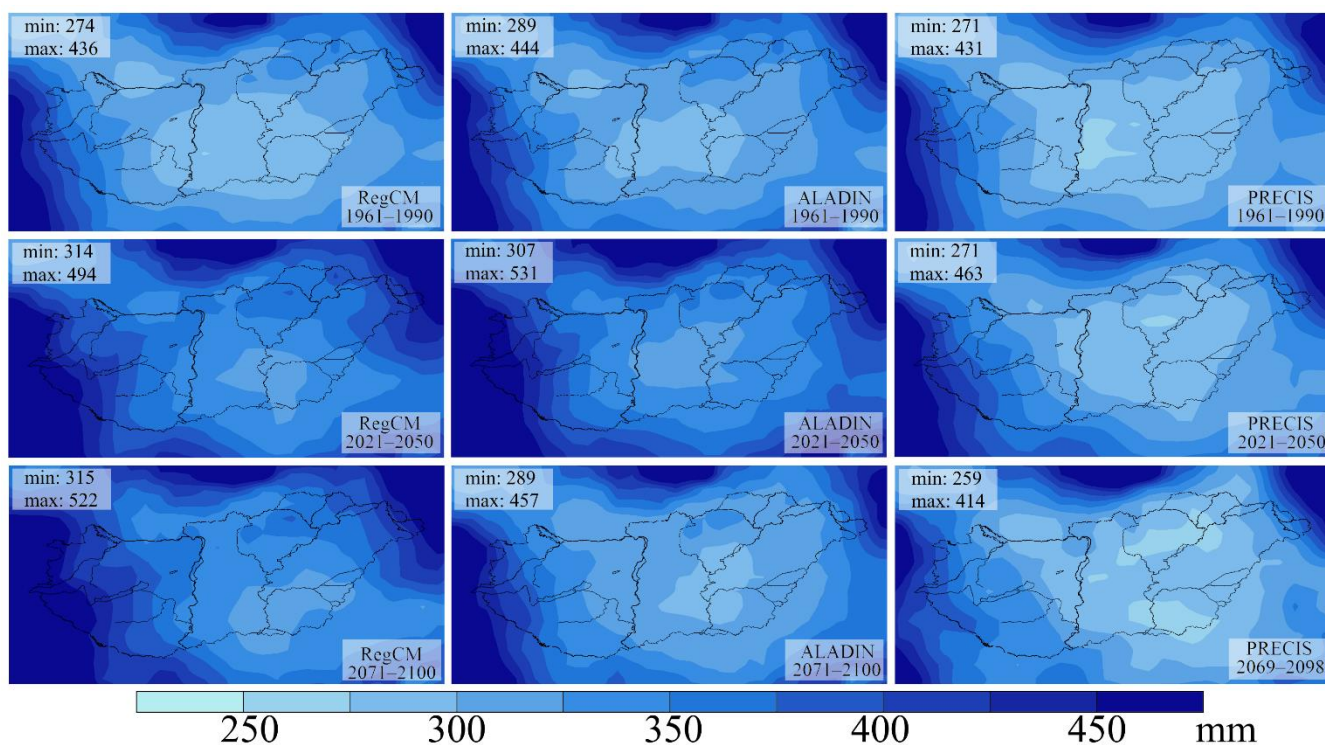
I.4.2.3. Csapadékösszeg (P_{GS}^g)

Mindhárom regionális klímamodell alapján az 1961–1990 időszakra a magyarországi rácspontokra a vegetációs időszaki csapadékösszeg értéke (P_{GS}^g) 266–444 mm között

³⁷ É.sz. 46,125; k.h. 18,375 – Mecsek ($F_{szám}(2; 87) = 3,59; p > 0,05$) '5mid' módszer alapján.

³⁸ 2069–2098 a PRECIS modellnél

adódott (12. ábra és F5A. táblázat). Ez a mennyiség elegendő a szőlő élettevékenységeihez (Kozma, 2002). A legkevesebb csapadékot az alföldi és kisalföldi területekre adták a modellek. Vizsgálataink nem mutattak egyértelmű változást a XXI. század során. A RegCM outputok alapján az ‘5mid’ módszerrel számított P_{GS}^g értékek szignifikáns ($F_{szám}(2; 87) > 4,29; p < 0,05$) növekedést mutattak a Dunántúlon és Északkelet-Magyarországon a XXI. század során (F8. ábra). A XXI. század végére 315–522 mm közötti vegetációs időszaki csapadékösszeg (P_{GS}^g) értékeket adott ez a számítás. A további öt esetben 249–471 mm közötti vegetációs időszaki csapadékösszeg (P_{GS}^g) értékeket kaptam a 2071–2100 időszakra. Ezek a számítások inkább a vegetációs időszaki csapadékösszeg (P_{GS}^g) értékek csökkenését vetítik előre, de néhány rácsponttól eltekintve ez a változás nem volt szignifikáns ($F_{szám}(2; 87) < 4,29; p > 0,05$; F6. ábra és F6A. táblázat).



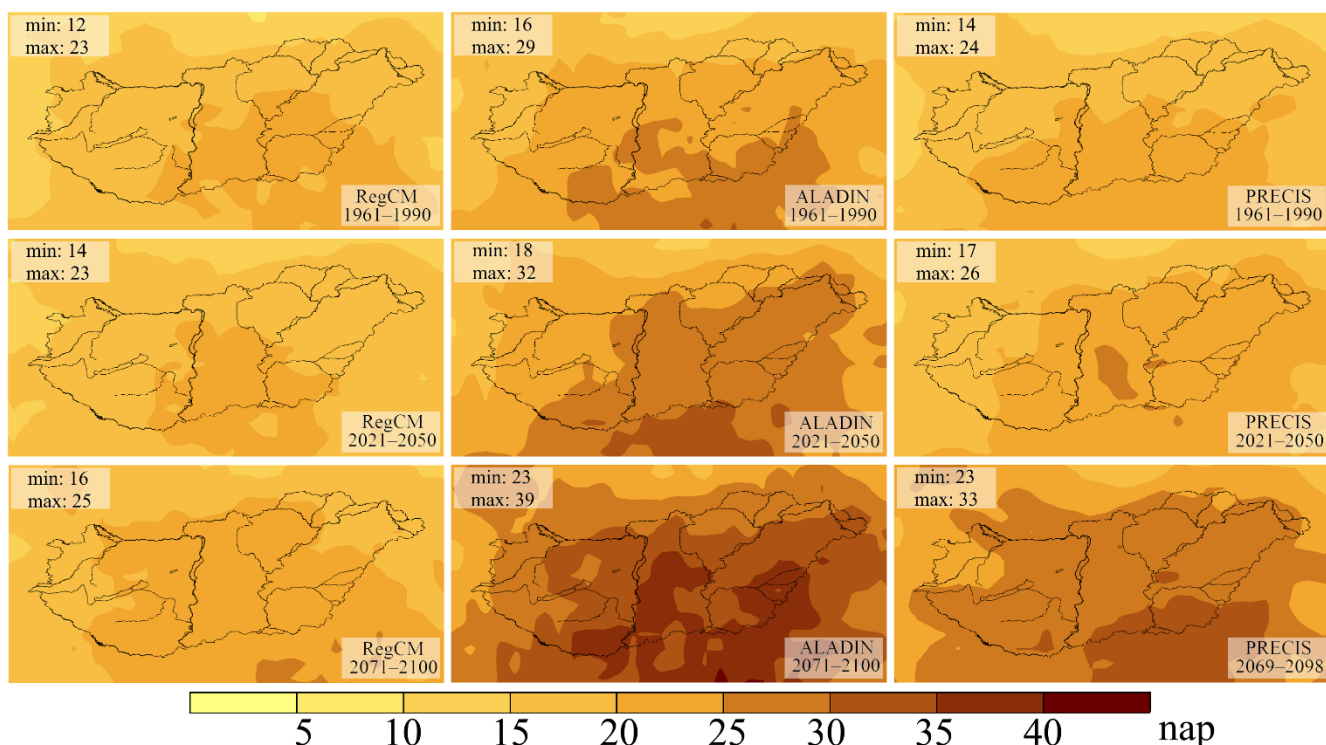
12. ábra: Az átlagos vegetációs időszaki csapadékösszeg (P_{GS}^g , mm) Magyarországon az ‘5mid’ módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100³⁹ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

³⁹ 2069–2098 a PRECIS modellnél

I.4.2.4. Az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos és száraz időszak hossza ($LRP_{A5_GS}^g$ és $LDP_{B1_GS}^g$)

A csapadék éves eloszlása szintén fontos a szőlőtermesztés szempontjából. A referenciaidőszakban az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak hossza ($LRP_{A5_GS}^g$) mindhárom RCM-et figyelembe véve 2,3–4,6 nap volt (F7. ábra és F5B. táblázat). Az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak hosszának ($LRP_{A5_GS}^g$) várható változása néhány rácsponttól eltekintve nem volt szignifikáns ($F_{szám}(2; 87) < 4,29$; $p > 0,05$) a vizsgált időszakokban (F8. ábra és F6B. táblázat).

Az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak hossza ($LDP_{B1_GS}^g$) 12–29 napnak adódott Magyarországon a referenciaidőszakban (13. ábra és F5C. táblázat). Magasabb értékek elsősorban az alföldi területekre adódtak. A XXI. század folyamán elsősorban az ALADIN és a PRECIS modell alapján az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak hosszának ($LDP_{B1_GS}^g$) növekedésére lehet számítani. A 2071–2100 időszakra 15–39 napos értékeket adtak a számítások. A XXI. század végére a növekedés az ALADIN (az ‘5mid’ és az ‘int’ módszerrel) és a PRECIS modell alapján (az ‘5mid’ módszerrel) statisztikailag szignifikáns ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$) volt az ország legnagyobb területére (legalább a rácspontok 68 százalékában; F9. ábra és F6C. táblázat).



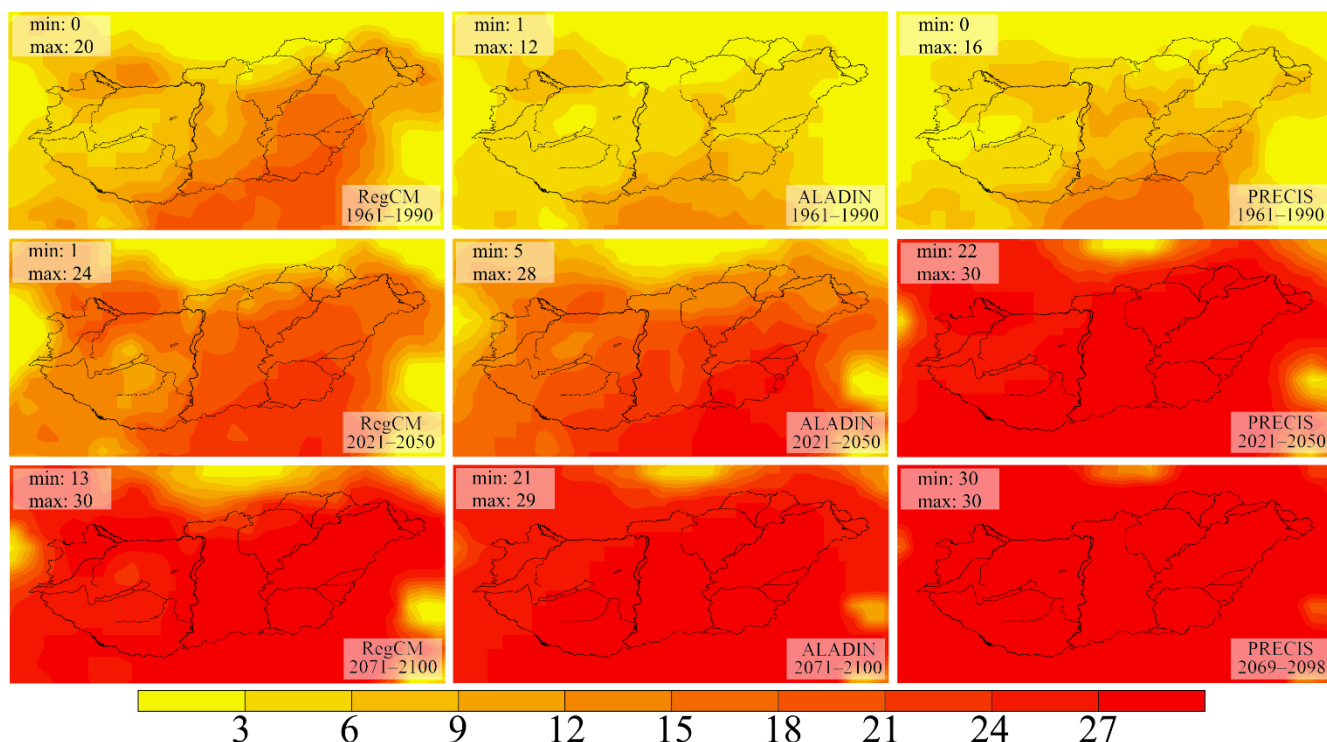
13. ábra: Az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak átlagos hossza ($LDP_{B1_GS}^g$, nap, a napi csapadékmennyiség 1 mm alatti) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁴⁰ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

I.4.2.5. Azon évek száma, amikor extrém magas hőmérsékletű nap fordult elő ($YN_{A35_GS}^g$)

Azokat az extrém hőmérsékleti indexeket is vizsgáltam, melyek kockázati tényezőként jelennek meg a szőlőtermesztésben. Minden regionális klímamodell alapján a referenciaidőszakban minden második, vagy harmadik évben volt legalább évi egy olyan nap az alföldi és kisalföldi régióban, mikor a napi maximumhőmérséklet 35 °C felett volt (14. ábra és F7A. táblázat). A hegyvidéki régiókban nem, vagy ritkán (legfeljebb öt-hat évente) adtak a modellek 35 °C feletti maximumhőmérsékletű napot tartalmazó évet. A XXI. század folyamán azonban az ország teljes területén ezen esetek gyakoribbá válása várható. A XXI. század végére a vizsgált rácspontok legalább 75

⁴⁰ 2069–2098 a PRECIS modellnél

százalékán a vizsgált évek legalább 90 százalékában lehet olyan nap, mikor a napi maximumhőmérséklet meghaladja a 35 °C-ot.



14. ábra: Azon évek száma, amikor előfordult 35 °C feletti napi maximumhőmérséklet ($YN_{A35_{GS}}^g$) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁴¹ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

I.4.2.6. Extrém alacsony hőmérsékletű napok száma ($DN_{B1m_{GSf}}^g$, $DN_{B17m_D}^g$ és $DN_{B21m_D}^g$)

A különböző regionális klímamodell-szimulációk a referenciaidőszakban változatos eredményeket adtak ez extrém alacsony hőmérsékletek tekintetében. A vegetációs időszak első felében jelentkező -1 °C alatti minimum hőmérsékletű napok ($DN_{B1m_{GSf}}^g$) maximális száma az '5mid' módszer alapján 26–43 napnak, illetve az 'int' módszer alapján 12–14 napnak adódott Magyarországon az 1961–1990 időszakban (15. ábra és F7B. táblázat). A két módszer eredménye közötti jelentős különbség egyik lehetséges magyarázata, hogy az 'int' módszer alkalmazásakor a hűvösebb tavaszok esetében több olyan év volt, amikor az 'int' módszerrel nem tudtam a vegetációs időszak kezdetét

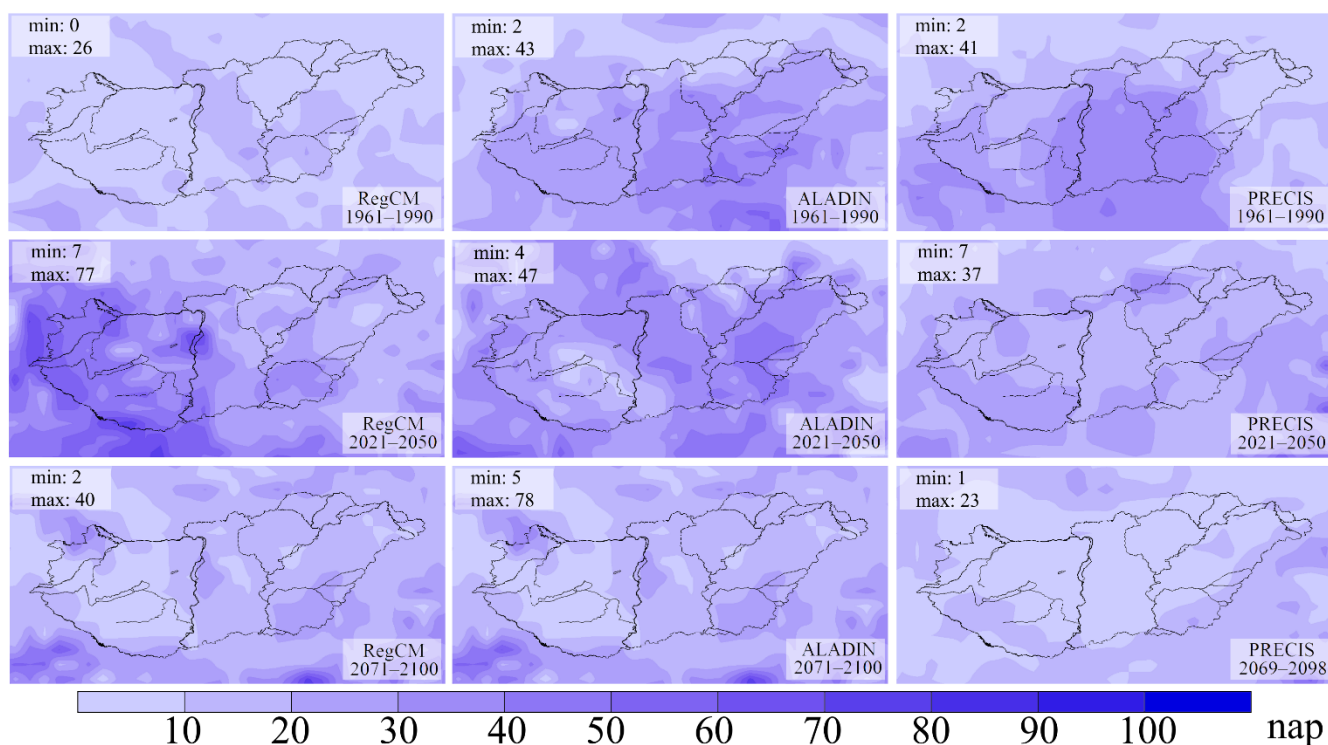
⁴¹ 2069–2098 a PRECIS modellnél

meghatározni, így nem tudtam a további számításokat sem elvégezni arra az évre. A vegetációs időszak első felében jelentkező $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti minimum hőmérsékletű napok ($DN_{B1m_GSf}^g$) minimális száma 0–2 nap között volt. A vegetációs időszak első felében jelentkező $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti minimum hőmérsékletű napok ($DN_{B1m_GSf}^g$) számának térbeli eloszlásával kapcsolatban elmondható, hogy általában az alföldi területekre kaptam gyakoribb $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti minimumhőmérsékleti eseményt. Ennek egyik lehetséges magyarázata, hogy az alföldi területeken általában korábban indul meg a vegetációs időszak, amikor még nagy eséllyel fordulhat elő egy-egy hidegebb esemény. A vegetációs időszak első felében jelentkező $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti minimum hőmérsékletű napok ($DN_{B1m_GSf}^g$) számával kapcsolatban nem kaptam egyértelmű trendet a XXI. század során. A PRECIS modell inkább csökkenést, a RegCM és ALADIN modell inkább növekedést mutatott.

A nyugalmi időszaki extrém alacsony hőmérsékletekkel kapcsolatban, a PRECIS modell nem jelzett $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ (illetve $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$) alatti hőmérsékletet a vizsgált időszakokban. A RegCM és ALADIN modell rendre 6–113, illetve 6–100 olyan napot adott, amikor a napi minimum hőmérséklet $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt volt ($DN_{B17m_D}^g$) a referenciaidőszak során az 'int' és az '5mid' módszerrel egyaránt (F10. ábra és F7C. táblázat). Gyakoribb események az Északi-középhegységben és az Alföld keleti területein jelentkeztek. A RegCM és az ALADIN szimuláció alapján a $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérsékletű napok számának jelentős csökkenése várható a XXI. század során. A $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti minimum hőmérsékletű nyugalmi időszaki napok ($DN_{B17m_D}^g$) száma a 2071–2100 időszakra 0–8 napnak adódott.

A $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti minimum hőmérsékletű nyugalmi időszaki napok ($DN_{B21m_D}^g$) száma 0–20 napnak, illetve 0–13 napnak adódott rendre a RegCM és az ALADIN modell alapján az 1961–1990 időszakra az '5mid' és az 'int' módszer alapján (F11. ábra és F7D. táblázat). A számítások alapján elsősorban az északi-középhegységi és a kelet-alföldi területeken lehetett ilyen alacsony hőmérsékletre számítani a nyugalmi időszakban. Eredményeim alapján a XXI. század során várhatóan ezek az extrém hideg események szinte teljesen eltűnhetnek. A 2071–2100 időszakra az '5mid' és az 'int' módszer alapján egyedül az ALADIN modell jelzett $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérsékleti eseményt két rácsponton⁴².

⁴² É.sz. 48,125; k.h. 17,125 – Mosoni-Duna környéke (három eset) és é.sz.47,875; k.h. 17,125 – Mosoni-Duna környéke (egy eset).



15. ábra: A $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti minimumhőmérsékletű napok száma a vegetációs időszak első felében ($DN_{B1m_GSf}^g$, nap) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁴³ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁴³ 2069–2098 a PRECIS modellnél

I.5. Eredmények értékelése és javaslatok

Munkám célja a rögzített időpontú vegetációsidőszak-számítási módszerek használata helyett hőmérséklet-alapú módszerek kidolgozása volt. Az általam vizsgált kilenc módszer közül az '5mid' és az 'int' módszer adta az átlagos négyzetes hiba gyöke alapján a legjobb becslését a napi középhőmérsékletek átlagolásán alapuló 'Referenciamódszernek'. A 'Referenciamódszer' kiválóan alkalmazható, ha évtizedes hőösszegátlagokat szeretnénk elemezni, ám éves szintű fagyeseemények becslésre nem használható, szemben az általam vizsgált kilenc módszerrel, melyek a napi szintű extrém hőmérsékleti eseményeket is tudják kezelni. Ám tapasztalataim szerint a tavaszi és őszi tartós hűvös időszakok gondot jelenthetnek a számítások során. Vizsgálataim során kiderült, hogy ha a március és április havi (vagy a szeptember és október havi) átlaghőmérsékletek nagyon közeli értékűek és az április havi átlaghőmérséklet jóval kisebb, mint 10 °C (vagy az október havi átlaghőmérséklet jóval nagyobb, mint 10 °C; lásd I.3.2. fejezet 6. és 7. egyenlőtlenségét), akkor az 'int' módszer hibás eredményt ad. Az egyértelműen hibás eseteket (a május utáni vegetációs időszak kezdetét vagy a november utáni vegetációs időszak befejeződését) a további számítások során nem vettem figyelembe. Ezen kikötések után kiszámítottam a vegetációs időszak kezdetét, végét és hosszát az '5mid' és az 'int' módszerrel. Ezeket az eredményeket felhasználtam négy szőlőtermesztésben használt klimatikus indikátor és hat extrém hőmérsékleti és csapadékindex számításánál. Vizsgáltam ezen értékek térbeli és időbeli változását három regionális klímamodell (RegCM, ALADIN, és PRECIS) 1951–2100 időszakra vonatkozó adatait felhasználva. A vizsgálatok során egy rögzített biológiai alaphőmérsékletet (10 °C) használtam (*Amerine és Winkler, 1944; Winkler et al., 1974; Kozma, 2002*), ám ez a hőmérséklet, ami tartósan szükséges a szőlő vegetációs tevékenységéhez, fajta-, termőhely- és évjáratfüggő (*Galet, 2000; Keller, 2010; Fraga et al., 2016b*). Ez a hőmérsékleti érték a modellezésben könnyen kicserélhető, így további céloom a különböző szőlőfajták eltérő alaphőmérséklete alapján finomítani a vegetációsidőszak-számítási módszereimet (*Hlaszny, 2012; Fraga et al., 2016b*). Emellett céloom más vegetációs-időszakszámítási módszerek (*Varga-Haszonits és Varga, 1999; Szőke és Novák, 2005; Čimo et al., 2020*) használhatóságát vizsgálni.

Munkám során a RegCM, az ALADIN és a PRECIS modell adataival, továbbá az '5mid' és az 'int' módszerrel számolt vegetációs időszaki értékek (a vegetációs időszak kezdete, vége és hossza) övezetes mintázatot mutattak, ami harmonizál más magyarországi mért hőmérsékleti adatsorok adta eredményekkel (*Ambrózy et al., 2002;*

Huzsvai et al., 2004). Több évtizedes átlagban a 10 °C-os küszöbérték átlépése április 10.-e körül várható, ám az Alföld déli területein általában már március végén megtörténik az átlépés. A hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak befejeződése többnyire október 20.-a körül várható. A tartósan 10 °C feletti időszak hossza a XX. században Magyarországon mért hőmérsékleti adatok alapján 179–201 nap közötti volt a nagyobb magyarországi településeken (Huzsvai et al., 2004). Jelen dolgozatban publikált számításaim átlagértékei ennél szélesebb skálán mozogtak ('5mid': 159–207 nap és 'int': 153–200 nap).

Az XXI. században várható éves és évszakos átlaghőmérséklet növekedésének hatására (Bartholy et al., 2007; Zsebeházi, 2011; Pieczka, 2012) a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak (Varga-Haszonits és Varga, 1999; Huzsvai et al., 2004) elsősorban az '5mid' módszerrel végzett számításaim szerint szignifikánsan ($p < 0,05$) meghosszabbodhat Magyarországon. A növekvő hossz szignifikánsan ($p < 0,05$) korábbi kezdettel (hasonló eredményre jutott Chervenkov és Slavov, 2020) és elsősorban az '5mid' módszerrel végzett számításaim szerint szignifikánsan későbbi befejeződéssel járhat. Ez azt jelenti, hogy lehetőség nyílt hosszabb vegetációs időszakkal rendelkező fajták telepítésére és gazdaságos termesztésére.

Magyarország a minőségi szőlőtermesztés északi határán fekszik (Schultz és Jones, 2010). Emiatt a fajtaválasztást a hőmérsékleti adottságok egyértelműen befolyásolják. Az éréshez szükséges hőösszeg (a napi átlaghőmérsékletek 10 °C feletti maradék tagjainak összege január 1. napjától az érésig) széles skálán mozog (fajtafüggően 1200 °C – 1940 °C között Van Leeuwen et al., 2008 nyomán). Ám egy adott fajta éréséhez szükséges hőösszeg más lehet hűvös és meleg éghajlaton (Van Leeuwen et al., 2008). A hőmérsékleti indikátorok (például az Huglin-féle heliotermikus index) várható növekvő értékét a XXI. század során az európai szőlőtermesztő régiókban, felhasználva A1B scenárión (Nakicenovic és Swart, 2000) alapuló regionális klímamodelleket, számos tanulmányban leírták (például Malheiro et al., 2010; Neumann és Matzarakis, 2011).

Ám a szőlőtermesztés jövőbeli képének leírásához a klímaindikátorok jövőre vonatkozó komplex analízise szükséges (például Hlaszny, 2012; Ruml et al., 2012; Fraga et al., 2014, Trbic et al., 2021). Értem ezalatt több regionális klímamodell outputjainak felhasználását és több agroklimatológiai mérőszám elemzését egyaránt.

Jelen dolgozatban bemutatott, Magyarországra vonatkozó eredményeim azt mutatják, hogy a hőösszeg-indikátorok értékeinek szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése várható. Emiatt a

késői érésű, illetve a vörösbort adó, nagyobb hőigényű fajták telepítése előtérbe kerülhet Magyarországon (Zanathy, 2008).

A XXI. századra vonatkozó klímamodell-futtatások (Bartholy *et al.*, 2007) azt sugallják, hogy a magyarországi éves csapadékösszegben nem várható jelentős változás, de az évszakos eloszlás jelentősen módosulhat. Míg a XX. században a legcsapadékosabb a nyár volt, és a legszárazabb a tél, addig a regionális klímamodellek alapján a legcsapadékosabbá a tél, míg a legszárazabbá a nyár (A2 forgatókönyv alapján) vagy az ősz (B2 forgatókönyv alapján) válhat a XXI. század során. Ezekkel a megállapításokkal összecseng az az eredményem, mi szerint nem kaptam egyértelmű szignifikáns változást a vegetációs időszaki csapadékösszeg kapcsán, valamint az, hogy a vegetációs időszaki száraz (napi 1 mm alatti csapadékösszegű) időszakok jelentős, sok esetben szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése várható Magyarországon. Az aszály okozta minőségromlás és termés kiesés megakadályozása több magyarországi (Szalai, 2020; Buzási, 2021) és számos dél-európai (Suter *et al.*, 2019) borvidéken fontos feladattá válhat.

A XXI. század során az extrémítások gyakoribbá válása várható, melyek komoly kockázati, illetve korlátozó tényezőt jelenthetnek a szőlőtermesztésben (Jones, 2007; Teszlák *et al.*, 2009). Vizsgálataim szerint az extrém magas maximum hőmérsékletű napok előfordulási gyakoriságának egyértelmű növekedése várható a XXI. század során (Piecza, 2012). Ez egyértelműen kockázati tényezőként jelenik meg a szőlőtermesztésben. Ezzel párhuzamosan a napi minimum hőmérsékletek értékeiben is növekedés várható (Bartholy *et al.*, 2007). Ez kedvező lehet, mert jelentősen csökkenhet a nyugalmi időszaki extrém alacsony hőmérsékletű esetek száma, ami együtt járhat a fagyeseemények számának csökkenésével, bár az enyhébb telek hatására a rügyek várhatóan kevésbé lesznek fagyállóak (Jones, 2007). Az enyhébb nyugalmi időszaki időjárás miatt a korábbiakhoz képest több kórokozó veszélyt jelent a telek (Harvell *et al.*, 2002), ami megnövekedett növényegészségügyi kockázatot jelent a szőlőtermesztésben. A vegetációs időszak eleji fagyeseemények tekintetében (-1 °C alatti minimum hőmérsékletű napok számában) nem találtam egyértelmű változást a XXI. század során, így a továbbiakban is kiemelt figyelmet érdemes fordítani a frissen kifakadt rügyek fagyvédelmére.

Összességében eredményeim azt sugallják, hogy Magyarországon a XXI. század folyamán is lehetőség nyílt minőségi szőlőtermesztésre, de a fajtahasználat és a termesztéstechnológia átalakulása lehet szükséges (Jones *et al.*, 2005; Malheiro *et al.*, 2010; Gál *et al.*, 2012; Fraga *et al.*, 2016a), továbbá a korábbi évtizedekhez képest nagyobb termés- és minőségigadozással lehet számolni (Teszlák *et al.*, 2009).

II. rész: A Chuine-féle Egységes Modell alkalmazása magyarországi kajszii (*Prunus armeniaca* L.) adatsorokra (1994–2020)

II.1. Bevezetés és célkitűzések

A fenológiai kutatásokban a legtöbbet vizsgált állapot a rügyfakadás és a virágzás. Az elmúlt évtizedekben számos folyamatalapú modellt alkottak a kutatók a fenológiai fázisok becslésére (*Chuine et al.*, 2003). Ezek nagyrészt a napi átlaghőmérsékletek összegzése alapján adnak becslést az egyes fenológiai fázisok bekövetkezési idejére.

Kutatásom célja volt a Chuine-féle Egységes Modell (*Chuine*, 2000) adaptálása egy magyarországi kajsziiültetvény virágzáskezdetének becslésére. A fűzérállapot és virágzáskezdet adatait a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem jogelődeinek tulajdonában álló Kísérleti Üzem és Tangazdaságban, a Gyümölcsstermesztési Tanszék és annak jogelődeinek gondozásában telepített szigetcsépi, illetve soroksári ültetvényében felvételezték 1994–2020 között három kajszifajtára ('Ceglédi bíborkajszii', 'Gönci magyar kajszii' és 'Rózsakajszii C.1406'). A napi középhőmérsékleti adatok az ültetvényhez közeli Országos Meteorológiai Szolgálat Marczell György Főobszervatórium mérőállomásáról származnak.

Az Egységes Modell a mélynyugalmi hidegakkumulációt és a kényszernyugalmi hógyűjtést is figyelembe veszi. A modell komplexitását az is mutatja, hogy a modell futtatásához kilenc paraméter meghatározása szükséges. *Caffarra és Eccel* (2010), valamint *Chuine* (2000) és *Hlasznyi* (2012) munkája nyomán a modell becsült paramétereinek számát hatra csökkentettem. A paraméterter bonyolultsága miatt ennek a hat paraméternek a becslésére a Szimulált Hűtés módszerét⁴⁴ (*Press*, 2007; *Weise*, 2009) használtam. Ez az optimalizációs eljárás nem reked meg a lokális minimumoknál. Az Egységes Modell adaptálását mindhárom kajszifajta adatsorára elvégeztem.

⁴⁴ Angolul: Simulated Annealing Method.

II.2. Szakirodalmi áttekintés

II.2.1. A kajszi termesztési területe és éghajlati igényei

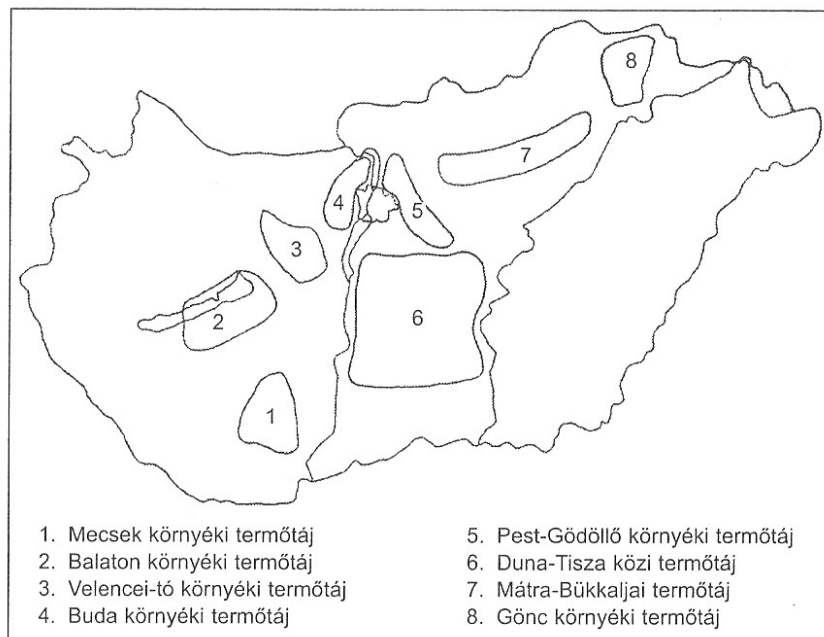
A világszinten termesztett kínai gécenstörű közönséges kajszi (*Prunus armeniaca* L.) nagy fény- és melegigényű. Termesztésére az északi és a déli féltekén a 30. és a 48. szélességi körök között van lehetőség (16. ábra). A 48. szélességen túl nem elegendő a tenyészidőszak hőösszege a beéréshez és a fagyveszély is nagy. A 30. szélesség alatti szubtrópusi területeken pedig a kajszi nem kapja meg a nyugalmi időszak zavartalan lefolyásához szükséges hidegmennyiséget (Szalay, 2003).



16. ábra: A kajszi eredete és elterjedése (Lichou és Audubert, 1989 alapján Szalay, 2013)

Magyarország a termesztetőség északi határán fekszik. Emiatt a termesztésben a legnagyobb kockázati tényező a téli alacsony hőmérsékletek és a kora tavaszi ingadozó időjárás (Németh, 2012). A kajszi az egyik legfagyérzékenyebb Magyarországon termesztett gyümölcsfaj (Szalay, 2003). Az egyes fajták, valamint azok különböző növényi részeinek fagytűrő képessége eltérő és folyamatosan változik. A vesszők, a virág- és hajtásrügyek az őszi lombhullást követően fokozatosan edződnek hozzá a hideghez, majd a virágzási időhöz közeledve fokozatosan csökken a fagyállóság. A fagykárok mérséklése szempontjából fontos a megfelelő termőhely és fajta kiválasztása, valamint a helyesen megválasztott művelésmód (Andor, 2003; Szalay, 2003).

Magyarországon nyolc termőtájon közelítőleg 5000 hektáron folyik kajszi termesztés (17. ábra; *Pár*, 2003; KSH⁴⁵, url⁴⁶)



17. ábra: A kajszi termőtájak Magyarországon (*Pár*, 2003)

A kajszifajták többségének gyenge az ökológiai alkalmazkodó képessége, így az egyes termőhelyeken szűk fajtaválasztékkal találkozunk. A minőségi kajszi termesztésére ott van lehetőség, ahol a tenyészidőszak hőösszege 3200 °C-ot meghaladja és az évi napfénytartam legalább 1900 óra. A Magyarországon termesztett gyümölcsfajok közül a kajszi az egyik legszárazságtűrőbb. Évi 500–600 mm csapadék elegendő számára, de a nyár végi és őszi csapadékhány káros lehet a fák télre való felkészülése szempontjából (*Szalay*, 2003).

A kajszi általában a középkötött, jó vízgazdálkodású, mély rétegű, meleg és levegős talajokat szereti. Elsősorban vályogos kötöttségű talajon termeszthető, de a homoktalajokon is jól fejlődik, ha a talajfelszín alatt ásványi anyagokban gazdag és jó víztartóképes agyagréteg található (*Szalay*, 2003).

⁴⁵ Központi Statisztikai Hivatal

⁴⁶ http://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0014.html

(Utolsó letöltés: 2021.04.06.)

II.2.2. A kajszi virágrügyeinek fejlődése

A virágrügyek a kajszifák terméshezás szempontjából kitüntetett fontosságú szervei. A virágrügyek és hajtásrügyek szöveti felépítése kezdetben azonos. A vegetációs időszak második felében kezdődik a virágrügy-differenciálódás, mely során egyes rügyek vegetatív állapotból generatívba lépnek (Szalay *et al.*, 2003; Németh, 2012). Surányi és Molnár (1981) vizsgálatai a virágrügyképződés kezdete és sebessége között negatív korrelációt mutattak. Vagyis a később meginduló fejlődés üteme gyorsabb volt. Az őszi lombhullásig valamennyi virágszerv (csészelevelek, szíromlevelek, porzók és a termő) kezdeménye kialakul, ám a virágszerveken belül még nincs szöveti differenciálódás. A portokkezdeményekben egynemű szövetállomány, az *arhespórium* található. A portokon belüli szöveti differenciálódás, a mikrosporogenezis első jele a *füzérállapot*, mikor a pollenanyasejtek még egymáshoz tapadva füzereket alkotnak. Ezzel egy időben kezdődik meg a termő hosszirányú növekedése. A portokon belüli szöveti differenciálódás következő szakaszában a *pollenanyasejtek* már elkülönülten láthatók. A pollenanyasejtek négy utódsejtre történő osztódásával alakul ki a *tetrádállapot*, majd a tetrádok szétválásával a *mikrospórák*, melyekből kialakulnak a fajtára jellemző alakú és mintázatú *pollenek*. A pollenfejlődésnél is negatív korrelációt találtak a differenciálódás kezdete és sebessége között. Minél később kezdődött a mikrosporogenezis, annál gyorsabb volt (Szalay *et al.*, 2003).

A kajszi esetben a virágrügyfejlődés és a virágzás kiemelten fontos. A virágzás folyamata genetikailag kódolt, de a környezeti (elsősorban éghajlati) tényezők jelentősen befolyásolják (Papp, 2003). Emiatt jelentős (akár több hetes) különbségek lehetnek az évjáratok, a termőhelyek, illetve adott fa különböző részeinek virágzási ideje között (Szalay *et al.*, 2000; Szalay *et al.*, 2003). A virágzási idő a fajták leírásának szerves részét képezi (Bellini, 2007).

A kajszi általánosságban korai virágzású és fagyérzékeny faj (Soltész, 1996). Az áttelelő szervek közül a virágrügyek a legfagyérzékenyebbek (Németh, 2012). Az igen korai virágzású fajták gyakran megsínylik a tavaszi alacsony hőmérsékleteket (Szalay, 2008). Emiatt a virágzási idő vizsgálata termésbiztonsági szempontból is fontos (Chmielewski *et al.*, 2011).

Magyarországon a kajszi első virágai február vége és április második fele között nyílnak fajta, évjárat és termőhely függvényében (Szabó és Nyéki, 1991; Pedryc, 1992;

Szalay és Szabó, 1999; Szabó et al., 2003; Szalay et al., 2003; Surányi, 2011). Délebbi országokban, a miénknél enyhébb éghajlati körülmények között, a kajszi korábban virágzik, néha már január végén (*Della Strada et al., 1989; Priazzini, 1997*). A virágzás időpontja döntő fontosságú fenológiai fázis a kutatás, a nemesítés és a termesztés szempontjából (*Ledbetter, 2008; Campoy et al., 2020*). Magyarországon a kis időpontbeli különbségek miatt (*Ezzat et al., 2012*) három csoportba soroljuk a fajtákat a virágzási idő alapján: korai, középidejű és késői virágzású (*Szalay, 2001*). Mediterrán országokban gyakran öt csoportot különböztetnek meg (*Della Strada et al., 1989; Szalay és Szabó, 1999; Szalay, 2001*).

A virágzási időszak a korai virágzású években többnyire hosszabb, míg késői virágzás esetén rövidebb, de ezt az időjárás is befolyásolja. A virágnyílás fenológiai menete hat fázisra bontható: pirosbimbós (csészebimbós) állapot, fehérbimbós (szirombimbós) állapot, a virágzás kezdete, fővirágzás, a sziromhullás kezdete, a sziromhullás (virágzás) vége (*Szalay et al., 2003*).

A kajszi rovarmegporzású növény. Virágainak legfőbb megporzói a mézelő méhek (*Szalay et al., 2003*). A kajszi fajták között a teljesen önmeddőtől a nagymértékben öntermékenyülőig minden fokozat előfordul (*Szabó és Nyéki, 1991*). Az önmeddő fajták virágainak megtermékenyítéséhez egy másik fajta virágporára van szükség. A hatékony megporzás érdekében a megporzandó és a pollenadó fajta virágzási idejének minél jobban, de legalább 70 %-ban át kell fedni egymást. Ez az azonos és a szomszédos virágzásiidő-csoportokhoz tartozó fajták esetén biztosított (*Szalay és Szabó, 1999; Szalay et al., 2003; Szabó et al., 2003*). Ezért az egyes fajták virágzási idejének ismerete gyakorlati szempontból is fontos.

A globális klímaváltozás az élő növényeket a virágzástól az érésig egyaránt érzékenyen érinti. A világ különböző tájairól származó hosszú távú megfigyelések alapján más mérsékeltövi lombhullató fákéhoz hasonlóan a kajszi virágzási ideje megváltozott az utóbbi évtizedekben. A legtöbb tanulmány korábban megindult tavaszi fenológiai fázisokat és jelentősen korábbi virágzást ír le, amely folyamatokat elsősorban a globális felmelegedéssel indokolják (*Fitter és Fitter, 2002; Chmielewski et al., 2004; Legave és Clauzel, 2006; Parmesan és Yohe, 2003; Wolfe et al., 2005; Parmesan, 2007; Legave et al., 2009; Surányi, 2011; Grab és Craparo, 2011; Cook et al., 2012; Szalay et al., 2019*). A mérsékeltövi fák tavaszi fenológiáját az őszi és téli hideg, valamint a tavaszi meleg együttes hatása határozza meg. Az enyhébb őszi és téli időjárás hatására

lassabban gyűlik a hidegösszeg, ezáltal a nyugalmi időszak később fejeződik be (*Viti és Monteleone, 1991; Sunley et al., 2006*), ami késlelteti a tavaszi fenológiai fázisok bekövetkezését (*Legave et al., 2009*). Ez magyarázza, hogy néhány tanulmány a melegedés tavaszi fenológiai fázisokat késleltető hatásáról számol be (*Fitter és Fitter 2002; Bartolini et al., 2019, 2020*). Ezzel szemben a melegedő tavaszok korábbi fenológiai fázisokat idéznek elő (*Legave et al., 2009*). A hőmérséklet további emelkedése egyre több fajnál megállíthatja a fenológiai fázisok korábbi megindulását, illetve egyre több fajnál várható a tavaszi fenológiai állapotok későbbi bekövetkezése (*You et al., 2010; Gou et al., 2015*). Emellett a nem megfelelő nyugalmi időszak késleltetett rügyfakadást (*Erez, 2000; Caffarra és Donnelly, 2011; Laube et al., 2014*), kisebb arányú (*Viti és Monteleone, 1995*) és gyakran rendellenes virágzást és terméseszköket is okozhat (*Erez, 2000; Luedeling, 2011, 2012; Campoy et al., 2011, 2020; Bartolini et al., 2020*). A fentiek alapján is kijelenthető, hogy a hőmérséklet kiemelten fontos a fenológiai folyamatok szabályozásában a virágzást megelőzően és a virágzás alatt egyaránt (*Rodrigo és Herrero, 2002; Lakatos et al., 2008*). A klímaváltozás tükrében még fontosabb feladattá válik a nyugalmi időszak megértése és kontrollálása a mérsékeltövi fák produktivitásával kapcsolatban (*Yo et al., 2020*). *Gou és munkatársainak* (2015) feltételezése szerint a mérsékeltövi lombhullató fák tavaszi fenológiai folyamatait a hideg téli területeken elsősorban a kényszernyugalmi hőmérsékletek befolyásolják (amikor már a mélynyugalmi hidegakkumuláció befejeződött), míg meleg telekkel rendelkező területeken a mélynyugalmi hőmérsékletek sokkal nagyobb szerepet játszanak a tavaszi fenológiai fázisok szabályozásában.

II.2.3. A kajszi virágrügyeinek nyugalmi időszaka

A mérsékelt égövi lombhullató fák élettevékenységüket minimálisra csökkentve vészelik át a hideg téli hónapokat (*Haraszty, 1979; Faust et al., 1991*). Vagyis a fák rügyeinek fejlődése télen sem áll le, csak a hőmérséklet függvényében nagy mértékben lelassul (*Tétényiné, 1965; Szalay, 2001*). A mérsékelt övi fák hideg körülmények nélkül is nyugalmi fázisba kerülnek, de a hideg felgyorsítja a nyugalomba kerülést (*Amling és Amling, 1980; Faust et al., 1991*)

A nyugalmi időszaknak három fő szakasza van (Lang et al., 1987; Papp, 2003; Németh, 2012):

- előnyugalom⁴⁷: a növényi részek kölcsönhatásán alapul, a mélynyugalmat készíti elő,
- mélynyugalom⁴⁸: a növény genetikai adottságai határozzák meg,
- kényszernyugalom⁴⁹: környezeti tényezők szabályozzák, a lehűlések miatt következik be.

Az egyes szakaszok nem különíthetők el élesen egymástól. Folyamatos az átmenet (Faust et al., 1997). Emellett a különböző típusú és helyzetű rügyek eltérő ütemben fejlődnek, így egy adott növényen egy adott időpontban különböző stádiumban lévő rügyeket is találhatunk (Tromp, 2005; Szalay, 2001).

A virágrügyek mélynyugalmának kezdete az őszi lombhullás időszakára tehető, de pontos időpontját nehéz meghatározni. Mélynyugalomban a virágszervek fejlődése szinte teljesen leáll (Surányi és Molnár, 1981; Szalay et al., 2003). Ebben az időszakban a virágrügyek semmilyen körülmények között nem nyílnak ki. A virágrügyek ebben az időszakban a legfagyállóbbak (Szalay et al., 2003).

A mélynyugalom befejeződése tekintetében nem egységes a kutatók álláspontja. A magyarországi gyakorlatban többnyire a füzérállapot bekövetkezését (Szalay et al., 2003) tekintik a mélynyugalom végének, ám a nemzetközi gyakorlatban a pollenanyasejtek teljes kialakulásával (Bailey és munkatársai, 1978), vagy a tetrádállapot bekövetkezésével (Scalabrelli és munkatársai, 1991) is definiálják a mélynyugalom befejeződését. Az ezt követő kényszernyugalom alatt a rügyek már érzékenyen reagálnak a hőmérséklet változására. Enyhe időjárás esetén folytatódik a rügyek belsejében a növekedés és a fejlődés (Szalay et al., 2003).

A nyugalmi időszak a mérsékelt övi gyümölcsfák életében nagyon fontos (Luedeling, 2012). A minden évben bekövetkező mélynyugalom szükséges a téli kedvezőtlen hőmérsékleti körülmények túléléséhez (Faust et al., 1997). A mélynyugalom akkor ér véget, ha a növény egy bizonyos hidegösszeget megkapott (Pouget, 1963). Ez a hidegigény a különböző fajták genetikailag rögzített tulajdonsága (Tétényné, 1965; Saure, 1985; Erez és Fishman, 1998; Egea et al., 2003; Papp, 2003). A szükséges

⁴⁷ Angolul: paradormancy.

⁴⁸ Angolul: endodormancy.

⁴⁹ Angolul: ecodormancy.

hidegösszeget a kajszi fák Magyarországon általában decemberig (vagy januárig) megkapják (Szalay *et al.*, 2003).

II.2.4. Fenológiai modellek

A fenológiai modellek rövid és hosszú távon hasznosak a fás szárú növények termesztésében. Éves szinten a növényvédelmi munkák tervezésében segítenek (Williams *et al.*, 1985). A fagykárak megelőzésére is fenológiai modellfuttatásokat végeznek (Linkosalo *et al.*, 2000; Eccel *et al.*, 2009). Emellett a levegőminőségi és orvosepidemiológiai kutatásokban a levegő pollentartalmának becslésére is fenológiai modelleket használnak (Frenguelli *et al.*, 1989, 1991). Ezen túlmenően klíma-modellek adataival futtatva a fenológiai modelleket, a jövőre vonatkozó előrejelzés készíthető az ültetvényrel kapcsolatban (Moriondo és Bindi, 2007; Caffarra és Eccel, 2010; Fila *et al.*, 2012; Hlászny, 2012).

A fás szárú növények éves biológiai ciklusának vizsgálatában a legtöbbet kutatott fenológiai fázis a rügyfakadás és a virágzás (Chuine *et al.*, 2003). A fenológiai modelleket először erdészeti alkalmazásokra adaptálták (Boyer, 1973; Cannel és Smith, 1983; Hänninen, 1990; Kramer, 1994). Később a gyümölcsstermesztési kutatásokban is egyre nagyobb teret kaptak ezen modellek (Caffarra és Eccel, 2010; Chmielewski *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2020)

A fenológiai fázisok bekövetkezésének idejét elsősorban a hőmérséklet befolyásolja (Hänninen, 1990). A hőmérséklet szerepét a fenológiai események bekövetkezésében először Réaumur (1735) írta le, de a legnagyobb fejlődés ezen a területen a számítógépes modellezés alkalmazásával a XX. század második felében következett be (Chuine *et al.*, 2003). A számításokhoz felhasznált adatok származhatnak vad, illetve termesztett növények hosszú távú fenológiai megfigyeléséből vagy kísérletekből. Réaumur (1735) megállapítására építve számos hőmérséklet-alapú modellt alkottak elsősorban a mérsékelt égövi fák vegetatív (pl. rügyfakadás) és reprodukív (pl. virágzás) fenológiájának leírására. (A részleteket és hivatkozásokat lásd Chuine *et al.*, 2003 munkájának 1. fejezetében.)

A fenológiai modellek három nagy csoportját különíthetjük el: elméleti, statisztikai, és folyamatalapú modellek (Chuine *et al.*, 2003; Hlászny, 2012; Kovács, 2018). Az

elméleti modellek elsősorban a levelek fejlődéséhez és a növény egyéb élettevékenységeihez szükséges erőforrások optimalizálásán alapulnak. Ezek a modellek elsősorban a növény életstratégiáinak megértését szolgálják. Ezzel szemben a statisztikai és a folyamatalapú modellekben sokkal nagyobb hangsúlyt kap a növény fenológiai állapotának éves, illetve évközi változásainak megértése és leírása. A modellek megalkotásakor alapfeladat kapcsolatot felállítani a fenológiai események és a klimatikus tényezők között. A statisztikai modellek paramétereit mért klimatikus adatok alapján statisztikai vizsgálatokkal becslik. Statisztikailag általában több optimális paramétervektor állítható elő, de csak egy az, ami biológiailag is helytálló (*Chuine et al.*, 2016). Ezért a növények biológiai folyamatait is figyelembe vevő, úgynevezett folyamatalapú modellek a fenológiai modellek egy külön csoportját alkotják. Ezen modellek a növények biológiai folyamatainak és a környezeti tényezőknek az ok-okozati összefüggéseit is figyelembe veszik (*Thorney és Johnson*, 1990; *Chuine et al.*, 2003)

A hőmérséklet mellett számos más környezeti tényező is szerepet játszik a fenológiai folyamatok irányításában: a fotoperiódus (*Körner és Basler*, 2010; *Way és Montgomery*, 2015), a levegő páratartalma (*Laube et al.*, 2014), a csapadék (*Li és Zhou*, 2012; *Fu et al.*, 2014), a talaj nedvessége és hőmérséklete (*Ishioka et al.*, 2013; *De Barba et al.*, 2016), a tápanyag elérhetősége (*Jochner et al.*, 2013), a fényhatás (*Linkosalo és Lechowicz*, 2006). Hely- és fajspecifikus vizsgálatok szerint ezen tényezők beépítése a modellekbe nem javít jelentősen a becslés hatékonyságán (*Caffarra és Eccel*, 2010, *Chuine et al.*, 2010; *Fu et al.*, 2016; *Dai et al.*, 2019).

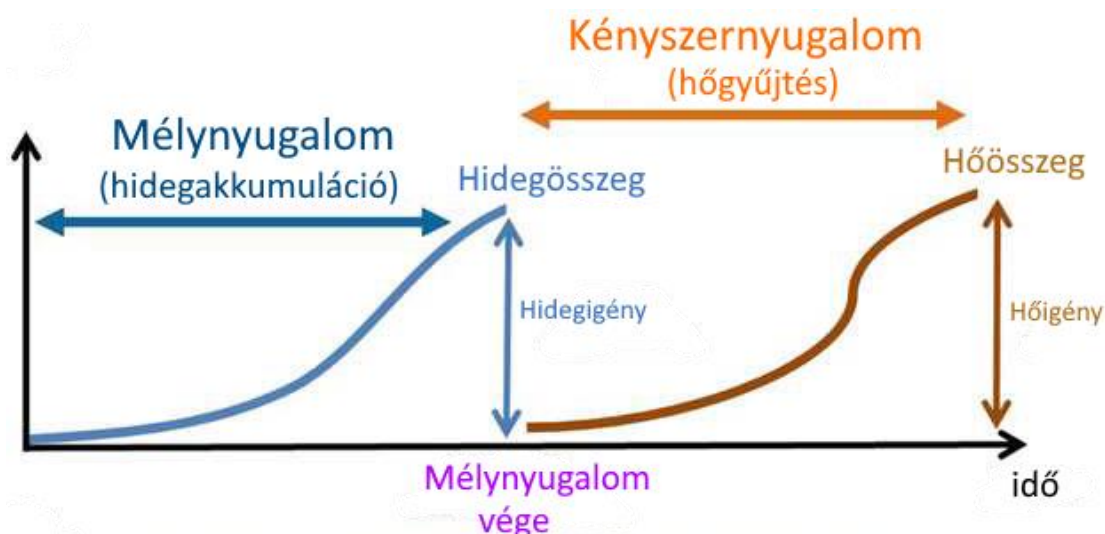
Az elmúlt évtizedekben az egyszerű, két küszöbérték közötti hőmérsékleteket összegző modellektől a bonyolultabb algoritmusokig rengeteg modellt alkottak a kutatók a fenológiai fázisok bekövetkezésének becslésére. Egyes modellek csak a mélynyugalmi hidegakkumulációt írják le (például a Weinberger Model – *Weinberger*, 1950, a Richardson-féle Utah Model – *Richardson et al.*, 1974 vagy a Dynamic Model – *Fishman et al.*, 1987a, 1987b), míg más modellek csak a kényszernyugalmi hőgyűjtést veszik figyelembe (például a Thermal Time Model – *Robertson*, 1968; *Cannell és Smith*, 1983 vagy más forrásokban a Spring Warming Model – *Hunter és Lechowicz*, 1992). Vannak azonban olyan komplex modellek is, melyek a mélynyugalmi hidegakkumulációt és a kényszernyugalmi hőgyűjtést is számításba veszik (ilyen a Sequential, a Parallel, az Alternating, a Deepening Rest és a Four Phases Model; 7. táblázat és 18. ábra). A mélynyugalmi hidegakkumuláció beépítésével többnyire

javítható a becslések pontossága (*Chuine et al.*, 2003; *Caffarra és Eccel*, 2010; *Cook et al.*, 2012; *Chuine et al.*, 2016; *Campoy et al.*, 2020), kivéve azokat a fajokat és régiókat (például néhány dél-európai késői virágzású fajt), ahol a mélynyugalom szinte jelentéktelen szerepet játszik a rügyfakadási és virágzási folyamatok szabályozásában (*Chuine*, 2000). A mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés hőmérsékletfüggése jelentősen különbözik (18. ábra; *Chuine et al.*, 2016; *Campoy et al.*, 2020). Az előbbi optimuma 5 °C körül van, míg az utóbbié 25 °C körül (*Chuine et al.*, 2016), de nagy különbségek vannak a fajok (*Pouget*, 1967; *Hauagge és Cummins*, 2000), de akár egy faj populációi (*Vitasse et al.*, 2013) között is.

A fenológiai modellekkel kapcsolatos vizsgálatokat nehezíti, hogy a mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés folyamata kevésbé ismert, mert a rügyfakadás előtti állapotok nehezen vizsgálhatók (*Chuine*, 2000, *Dai et al.*, 2019). A hiányzó ismeretek miatt lehetséges, hogy hasonló fenológiai modelleket adaptálva dél-európai kajsziültetvényekre a kutatók egymásnak ellentmondó megállapításokra jutottak a hidegakkumuláció és hőgyűjtés fenológiai fázisokat befolyásoló hatása kapcsán. *Ruiz és munkatársai* (2007) a mélynyugalmi hidegösszeg és a virágzás kezdete között pozitív, míg *Bartolini és munkatársai* (2019) negatív korrelációt találtak. *Ruiz és munkatársai* (2007) negatív korrelációt állapítottak meg a hidegösszeg és a nyugalmi időszak megszűnése között és ugyancsak negatív (bár gyenge) korrelációt a hőösszeg és a virágzás kezdete között. Emellett *Bartolini és munkatársai* (2019) a hidegösszeg és a virágzás intenzitása között pozitív korrelációt talált. Ebből is látható, hogy a modellek adaptálása adott helyszínre és fajtákra kiemelten fontos (*Ruiz et al.*, 2007).

7. táblázat: Az Egységes Modell elődjéül szolgáló fontosabb folyamatalapú fenológiai modellek (Kramer, 1994; Chuine et al., 2003 alapján).

Modell neve	Rövid leírás
<u>Thermal Time Model</u> (Robertson, 1968; Cannell és Smith, 1983) <u>Spring Warming Model</u> (Hunter és Lechowicz, 1992)	Csak a kényszernyugalmi hőgyűjtést veszi figyelembe. A napi középhőmérsékletek (faj- és fajtafüggő) bázishőmérséklet feletti maradék tagjainak összege.
<u>Sequential Model</u> (Richardson et al., 1974; Sarvas, 1974; Hänninen, 1987, 1990)	A kényszernyugalmi hőgyűjtés csak a mélynyugalmi hidegakkumuláció befejezése után kezdődik.
<u>Parallel Model</u> (Landsberg, 1974; Sarvas, 1974; Hänninen, 1987, 1990)	A mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés egymással párhuzamosan zajlik.
<u>Alternating Model</u> (Cannell és Smith, 1983; Murray et al., 1989; Kramer, 1994)	Negatív exponenciális kapcsolat van a kényszernyugalmi hőigény és a mélynyugalmi hidegigény között.
<u>Deepening Rest Model</u> (Kobayashi et al., 1982)	A mélynyugalom két szakasza előzi meg a kényszernyugalmat.
<u>Four Phases Model</u> (Vegis, 1964; Hänninen, 1990)	A mélynyugalom három szakasza előzi meg a kényszernyugalmat.

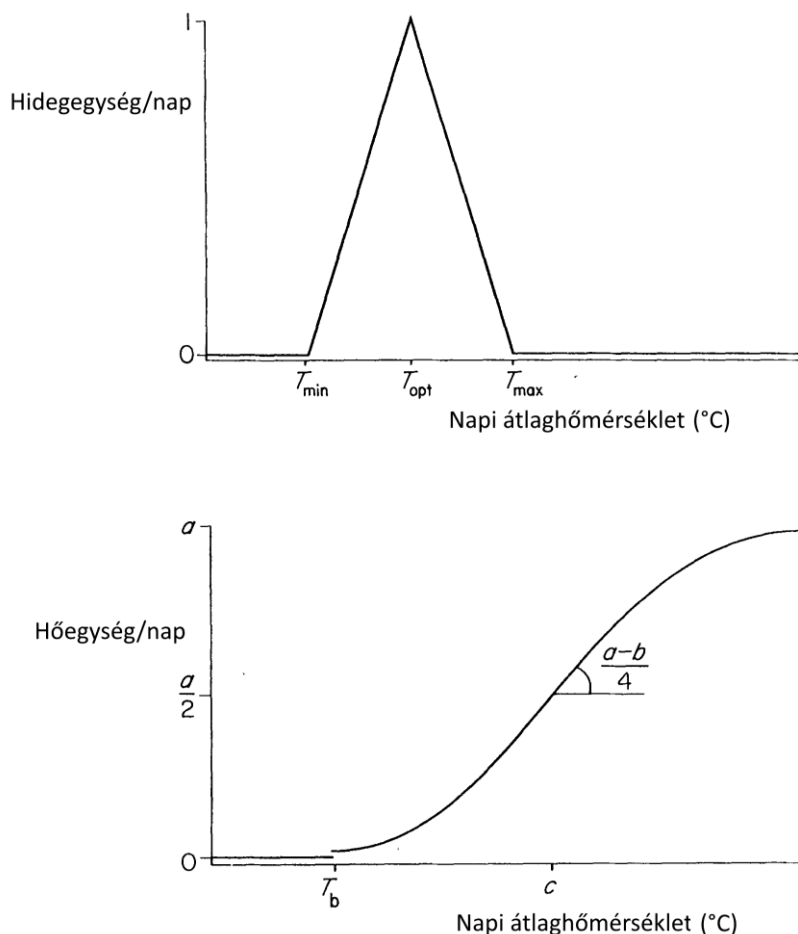


18. ábra: A mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés sematikus ábrája (Campoy et al., 2020 alapján)

Az 1990-es évektől kezdve fontossá vált a modellek általánosítása (19. ábra; Hänninen, 1990; Kramer, 1994), mellyel a különböző munkák összehasonlíthatóvá váltak. A Chuine (2000) által bevezetett Egységes Modell⁵⁰ (UM) két függvényével (lásd ezen munka II.3.2. fejezetében) megfelelő paraméterválasztás mellett a Sequential, a Parallel, a Deepening Rest és a Four Phases Model jól közelíthető. A fenológiai

⁵⁰ Angolul: Unified Model.

modellezés során továbbra is probléma, hogy a nyugalmi időszak alatti biokémiai és biofizikai folyamatok nem pontosan ismertek. Emiatt a modellparaméterek becslése nehéz. Alapvetően két módszert használnak a paraméterek becslésére. Egyrészt kontrollált körülmények között vizsgálják a hajtások hőmérsékletre adott válaszát, másrészt statisztikai modellfuttatásokat végeznek évtizedes adatsorokon (Chuine, 2003). A statisztikai modellfuttatások során alapkövetelmény, hogy a paramétertartományt kísérleti tapasztalatok és fiziológiai ismeretek alapján biológiailag értelmes határok között kell megválasztani (Thorney és Johnson, 1990; Caffarra és Eccel, 2010). Emellett fontos a túlillesztés elkerülése (Janssen és Heuberger, 1995), ami egyrészt biztosítja a biológiai tartalom megőrzését, másrészt nem bonyolítja túl a számításokat. Chmielewski és munkatársai (2011) fél évszázados németországi alma virágzási adatsoron végzett modellfuttatásai is azt igazolták, hogy a közepes bonyolultságú modellek becslési teljesítménye a legjobb.



19. ábra: A Parallel, a Sequential, a Deepening Rest és a Four Phase model napi hidegakkumulációjának és hőgyűjtésének általánosított sematikus ábrája (Hänninen, 1990; Kramer, 1994 alapján). T_{min} , T_{opt} és T_{max} a mélynyugalmi hidegakkumuláció minimum, optimum és maximum hőmérséklete, T_b és c a kényszernyugalmi hőgyűjtés minimum és inflexiós ponti hőmérséklete, a a kényszernyugalmi hőgyűjtés napi maximum értéke és b konstans.

A fenológiai modellek többsége napi átlaghőmérsékletekkel számol, ám *Andreini és munkatársainak* (2014) vizsgálata szerint a korai kajszfajták rügyfakadását a napi minimumhőmérsékletek, míg a közepes és késői érésű fajták rügyfakadását a napi átlaghőmérsékletek szabályozzák.

A kiválasztott fenológiai modellek nagyon érzékenyek a lokális éghajlati körülményekre és a fajtaválasztásra. Ezért minden esetben adaptálni kell azokat a vizsgálni kívánt körülményekhez (*Chuine*, 2000). Ezt a munkát nehezíti, hogy sok esetben hiányos, túl rövid (*Fan et al.*, 2012; *Fila et al.*, 2012) vagy más megfigyelőhöz köthető, ezáltal nem egységes fenológiai adatsor áll a kutatók rendelkezésére. Ennek a problémának a feloldására törekszenek egységes megfigyelő hálózat kiépítésével (*Wang et al.*, 2020), illetve alternatív adatszerzéssel (kontrollált körülmények közti hajtatásos vizsgálatokkal; *Fila et al.*, 2012). Emellett a futtatások jövőre vonatkozó kiterjesztése is alapos előtanulmányokat kíván (*Caffarra és Eccel*, 2010; *Hlaszny*, 2012; *Chuine et al.*, 2016; *Hufkens et al.*, 2018; *Dai et al.*, 2019).

A hidegakkumuláció kezdetét különböző szakirodalmak különböző időponthoz kötik: augusztus 1. (*Garcia de Cortazar-Atauri et al.*, 2009), szeptember 1. (*Chuine*, 2000) vagy október 1. (*Legave et al.*, 2006). Jelen tanulmányban a számításaimat szeptember 1. napján kezdtem. Ez azonban nem jelent igazi megszorítást, mert a magyarországi körülmények között a mélynyugalmi hidegakkumuláció döntően október végén indul meg (*Hlaszny*, 2012; *Legave et al.*, 2013)

II.3. Anyag és módszer

II.3.1. A felhasznált hőmérsékleti és fenológiai adatok

Munkám során a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kísérleti Üzem és Tangazdaság kutatójának, Dr. Szalay Lászlónak kajszifákon (*Prunus armeniaca* L.) végzett megfigyeléseit használtam (Szalay *et al.*, 2019). A vizsgált ültetvény 2007-ig Szigetcsépen (47°15'10.6"N 18°57'26.6"E) volt. A kivágás előtt három évvel egy új kísérleti ültetvényt alakítottak ki Soroksáron (47°23'51.8"N 19°09'03.2"E), ahol folytatták a megfigyeléseket és vizsgálatokat. Ezeket az ültetvényeket a jelenlegi Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Gyümölcsstermesztési Tanszék és jogelődei hozták létre és felügyelték folyamatosan. A két ültetvény környezeti adottságai a közeli földrajzi elhelyezkedés miatt nagyon hasonlóak voltak. 2004–2006 között a két telephelyen párhuzamosan folytak a megfigyelések, melyek kiértékelése során nem találtak markáns eltérést. Az egyes fajták virágzásának kezdete és vége ugyanazon a napon történt mindkét ültetvényben. A jelen munkához használt adatok 1994. szeptember – 2006. április között Szigetcsépről, 2006. szeptember – 2020. április között Soroksárról származnak. Mindkét telephelyen a fák kompakt vázas koronájúak, egyedenként 5 és 3 méteres sor-, és tőtávolsággal. A fák mirobáln magonc (*Prunus cerasifera*) alanyokon állnak. A gyümölcsösben integrált növényvédelmet alkalmaztak. Mindkét ültetvényben fajtánként 6 egyed állt rendelkezésre a vizsgálathoz. Ebben a tanulmányban a virágzás kezdete áll a középpontban. Ez a fenológiai folyamat azon napja, amikor a virágok legalább 5%-a kinyílt az adott megfigyelt kajszifajta fáin. Emellett azt az időpontot használtam fel a számításaim során, amikor a füzérállapot a fák legalább 50%-án bekövetkezett (Nyújtó, 1980; Nyéki, 1989; Soltész, 1996; Szalay *et al.*, 2019). Három, a magyarországi termesztésben elterjedten használt öntermékenyülő kajszifajta adatsorával dolgoztam: 'Ceglédi bíborkajszí' (cb), 'Gönci magyar kajszí' (gm) és 'Rózsakajszí C.1406' (ro). Virágzás szempontjából az előbbi kettő középidejű, míg az utóbbi késői virágzású fajta (Kerek és Nyújtó, 1998; Brózik és Kállayné, 2000; Szabó *et al.*, 2002; Harsányi és Mádyné, 2002; Szalay *et al.*, 2003).

Mivel az említett két telephelyen nem állt rendelkezésre megfelelő hőmérsékleti adatsor, ezért a számításaimhoz az Országos Meteorológiai Szolgálat Marczell György Főobszervatórium mérőállomásáról (47°25'49.2"N 19°06'43.7"E) származó adatokat

használtam. A telephelyek és a meteorológiai állomás térbeli közelsége és a hőmérsékleti mező kis változékonysága miatt az általam használt adatsor jól közelíti az ültetvények mezoklimatikus viszonyait (WMO, 2018). Az Országos Meteorológiai Szolgálat a földfelszíni mérőhálózatában az 1990-es évek elején a folyadékhőmérőkről áttért az elektromos hőmérők használatára. Az elektromos hőmérők kisméretűek, ezáltal gyorsan felveszik a környezet hőmérsékletét, a mérés kevésbé zavarja meg a környezetet (emiat mikroklima vizsgálatokra is alkalmasabbak), érzékenyek, folyamatos, automatikus mérésekre is képesek. Munkám során 1994. szeptember – 2020. április közötti napi átlaghőmérsékleteket használtam. Az értékek egy tizedesjegy pontosságúak voltak. *Chuine és munkatársai* (2016) több folyamat alapú fenológiai modellt vizsgálva nem kaptak jelentős különbséget az órás és a napi hőmérsékleti adatsorok használatakor.

II.3.2. A használt modell

Munkám célja volt három Magyarországon széles körben termesztett kajszifajta ('Ceglédi bíborkajszi', 'Gönci magyar kajszi' és 'Rózsakajszi C.1406') virágzásának kezdetét becsülni napi hőmérsékleti adatok alapján. Ehhez a *Chuine* (2000) által alkotott Egységes Modellt (UM) használtam, mely a mélynyugalmi hidegakkumulációt és a kényszernyugalmi hőgyűjtést is figyelembe veszi. Az UM egy statisztikailag általánosított modell, amivel egységesebbek és összehasonlíthatók a különböző fajokra és területekre vonatkozó munkák (*Chuine*, 2000; *Fu et al.*, 2012). A modell paramétereinek becslésére valamilyen optimalizálási módszert használnak (*Chuine et al.*, 2003; *Fan et al.*, 2012; *Fila et al.*, 2012; *Hufkens et al.*, 2018; *Dai et al.*, 2019), mint például az általam is használt Szimulált Hűtés módszerét⁵¹ (SA; *Press*, 2007; *Weise*, 2009). Ez a módszer jól kezeli a több lokális szélsőértéket is tartalmazó globális optimumkereső problémákat, amelyekben a hagyományos keresési algoritmusok „beragadhatnak”, és nem a globális optimumot adják eredményül (*Chuine et al.*, 1998).

Az Egységes Modell (UM; *Chuine*, 2000) kilenc paramétert (a_c , b_c , c_c , b_f , c_f , w , k_f , C_{crit} , t_c) tartalmazó modell, mellyel napi átlaghőmérsékleti adatok alapján becsülhető a fás szárú fajok vegetatív (például rügyfakadási – *Caffarra és Eccel*, 2010; *Hlaszny*, 2012; *Chuine et al.*, 2016; *Reis et al.*, 2020; *Wang et al.*, 2020), illetve generatív

⁵¹ Angolul: Simulated Annealing.

(például virágzási – *Caffarra és Eccel*, 2010; *Chmielewski et al.*, 2011; *Hlaszny*, 2012; *Chuine et al.*, 2016; *Reis et al.*, 2020; *Wang et al.*, 2020) tevékenysége. Mivel jelen munkám a virágzás kezdetének modellezésére irányult, az Egységes Modell (UM; *Chuine*, 2000) most következő leírásában ez a fenológiai fázis szerepel.

Az UM alapján a mélynyugalom megszűnéséhez szükséges hidegigény (C_{crit} - becsült paraméter), illetve a teljes mélynyugalmi hidegösszeg (C_{tot}) a következőképpen számítható:

$$C_{crit} = \sum_{t_0}^{t_1} \frac{1}{1 + e^{a_c(T - c_c)^2 + b_c(T - c_c)}}, \quad (27)$$

$$C_{tot} = \sum_{t_0}^{t_c} \frac{1}{1 + e^{a_c(T - c_c)^2 + b_c(T - c_c)}}, \quad (28)$$

ahol a_c , b_c , c_c ⁵² becsült paraméter, T a napi átlaghőmérséklet, t_0 egy rögzített kezdődátum (esetünkben szeptember 1.), t_1 a kényszernyugalom kezdete és t_c - becsült paraméter - a mélynyugalmi hidegakkumuláció utolsó napja.

Általánosságban a kényszernyugalom megszűnéséhez, de a mi virágzáskezdetre vonatkozó alkalmazásunkban a virágzás kezdetéhez szükséges hőigény (F_{crit}) és a teljes begyűjtött hőösszeg (F_{tot}), a következő két egyenlet alapján számítható:

$$F_{tot} = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{1}{1 + e^{b_f(T - c_f)}}, \quad (29)$$

$$F_{crit} = w e^{k_f C_{tot}}, \quad (30)$$

ahol b_f , c_f ⁵³ becsült paraméter, T a napi átlaghőmérséklet, t_1 a kényszernyugalomi hőgyűjtés kezdete, t_2 kényszernyugalmi hőgyűjtés vége (jelen dolgozatban a virágzás kezdetének napja), $w > 0$ és $k_f < 0$ becsült paraméter és C_{tot} a teljes begyűjtött mélynyugalmi hidegösszeg. A virágzás akkor történik meg, ha $F_{tot} \geq F_{crit}$. A 30. egyenletből látható, hogy F_{crit} és C_{tot} negatív kapcsolatban van, vagyis több begyűjtött teljes mélynyugalmi hidegösszeg esetén kevesebb a virágzáshoz szükséges kényszernyugalmi hőigény. Ezt a negatív kapcsolatot kísérletileg állapították meg (*Cannel és Smith*, 1983; *Murray et al.*, 1989; *Heide et al.*, 1993; *Myking és Heide*, 1995; *Chuine és Cour*, 1999).

A fent leírt kilenc paraméteres modell kapcsán a következő egyszerűsítésekkel éltem:

1) *Caffarra és Eccel* (2010) alapján használtam a $b_c = 0$ becslést, és így a következő függvénnel írtam le a mélynyugalmi hidegigényt és hidegösszeget:

⁵² A c index a mélynyugalmi (angolul: chilling) fázisra utal.

⁵³ Az f index a kényszernyugalmi (angolul: forcing) fázisra utal.

$$C'_*(T) = \sum \frac{2}{1+e^{a_c(T-c_c)^2}}. \quad (31)$$

2) Számításaim során azzal a feltételezéssel éltem, hogy a mélynyugalmi hidegakkumuláció végeztével kezdődik a kényszernyugalmi hőgyűjtés ($t_c = t_1$; Chuine, 2000; Hlaszny, 2012). Ezt az időpontot a fűzérállapot bekövetkezésével definiáltam. Erre vonatkozóan mért adatokat kaptam a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kísérleti Üzem és Tangazdaság kutatóitól. Mivel $t_c = t_1$, így $C_{crit} = C_{tot}$.

Ezek alapján csupán hat paramétert (a_c , c_c , b_f , c_f , w , k_f) kellett becsülnöm. Szakirodalmi gyűjtés (Chuine, 2000; Caffarra és Eccel, 2010; Fila et al., 2012; Hlaszny, 2012; Fan et al., 2015; Dai et al., 2019) alapján egy kifejezetten terjedelmes paraméterteret választottam. Ennek határait a 8. táblázatban rögzítettem. Mivel k_f egy nullához nagyon közeli szám, az optimalizációt $k_{kitevő}$ -re végeztem az alábbi összefüggés szerint:

$$k_f = -10^{-k_{kitevő}}. \quad (32)$$

8. táblázat: A vizsgált paraméterter rögzített határai és a becsléshez használt lépéshossz⁵⁴.

Paraméter neve	Minimum értéke	Maximum értéke	Lépéshossz
a_c	0	10	0,01
c_c	-50	50	0,1
b_f	-10	0	0,01
c_f	-30	30	0,1
w	0	200	0,1
$k_{kitevő}$	2	9	0,01

II.3.3. Paraméterek becslése a Szimulált Hűtés módszerével

A paraméterek becslésére a Szimulált Hűtés módszerét (SA) használtam (Press, 2007; Weise, 2009). A módszer elnevezése anyagtudományi eredetre utal, ugyanis a fémek hevítését követő hűtésekor fontos, hogy a rendszer ne rekedjen meg egy lokális energiaminimumú, nemkristályos, metastabil állapotban.

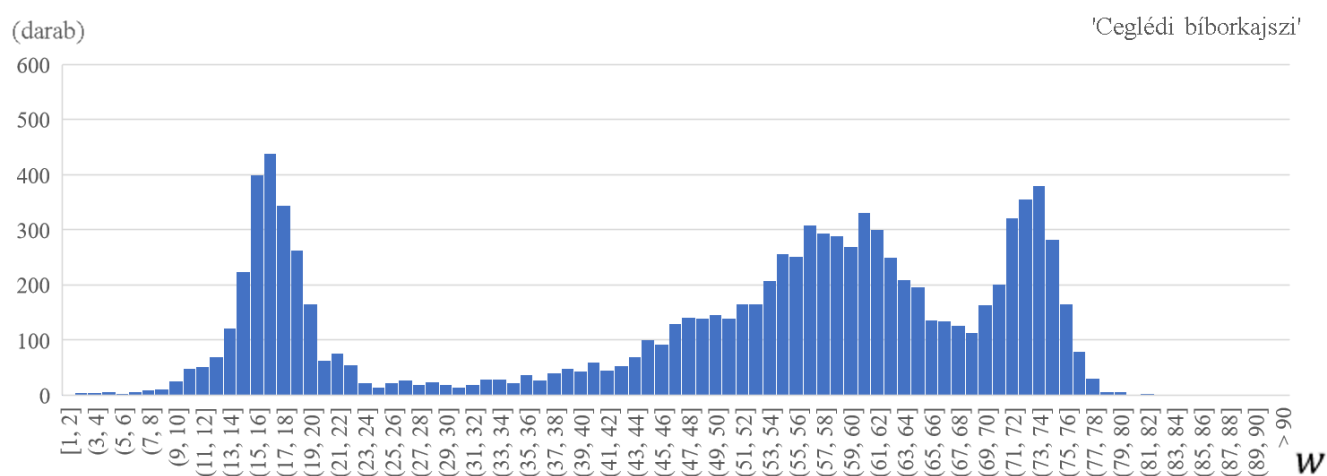
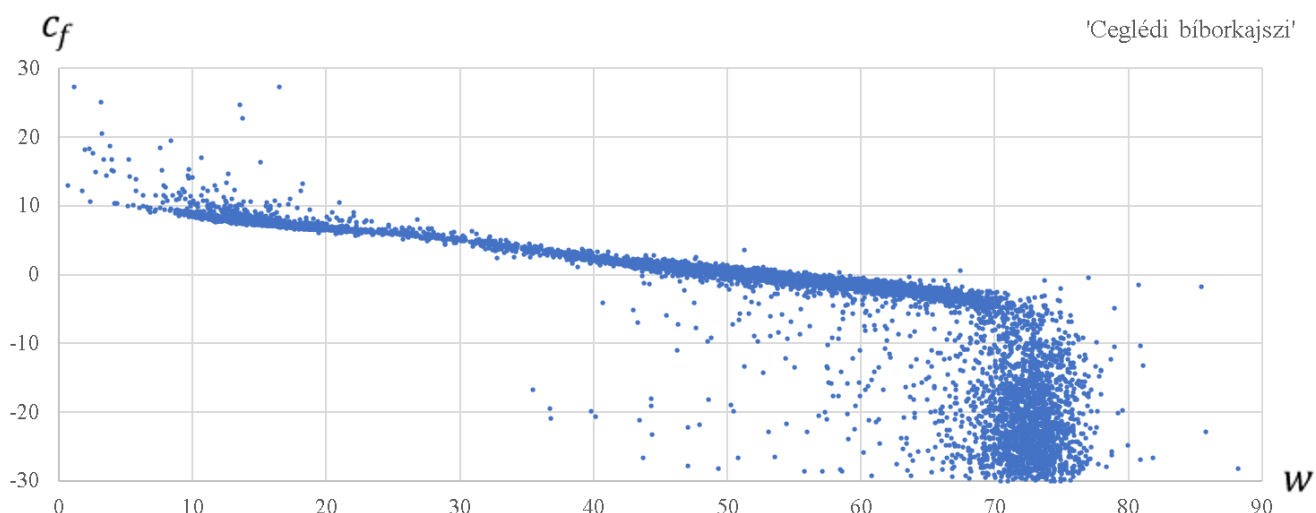
A SA számítási folyamata során azt a paramétervektort kerestem, amellyel a modellt futtatva az eredmények a legjobban illeszkednek a mért virágzási adatsorhoz. Vagyis az

⁵⁴ Ezek nem rögzített lépéshosszak, csupán a lépéshossz megválasztásához használt Gauss-eloszlások σ paraméterei.

illeszkedés jóságának (esetünkben a mért és modellezett adatok közti átlagos négyzetes hiba gyökének; RMSE-nek) a minimumát kerestem a paramétertér határain belül. Ehhez elindítottam egy bolyongást a paramétertér (8. táblázat) egy véletlenszerűen kiválasztott pontjáról, melynek koordinátáit véletlenszerűen választottam ki az egyes paraméter határok között meghatározott egyenletes eloszlásokból. A bolyongás során minden lépéssel csökkentettem a T^* hőmérsékletparaméter értékét a T_{start} kezdőértékről (melyet a kezdő ponthoz tartozó illeszkedés jósága határozott meg) egészen a $T_{crit} = 0,01 \cdot T_{start}$ érték eléréséig $1 - T_{step}$ együtthatóval, ahol $T_{step} = 0,001$. A bolyongás akkor ért véget, ha $T^* \leq T_{crit}$. A bolyongás minden lépése azzal kezdődött, hogy véletlenszerűen kiválasztottam egy módosítandó paramétert (azaz azt a paramétertengelyt, amelyen haladni szeretnék) és véletlenszerűen kiválasztottam egy lépéshosszt egy nulla várható értékű és σ (általam megadott paraméter; 8. táblázat) szórású Gauss-eloszlásból. Ha a lépés kimozdított a rögzített határu paramétertérből, akkor ugyanakkorát léptem adott paramétertengely mentén az ellentétes irányba. (Kivételes esetben ez is kimozdított a határok közül, ami azt jelentette, hogy túl nagy lépést választottam. Ekkor befejeztem a folyamatot és hibaüzenetet küldtem. A lépést elfogadtam 1 valószínűséggel, ha az illeszkedés hibája kisebb volt, mint korábban és elfogadtam $p^* = e^{-\frac{Diff}{T^*}}$ valószínűséggel (ahol $Diff$ a régi és az új illeszkedés hibája közti különbség abszolútértéke), ha az illeszkedés hibája nagyobb lett, mint korábban. Mivel T^* minden lépéssel csökkent, így az új pozíció elfogadásának valószínűsége is folyamatosan csökkent. Ez a lépéselfogadási algoritmus biztosította, hogy az optimalizáció nem rekedt meg a lokális szélsőértékekben. Az optimalizáció eredményéül megkaptam a legjobban illeszkedő hatelemű paramétervektort és az ehhez tartozó RMSE értékét. A három kajszifajta paraméter-vektorának becslésére fajtánként tízezer SA futtatást végeztem.

II.4. Eredmények

Mindhárom kajszifajta paramétervektorára próbafuttatást végeztem. Tízezer bolyongást indítottam el. A kapott eredményekből megnéztem, hogy vannak-e összefüggő paraméterpárok. Ehhez páronként ábrázoltam a paraméterek értékeit. Így összesen 15 diagramot készítettem egy adott kajszifajtára (F12–F14. ábra). Megfigyelhető volt, hogy c_f és w paraméter mindegyik kajszifajta esetében erősen (de nem lineárisan) korrelálnak (20., F15. és F16. ábra felső része), így nem lehet ezt a két paramétert egymástól függetlenül optimalizálni. Úgy döntöttem, hogy w paramétert rögzítem és így optimalizálok. Az összefüggés miatt a w értékekhez egyértelműen tartozik egy optimális c_f érték (20., F15. és F16. ábra felső része). A w paraméter hisztogramjából (20., F15. és F16. ábra alsó része) látszik, hogy döntően három érték (egy kicsi, egy közepes – 'Rózsakajsi C.1406' esetében két közepes – és egy nagy) köré konvergáltatta be a többi paraméter a w értékeket. A nagy w értéket kizártam, mert ahhoz $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti c_f értékek tartoznak, amik a magyarországi időjárási körülmények között teljesen valószínűtlenek a kényszernyugalmi hőgyűjtés során (Hlaszny, 2012; Chuine et al., 2016). A kicsi érték köré konvergált a legtöbb futtatási eredmény mindhárom kajszi esetében és itt kaptam a legkisebb RMSE értékeket is (F17. ábra). Így a kicsi értékű csúcsból választottam ki azt az értéket, amelyen rögzítettem w paramétert. Ehhez megkerestem a tartomány móduszát. A w paraméter ilyen rögzítését mindhárom kajszifajtára elvégeztem ($w_{cb} = 15,6$, $w_{gm} = 17,9$, $w_{ro} = 19,4$) és ezzel a rögzített w értékkel futtattam az optimalizációt. Ismét tízezer bolyongást indítottam. A következő futtatás előtt a paraméterteret jelentősen le kellett szűkítenem a magyarországi körülmények között biológiailag lehetséges paraméterértékek szűk környezetére (9. táblázat; Thorney és Johnson, 1990; Caffarra és Eccel, 2010; Campoy et al., 2012; Gao et al., 2012; Hlaszny et al., 2012). Erre azért volt szükség, mert a kezdeti, kimondottan bő paraméterter megengedett olyan paraméterérték-kombinációkat, amik matematikailag nagyon jól illeszkednek a mért virágzási adatsorra (kicsi az RMSE), ám biológiailag teljesen elképzelhetetlenek. Ilyen például az F18. ábrán bemutatott matematikailag optimális paramétervektorból származó hidegakkumulációs és hőgyűjtési görbék. Látható, hogy a hidegakkumulációs függvény (F18. ábra fent) nagyon széles, így matematikailag már szeptember elején elkezdődik a hidegakkumuláció (F18. ábra lent), ami biológiailag valószínűtlen (Legave et al., 2013).



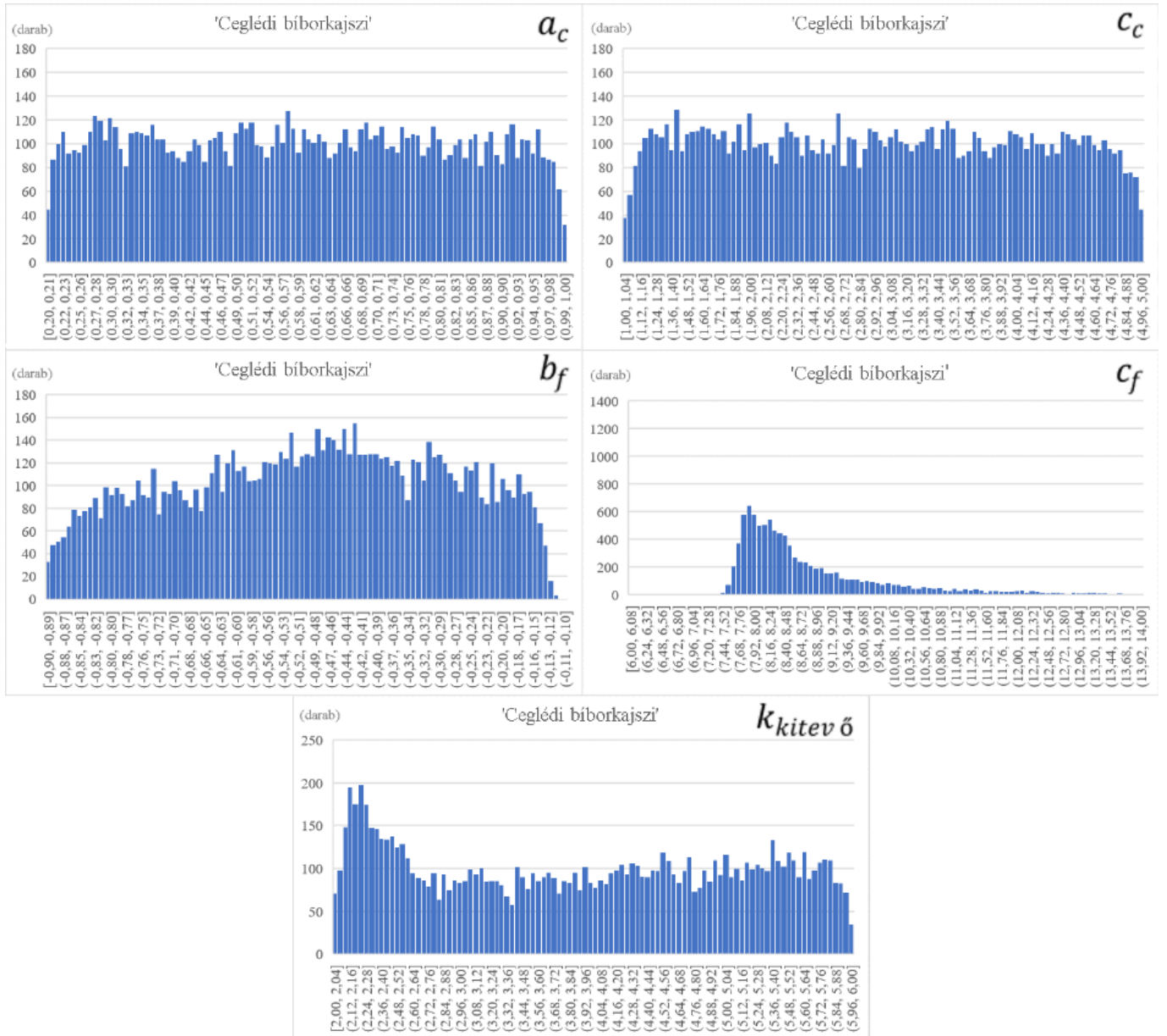
20. ábra: A kényszernyugalmi hőgyűjtés c_f és w paraméterpárjainak becslült értékei (fent) és a w paraméter értékeinek gyakorisága (lent) a 'Ceglédi bíborkajszi' esetén.

9. táblázat: A második (Magyarországon lehetséges, szűkített) paraméterter rögzített határai és a becsléshez használt lépéshossz⁵⁵.

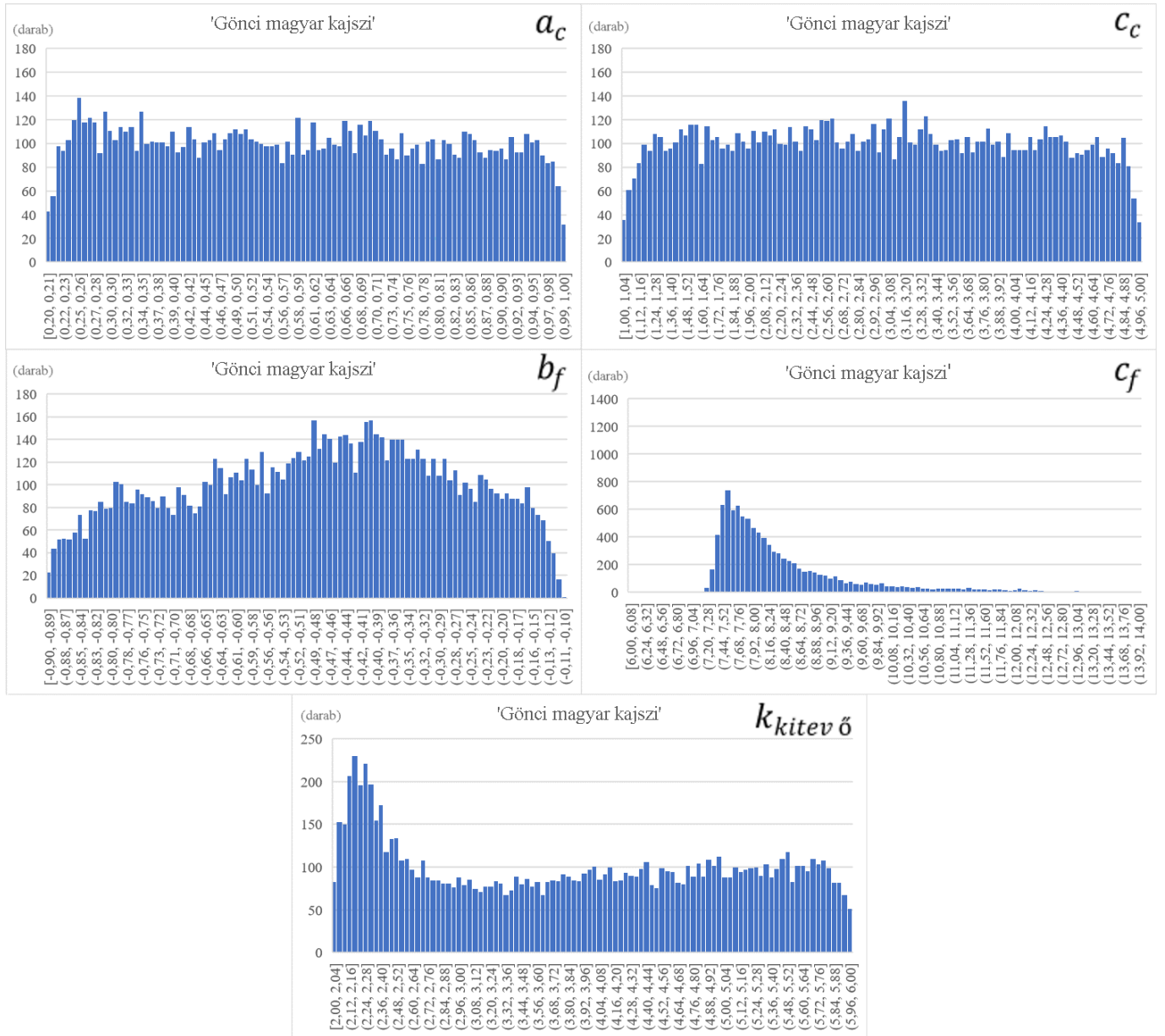
Paraméter neve	Minimum értéke	Maximum értéke	Lépéshossz
a_c	0,2	1	0,001
c_c	1	5	0,005
b_f	-0,9	-0,1	0,001
c_f	6	14	0,01
$k_{kitevő}$	2	6	0,005

⁵⁵ Ezek nem rögzített lépéshosszak, csupán a lépéshossz megválasztásához használt Gauss-eloszlások paraméterei.

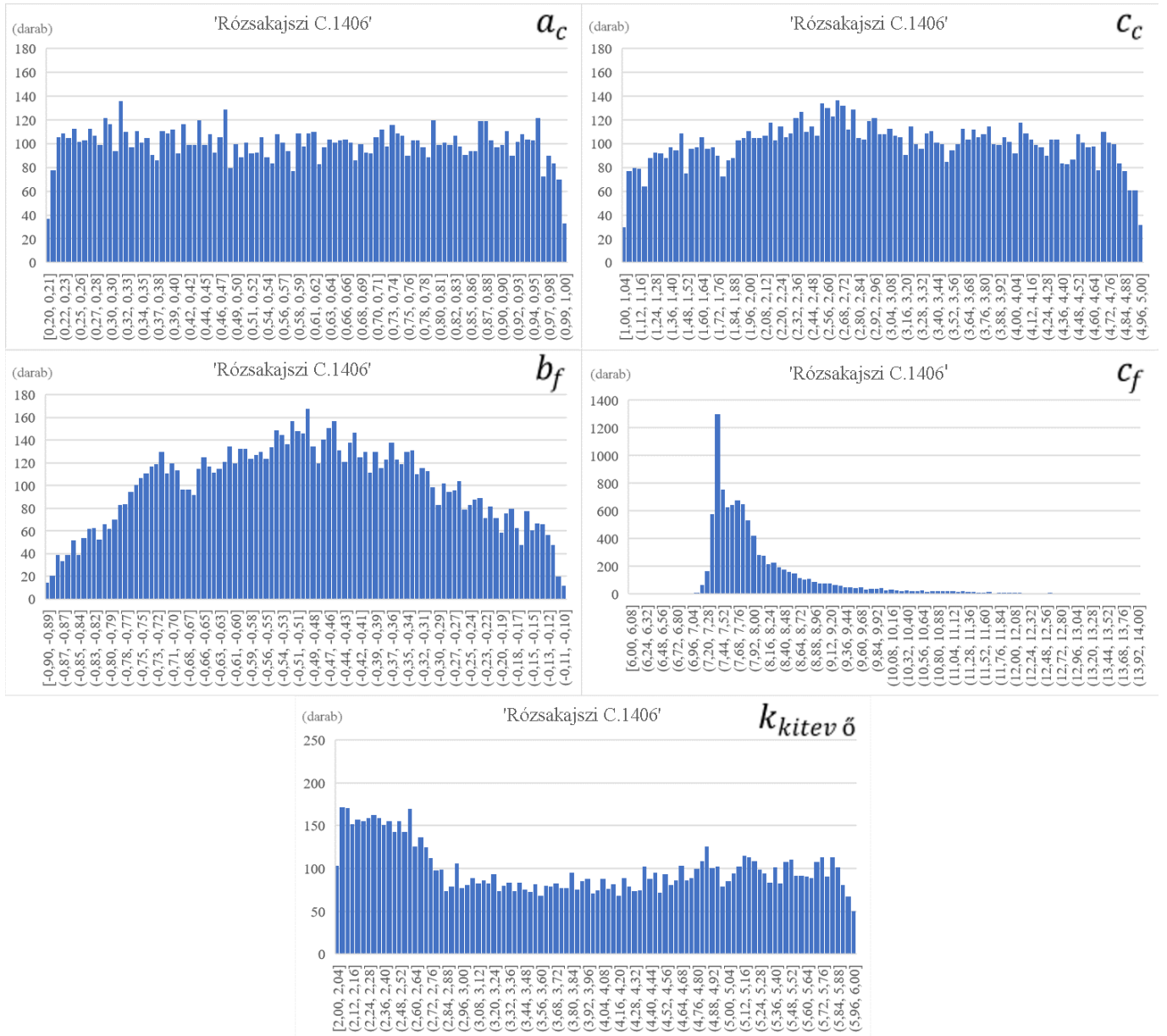
Az új, szűkített paraméterterű futtatások eredményül mindhárom kajsizifajta mind az öt paraméterére tízezer értéket kaptam. Mind a tizenöt esetre (három kajsizifajta és öt paraméter) tízezer adatpontot tartalmazó hisztogramot készítettem (21.a., b., c. ábra). A hisztogramokat 100 tartományra osztottam, mivel ez az adatpontok mennyiségének négyzetgyöke. Így minden tartományba átlagosan 100 adatpont esett, de a Poisson-eloszlás miatt természetes fluktuációra számítottam. Az adatpontok kellően nagy száma miatt a Poisson-eloszlást Gauss-görbével közelíthetjük. Ennek szórása $\sigma = \sqrt{100} = 10$. A hisztogramokon a szignifikáns eltérést $100 \pm 3\sigma$ (legalább 70 vagy legfeljebb 130) értéként definiáltam minden tartományban. Hét esetben (c_f^{cb} , $k_{kitevő}^{cb}$, a_c^{gm} , c_c^{gm} , c_f^{gm} , a_c^{ro} , c_f^{ro}) egy vagy több egymás melletti szignifikáns tartományt kaptam, és további hat esetben (b_f^{cb} , b_f^{gm} , $k_{kitevő}^{gm}$, c_c^{ro} , b_f^{ro} , $k_{kitevő}^{ro}$) több nem egymás melletti szignifikáns tartomány tartozott egy adott paraméterhez. A maradék két esetben (a_c^{cb} , c_c^{cb}) nem kaptam olyan tartományt, amelybe 130 adatpontnál több esett, ám ennél a két paraméternél volt több nem egymás melletti 2σ -s (120 adatpontnál többet, de legfeljebb 130 adatpontot tartalmazó) tartomány. Adott paraméter lokális optimumának a szignifikáns tartományba eső értékek mediánját neveztem. Több nem egymás melletti szignifikáns tartomány esetében a legnagyobb elemszámú tartományban vagy a legnagyobb elemszámú tartományt tartalmazó egymás melletti tartományok értékei között kerestem a paraméter lokális optimumát, amit a korábbiakhoz hasonlóan a szignifikáns tartományba vagy egymás melletti tartományokba eső paraméterértékek mediánjaként határoztam meg (10. táblázat).



21. a. ábra: Az optimalizált mélynyugalmi hidegakkumuláció a_c és c_c (első sor: bal, jobb), valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtés b_f , c_f (második sor: bal, jobb) és $k_{kitevő}$ (harmadik sor) paraméterértékeinek gyakorisága a 'Ceglédi bóborkajszi' esetében.



21. b. ábra: Az optimalizált mélynyugalmi hidegakkumuláció a_c és c_c (első sor: bal, jobb), valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtés b_f , c_f (második sor: bal, jobb) és $k_{kitevő}$ (harmadik sor) paraméterértékeinek gyakorisága a 'Gönci magyar kajszi' esetében.



21. c. ábra: Az optimalizált mélynyugalmi hidegakkumuláció a_c és c_c (első sor: bal, jobb), valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtés b_f , c_f (második sor: bal, jobb) és $k_{kitevő}$ (harmadik sor) paraméterértékeinek gyakorisága a 'Rózsakajsz C.1406' esetében.

10. táblázat: Az optimalizált mélynyugalmi hidegakkumuláció a_c és c_c , valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtés b_f , c_f és $k_{kitevő}$ paramétereinek lokális optimum tartományainak jellemzése: a tartományba eső értékek minimuma, maximuma, elemszáma, mediánja és korrigált tapasztalati szórása, valamint az értékekhez tartozó RMSE maximuma, mediánja és korrigált tapasztalati szórása. A 'Ceglédi bíborkajszi', a 'Gönci magyar kajszi' és a 'Rózsakajszi C.1406' fajtához tartozó értékeket rendre a 'cb', 'gm' és 'ro' felső indexek jelölik.

	a_c^{cb}	c_c^{cb}	b_f^{cb}	c_f^{cb}	$k_{kitevő}^{cb}$	a_c^{gm}	c_c^{gm}	b_f^{gm}	c_f^{gm}	$k_{kitevő}^{gm}$	a_c^{ro}	c_c^{ro}	b_f^{ro}	c_f^{ro}	$k_{kitevő}^{ro}$
minimum	0,568	1,40	-0,436	7,60	2,08	0,248	3,16	-0,420	7,28	2,04	0,312	2,64	-0,556	7,36	2,04
maximum	0,576	1,44	-0,428	9,28	2,48	0,256	3,20	-0,380	9,04	2,40	0,320	2,72	-0,484	8,56	2,60
darab	128	129	156	7480	1592	143	138	735	7950	1680	132	270	1318	7180	2210
medián	0,572	1,42	-0,432	8,21	2,26	0,252	3,18	-0,400	7,88	2,22	0,316	2,68	-0,520	7,71	2,31
szórás	0,002	0,01	0,002	0,42	0,11	0,002	0,01	0,011	0,43	0,10	0,002	0,02	0,021	0,31	0,16
max. RMSE	4,40	4,17	3,40	4,60	4,39	5,04	4,66	4,58	7,18	4,68	4,78	5,63	4,62	5,78	5,05
med. RMSE	2,92	2,94	2,84	2,86	2,66	2,82	2,81	2,79	2,81	2,49	2,47	2,38	2,41	2,41	2,15
szórás RMSE	0,33	0,33	0,18	0,21	0,31	0,49	0,43	0,27	0,25	0,33	0,57	0,63	0,31	0,31	0,50

Végezetül megkerestem a paramétertér globális optimumát, amit a legkisebb RMSE-jű paramétervektorként definiáltam (11. táblázat). Látható, hogy a globális optimum paraméterértékei sok esetben (a_c^{cb} , c_c^{cb} , b_f^{cb} , a_c^{gm} , c_c^{gm} , b_f^{gm} , a_c^{ro} , c_c^{ro} , b_f^{ro} , c_f^{ro}) nem esnek bele a lokális optimum paramétertartományaiba. Ez leginkább a c_f^{ro} paraméter esetében megdöbbenő, ugyanis ennél a paraméternél a lokális optimum paramétertartományba a futtatások több, mint 70%-a beleesett, viszont a globális optimum értéke nem. Mindhárom fajta esetében a globális optimumhoz tartozó RMSE 2,5 nap alatt volt, ami azt jelenti, hogy ezekkel az értékekkel futtatva az Egységes Modell (UM) átlagosan 2,5 napnál kisebb hibával becsli a virágzás kezdetét. Összehasonlítás képpen, ha az átlagos virágzáskezdetet vettem egy konstans értékű becslésnek minden évben (Dai et al., 2019), akkor 9,7–10,6 nap közötti RMSE-t kaptam.

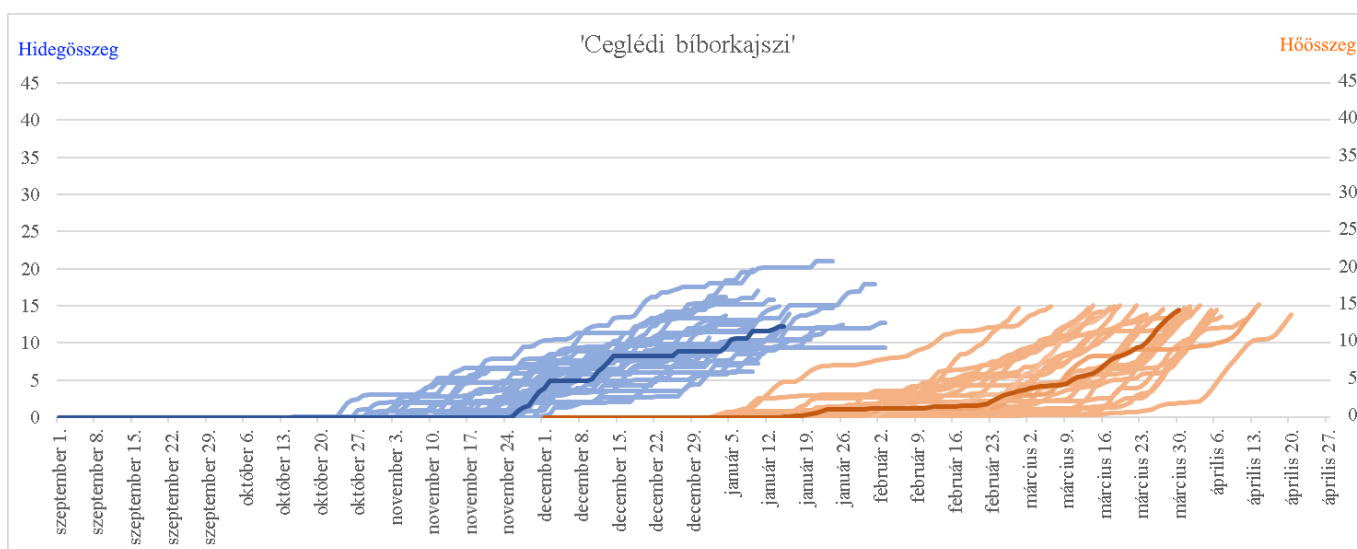
Az Egységes Modell (UM) bemenő mért paramétereivel (a fűzérállapot bekövetkezésének és a virágzás kezdetének idejével), valamint a globális optimum értékeivel és az azokból származtatott mérőszámokkal (melyek átlaga a 11. táblázatban látható) minden vizsgált évben meghatároztam a mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés ütemét (22., F17. és F18. ábra). Az ábrákon kiemeltem a 2014. szeptember – 2015. április időszakhoz tartozó görbéket, mint egy átlagos⁵⁶ időszak hidegakkumulációs és hőgyűjtési menetét. A hidegösszeghez és a hőösszeghez adódó napi egység a napi átlaghőmérséklet alapján a vizsgált kajszifajták esetében a 23. ábráról leolvasható. A mélynyugalmi hidegakkumuláció maximuma c_c (11. táblázat) hőmérsékleten valósul meg. Ez a 'Ceglédi bíborkajszi' esetében 1,5 °C, a 'Gönci magyar kajszi'-nál 2,1 °C és a 'Rózsakajszi C.1406' esetében 2,4 °C volt a vizsgált időszakban. Számításaim szerint a legtöbb hidegegység a 'Gönci magyar kajszi' számára kellett a mélynyugalom megszűnéséhez (átlagosan 29,8 egység), míg a legkevesebb a 'Ceglédi bíborkajszinak' (átlagosan 12,7 egység). A kényszernyugalmi hőgyűjtés inflexió (görbületváltási) pontja c_f (11. táblázat) hőmérsékleten van. Ez mindhárom kajszi esetében 8,3–9,0 °C között volt a becsléseim szerint. Ennek a kényszernyugalmi hőgyűjtési görbének nincs maximum helye, ám 12–15 °C körül már mindhárom kajszi esetében közel maximális volt a hőgyűjtés (legalább 0,9 egység). A virágzáshoz szükséges hőösszeg is nagyon hasonló értékűnek adódott mindhárom kajszifajta esetében. Átlagosan 14,2–16,4 begyűjtött hőegység szükségeltetett a virágzás

⁵⁶ A vizsgált 26 időszak napi hőmérsékleteinek átlagához képest ez az időszak adta a legkisebb RMSE-t.

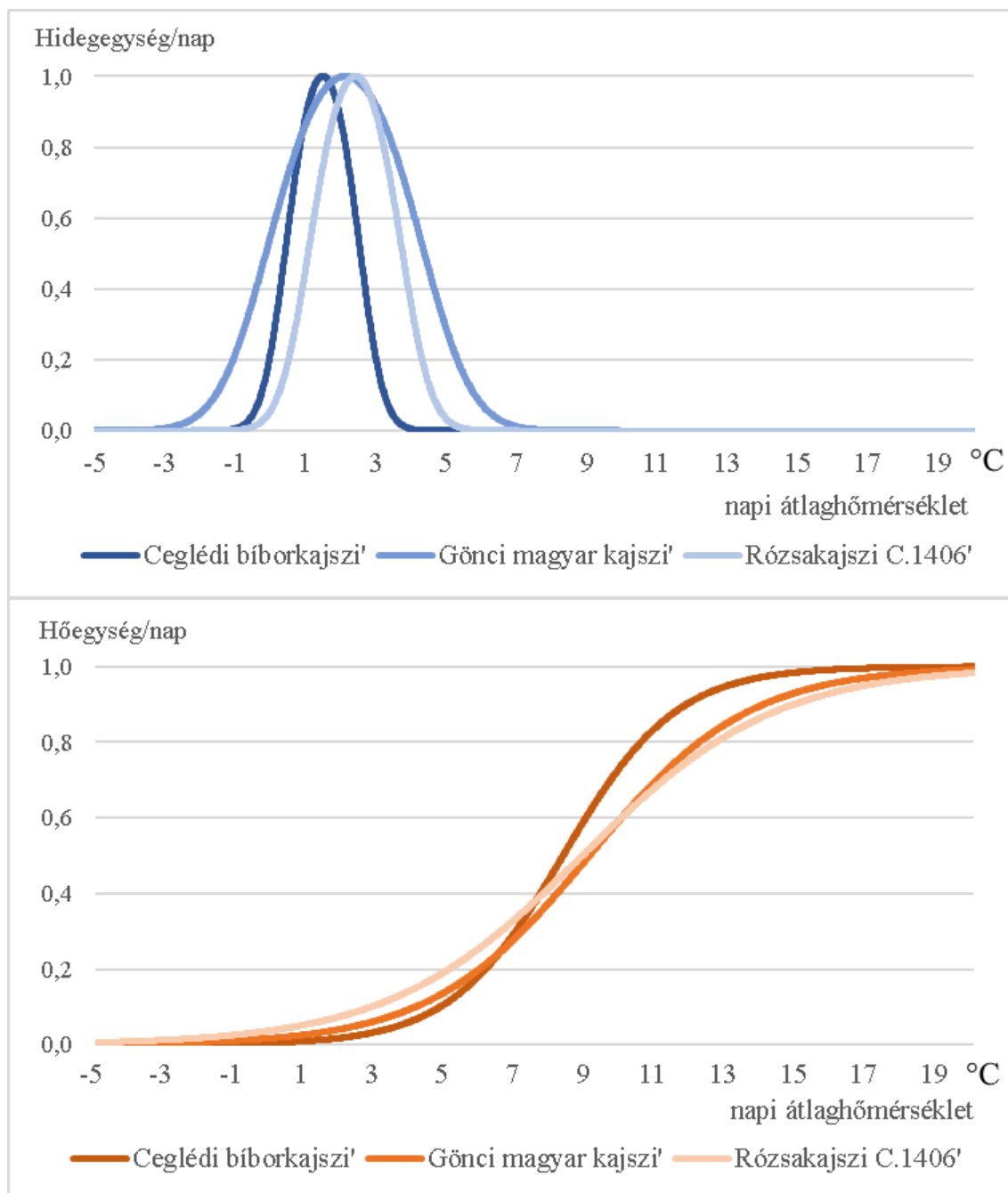
kezdetéhez mindhárom kajszi fajta esetében az 1994–2020 közötti időszakban. Érdekes eredmény, hogy k_f paraméter más kutatók eredményeihez képest (Chuine, 2000; Caffarra és Eccel, 2010; Fila et al., 2012; Hlaszny, 2012; Fan et al., 2015; Dai et al., 2019) viszonylag nagy abszolút értékűnek adódott, ami azt jelenti, hogy a magyarországi kajsziok esetén a mélynyugalmi hidegakkumuláció nagy hatással lehet a kényszernyugalmi hőgyűjtésre.

11. táblázat: A paramétertartomány globális optimumának paraméterértékei és a hozzá tartozó RMSE a 'Ceglédi bíborkajszi', a 'Gönci magyar kajszi' és a 'Rózsakajszi C.1406' esetében.

	'Ceglédi bíborkajszi'	'Gönci magyar kajszi'	'Rózsakajszi C.1406'
a_c	0,949	0,216	0,608
c_c	1,50	2,13	2,42
b_f	-0,626	-0,443	-0,365
c_f	8,30	9,04	8,84
w	15,60	17,90	19,40
$k_{kitevő}(k_f)$	2,14 (-0,0072)	2,08 (-0,0083)	2,07 (-0,0086)
RMSE	2,37	2,10	1,49
$t_c = t_1$	136 (január 14.)	144 (január 22.)	152 (január 30.)
t_2	208 (március 27.)	210 (március 29.)	213 (április 1.)
$C_{crit} = C_{tot}$	12,73	29,78	19,69
F_{crit}	14,24	13,99	16,41
F_{tot}	14,57	14,31	16,82



22. ábra: Az évenkénti mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés a 'Ceglédi bíborkajszi' esetében az 1994. szeptember – 2020. április időszakban (kiemelt: 2014. szeptember – 2015. április).



23. ábra: A mélynyugalmi hidegakkumuláció (fent) és a kényszernyugalmi hőgyűjtés (lent) sematikus ábrája a 'Ceglédi bíborkajszi', a 'Gönci magyar kajszi' és a 'Rózsakajszi C.1406' esetében.

Munkám során a számításokat MATLAB programrendszerrel, valamint Microsoft Excel (verzió: 2105) szoftverrel végeztem. Az ábrák szerkesztése és feliratozása Microsoft Excel (verzió: 2105) és Microsoft paint.net 4.2.15 szoftver használatával történt.

II.5. Eredmények értékelése és javaslatok

A növényfenológiai kutatásokban a rügyfakadás és a virágzás idejének előrejelzése egy kiemelkedően fontos terület (*Chuine et al.*, 2003). Ezek a tanulmányok éves szinten a növényvédelmi munkák tervezésében (*Williams et al.*, 1985), a fagykárak megelőzésében (*Linkosalo et al.*, 2000, *Eccel et al.*, 2009) hasznosak. Emellett klímamodellek adataira támaszkodva a fenológiai modellek a jövőre vonatkozó becslések készítésére is alkalmasak lehetnek (*Caffarra és Eccel*, 2010; *Fila et al.*, 2012, *Hlaszny*, 2012), ami egy-egy új fás szárú ültetvény telepítésekor hasznos információkkal szolgálhat.

Munkám során a Magyarországon széles körben termesztett kajszi (*Prunus armeniaca* L.) három fajtájának ('Ceglédi bíborkajszi', 'Gönci magyar kajszi' és 'Rózsakajszi C.1406') 26 éves (1994–2020) virágzási adatsorára illesztettem a *Chuine* (2000) által publikált Egységes Modellt. *Szalay és munkatársai* (2019) ugyanazon kajsziadatsorokat elemezve az 1994–2018 időszakban a fűzérállapot későbbre tolódását (+0,5 nap/év), ám a virágzás kezdetének korábbi megindulását (-0,125 nap/év) állapították meg. Ezt a változást az elmúlt évtizedekben tapasztalt melegedő időjárással magyarázták (*Bartholy és Pongrácz*, 2013). Ugyanis az enyhébb telek miatt lassabban gyűlik a mélynyugalom megszűnéséhez szükséges hidegösszeg, ami késlelteti a nyugalmi időszaki fenológiai fázisokat (például a fűzérállapot bekövetkezését; *Viti és Monteleone*, 1991; *Sunley et al.*, 2006). A tavaszi meleg viszont korábbi virágzáskezdetet okoz (*Legave et al.*, 2009). Ez a kettős hatás az oka annak, hogy a legtöbb tanulmány az elmúlt évtizedekből a mérsékeltövi lombhullató fák tavaszi fenológiai fázisainak korábbra tolódásáról számol be (*Fitter és Fitter*, 2002; *Chmielewski et al.*, 2004; *Legave és Clauzel*, 2006; *Parmesan és Yohe*, 2003; *Wolfe et al.*, 2005; *Parmesan*, 2007; *Legave et al.*, 2009; *Surányi*, 2011; *Grab és Craparo*, 2011; *Cook et al.*, 2012; *Szalay et al.*, 2019), ám néhány esetben ennek ellentétét, vagyis késleltetett fenológiai állapotokat írnak le (*Fitter és Fitter* 2002; *Bartolini et al.*, 2019, 2020).

Az általam használt kajszi megfigyelési adatsor több mint negyed évszázados hossza nemzetközi viszonylatban is hosszú adatsornak számít (14 év *Andreini et al.*, 2014; 22 év *Leave et al.*, 2006; 44 év *Bartolini et al.*, 2019), ami jelentősen javítja a becslés és az eredmény szakmai alátámaszthatóságát.

A fenológiai vizsgálatok során a modellválasztás kiemelkedő jelentőségű (*Chmielewski et al.*, 2011). A melegedő téli hőmérsékletek hatására, a melegedés hidegakkumulációt gátló hatása miatt, a csak kényszernyugalmi hőgyűjtéssel számoló modellek a későbbiekben nem lesznek alkalmasak a rügyfakadás és virágzás kezdetének becslésére (*Legave et al.*, 2008; *Garcia de Cortazar-Atauri et al.*, 2009; *Caffarra és Eccel*, 2010; *Chuine.*, 2010; *Vitasse et al.*, 2011). Bár egyes fajoknál (például a bükk, nyír és norvég luc esetében) a nem megfelelő mélynyugalmi hidegakkumulációt a kényszernyugalom alatti hosszú fotoperiódus kompenzálni tudja (*Heide et al.*, 1993; *Caffarra és Donnelly*, 2011; *Basler és Körner*, 2012; *Laube et al.*, 2014). Ám ennek a kompenzáló hatásnak a XXI. század későbbi évtizedeire vonatkozó kiterjesztése kérdéses (*Chuine et al.*, 2016).

A fent említett megállapítások munkám során olyan modell adaptálását indokolták, ami a mélynyugalmi hidegakkumulációt és a kényszernyugalmi hőgyűjtést is figyelembe veszi. Választásom a Chuine-féle Egységes Modellre (*Chuine*, 2000) esett, melyet magyarországi kajszira még nem, szőlőre (*Hlaszny*, 2012) viszont már adaptáltak. Kajszi adatokkal *Chuine és munkatársai* (2016) végeztek számításokat franciaországi mérések alapján. Emellett más európai (*Chuine*, 2000; *Caffarra és Eccel*, 2010; *Chmielewski et al.*, 2011; *Fila et al.*, 2012; *Chuine et al.*, 2016) és kínai (*Fan et al.*, 2012; *Dai et al.*, 2019; *Wang et al.*, 2020) gyümölcsfajra is adaptálták már az Egységes Modellt. Gyakori kutatási módszer, hogy ugyanazon adatsorra több modellt illesztenek és vizsgálják a becslés jóságát. Ilyen összehasonlító tanulmányokban a Chuine-féle Egységes Modell rosszul (*Dai et al.*, 2019) vagy közepesen (*Chmielewski et al.*, 2011) teljesített a túl sok optimalizálandó paraméter miatt. Emiatt munkám során törekedtem arra, hogy csökkentsem a becsülendő paraméterek számát úgy, hogy a mögöttes biológiai tartalom ne sérüljön.

A paraméterek becslésére a Szimulált Hűtés módszerét (*Press*, 2007; *Weise*, 2009) alkalmaztam, ami a lokális minimumokat is kezelni tudja. A kilencparaméteres modellt két egyszerűsítéssel (*Chuine*, 2000; *Caffarra és Eccel*, 2010) hatparaméteresre csökkentettem, ezzel egyszerűsítve a paraméterbecslést (*Fan et al.*, 2012; *Dai et al.*, 2019). A próbafuttatás során azt tapasztaltam, hogy a kényszernyugalmi hőgyűjtés két paramétere (c_f és w paraméter) összefügg, ezért w paramétert rögzítettem a további futtatások során. Mindhárom kajszifajta adatsorára elvégeztem az optimalizációt, így összesen tizenöt paramétert becsültem. Az egyes paraméterek lokális optimumának a preferált tartomány mediánját vettem. Végezetül kajszifajtánként a legkisebb RMSE-jű

paramétervektort neveztem globális optimumnak. Érdekes tapasztalat, hogy a globális optimum paraméterértékek kétharmada nem esett bele a lokális optimum paramétertartományaiba.

Eredményül azt kaptam, hogy a globális optimummal futtatva a számításokat a napi átlaghőmérsékletek és a fűzérállapot bekövetkezési idejének ismeretében mindhárom kajszifajta esetében a virágzás kezdetét átlagosan 2,5 napnál kisebb eltéréssel lehetett becsülni a vizsgálat időszakban.

A mélynyugalmi hidegakkumuláció maximuma számításaim szerint fajtától függően 1,5–2,4 °C hőmérsékleten történt. A mélynyugalom megszűnéséhez a 'Ceglédi bíborkajszi' esetében 12,7, a 'Gönci magyar kajszi'-nál 29,8, a 'Rózsakajszi C.1406'-nál 19,7 hidegegység szükségeltetett átlagosan. A kényszernyugalmi hőgyűjtés inflexiós pontja 8,3–9,0 °C között volt, ám 12–15 °C körül már mindhárom kajszifajta esetében közel maximális volt a hőgyűjtés (legalább 0,9 egység). Emellett a hőgyűjtési görbe mellett átlagosan 14,2–16,4 begyűjtött hőegység szükségeltetett a virágzás kezdetéhez mindhárom kajszifajtánál. *Chuine és munkatársai* (2016) ennél a mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés maximum helyét európai gyümölcsfák vonatkozásában valamivel magasabb hőmérsékleti értékeken határozták meg. Más kutatók munkáját (*Pouget, 1967; Hauagge and Cummins, 2000*) is alapul véve előbbi 5 °C körül, míg utóbbit 25 °C körüli értéknél állapították meg, de hangsúlyozták, hogy még egy adott faj populációi között is lehetnek különbségek a hőmérsékletre adott válaszbán (*Vitasse et al., 2013*). Így lehetséges, hogy a különböző kutatások eredményei viszonylag széles skálát ölelnek fel. Szélsőséges eseteket tekintve: a mélynyugalmi hidegakkumuláció maximuma *Fan és munkatársai* (2012) által vizsgált mongol tölgy adatsor alapján -28 °C körül valósult meg, míg *Chuine* (2000) tiszafa adatsora alapján ez az érték 9 °C körülinek adódott. A kényszernyugalmi hőgyűjtés inflexiós (görbületváltási) pontja *Chuine* (2000) olajfa adatai alapján -14,5 °C körül, míg *Caffarra és Eccel* (2010) szőlő adatait tekintve 16 °C körül valósult meg. A szélsőségesen negatív értékeknél felmerülhet az a gyanú, hogy bár matematikailag ez az optimális paraméterérték, biológiailag mégsem helytálló (*Chuine et al., 2016*). Munkám során én is kaptam hasonlóan nem interpretálható eredményt, ami indokolta az optimalizálási paramétertartomány jelentős leszűkítését. A folyamat alapú fenológiai modellekkel kapcsolatos munka során a biológiai tartalom megőrzése kulcsfontosságú (*Chuine et al., 2016*).

Számításaim szerint a k_f hőgyűjtési paraméter más kutatók optimalizálciójaihoz képest (Chuine, 2000; Caffarra és Eccel, 2010; Fila et al., 2012; Hlaszny, 2012; Fan et al., 2015; Dai et al., 2019) viszonylag nagy abszolút értékű (-0,0072 – -0,0086) lett, ami azt jelenti, hogy a magyarországi kajszik esetén a mélynyugalmi hidegakkumuláció nagy hatással lehet a kényszernyugalmi hőgyűjtésre. Indokolt esetben (amikor k_f körülbelül -10^{-7} nagyságrendű) $k_f = 0$ és így $w = F_{crit}$ egyszerűsítést bevezetve (Chuine, 2000), tovább csökkenthető a becsült paraméterek száma. Ám az általam vizsgált adatsort tekintve ez az egyszerűsítés egyrészt nem indokolt, másrészt lényeges biológiai tartalom veszne el az alkalmazásával.

Jelen dolgozat eredményei a következő évek virágzáskezdetének előrejelzésében segíthetnek, melyek a fagyveszélyes körülmények megelőzésében fontos szerepet tölthetnek be. A magyarországon termesztett kajszik közeli virágzási ideje (Szalay, 2001; Szalay et al., 2003) és a termesztési régiók hasonló éghajlati körülményei (Pór, 2003) miatt eredményeim könnyen apadtákhatók más fajtákra és más régiókra is.

Az új eredmények összefoglalása (tézisek)

- 1. A szőlő (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) vegetációs időszakának meghatározására több új módszert javasoltam, melyek rugalmasságuk miatt a klímaváltozás hatásainak (pl. indikátor-alapú) vizsgálatára alkalmasabbak.**

Az évtizedes, naptár-alapú módszer helyett az általam bevezetett hőmérséklet-alapú '5mid' és az 'int' (interpolációs) módszer adta az átlagos négyzetes hiba gyöke alapján a legjobb becslését a referenciamódszernek.

- 2. Az általam kifejlesztett '5mid' módszerrel a XXI. században a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak változására statisztikailag szignifikáns megállapításokat tettem.**

A tartósan 10 °C feletti időszak szignifikáns ($p < 0,05$) hosszabbodása (38–48 nap) várható a XXI. század során, mely átlagosan 19–20 nappal korábbi kezdettel és átlagosan 18–27 nappal későbbi befejeződéssel járhat. Ez azt jelenti, hogy lehetőség nyílhat hosszabb vegetációs időszakokkal rendelkező fajták telepítésére és gazdaságos termesztésére.

- 3. Meghatároztam az 'int' (interpolációs) módszer alkalmazhatósági korlátait.**

Ha a márciusi és áprilisi átlaghőmérsékletek nagyon közeli értékűek és az áprilisi átlaghőmérséklet jóval kisebb, mint 10 °C, akkor az interpolációs módszer hibás eredményt ad. Ugyanígy nem használható a módszer, ha a szeptember és október havi átlaghőmérsékletek nagyon közeli értékűek és az október havi átlaghőmérséklet jóval nagyobb, mint 10 °C.

- 4. Az indikátoranalízist és az extrém időjárási események bekövetkezési valószínűségét statisztikailag vizsgálva a szőlő jövőbeli termesztési kockázatára vonatkozó megállapításokat tettem.**

- A hőösszeg-indikátorok (a módosított Winkler-index és a módosított Huglin-féle heliotermikus index) szignifikáns ($p < 0,05$) emelkedését mutattam meg a XXI. század során, ami miatt a nagyobb hőigényű, vörösbort adó fajták szélesebb körű telepítésére nyílhat lehetőség.
- Azon évek számának, amikor volt 35 °C feletti napi maximum hőmérséklet, illetve a vegetációs időszaki csapadékhiányos időszakok (amikor a napi csapadékmennyiség kisebb, mint 1 mm) hosszának szignifikáns növekedését állapítottam meg a XXI. század során, ami komoly kockázati tényezőként jelenhet meg a termesztésben.

- A nyugalmi időszak extrém alacsony minimum hőmérsékletű események ritkábbá válását mutattam meg, ami a kevesebb fagykár miatt pozitív hatással lehet a termesztésre.
 - Az enyhébb telek a rügyek fagyállóságát csökkentik és a kórokozók túlélési esélyeit növelik, ami kockázatot jelent a termesztésben.
- 5. A Chuine-féle Egységes Modellt három magyarországi kajszifajtára ('Ceglédi bíborkajsi', 'Gönci magyar kajsi' és 'Rózsakajsi C.1406') adaptáltam, s ezzel a virágzási időt 2,5 napnál kisebb hibával becsültem.**
- 6. A Chuine-féle Egységes Modell becsülendő paramétereinek számát kilencről hatra csökkentve hatékonyabbá tettem a paraméterek becslését.**
- Az adaptálás során megállapítottam, hogy a három magyarországi kajszifajtára alkalmazott paramétercsökkentett Chuine-féle Egységes Modell két kényszernyugalmi hőgyűjtési paramétere összefügg, ezért az egyik paraméter rögzítését javasoltam a további számítások előtt.
- 7. A Szimulált Hűtés módszerével meghatároztam három magyarországi kajszifajta huszonhat éves virágzási adatsora alapján a paramétercsökkentett Chuine-féle Egységes Modell paramétereinek fajtaspecifikus lokális optimumát és a globális optimum paramétervektort.**
- A globális optimum paramétervektor alapján fajtánként meghatároztam a mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés napi hőmérsékletfüggését és évenkénti menetét, valamint a mélynyugalom megszűnéséhez szükséges kritikus hidegösszeget és a virágzáshoz szükséges kritikus hőösszeget.
- 8. A hőgyűjtés sebességi tényezőjét a szakirodalmi adatokkal összevetve megállapítottam, hogy a mélynyugalmi hidegakkumuláció hatása a kényszernyugalmi hőgyűjtésre kifejezettebben érvényesül a vizsgált területen nevelt kajszifajták esetében.**

Összefoglalás

Munkám során két Magyarországon széles körben termesztett növényfajjal, a szőlővel (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) és a kajszival (*Prunus armeniaca* L.) foglalkoztam agroklimatológiai szempontból. Kutatásom középpontjában a vegetációs időszak hosszának, kezdetének és végének, valamint a virágzás fenológiai fázis bekövetkezésének ideje állt.

A szőlő esetében három klímamodell (RegCM, ALADIN és PRECIS) percentilis-alapú hibakorrekciónal előállított adatait felhasználva végeztem számításokat Magyarországra az 1951–2100 időszak kiválasztott időszeleteire. Munkám során kiemelt szerepet kapott, hogy a vegetációs időszak kezdetére, végére és hosszára éves szinten használható módszert dolgozzak ki. A vizsgált kilenc módszer közül az általam kidolgozott ‘5mid’ és az ‘int’ (Csepregi, 1997) módszer adta az átlagos négyzetes hiba gyöke alapján a legjobb becslését a napi középhőmérsékletek átlagolásán alapuló ‘Referenciamódszernek’ (Ambrózy *et al.*, 2002). A múltira vonatkozó modelleredményeken alapuló számításaim jól közelítették a mérési eredményeket és tapasztalatokat (Ambrózy *et al.*, 2002; Huzsvai *et al.*, 2004). Eredményeim szerint a XXI. században a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs időszak hosszabbodása várható, ami korábbi kezdettel és későbbi befejeződéssel járhat. Ez azt jelenti, hogy lehetőség nyílhat hosszabb vegetációs időszakkal rendelkező fajták telepítésére és gazdaságos termesztésére.

Ezt követően ezeket a vegetációs időszaki eredményeket és módszereket felhasználva vizsgáltam négy szőlőtermesztésben használt klimatikus indikátor és hat hőmérsékleti és csapadékextrémítás várható térbeli és időbeli változását Magyarországon az 1951–2100 időszakban. Számításaim szerint a hőösszeg-indikátorok értékeinek szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése várható a XXI. század során. Emiatt a késői érésű, illetve a vörösbort adó, nagyobb hőigényű fajták telepítése előtérbe kerülhet. Ám komoly kockázati tényezőt jelenthet a vegetációs időszaki száraz időszakok meghosszabbodása, ami várhatóan gyakoribb extrém magas maximum hőmérsékleti eseményekkel párosulhat. Ezzel párhuzamosan a nyugalmi időszaki extrém alacsony minimum hőmérsékletű események ritkábbá válása várható, ami a kevesebb fagykár miatt pozitív hatással lehet a termesztésre, ám az enyhébb telek a rügyek fagyállóságát csökkentik és a kórokozók túlélési esélyeit növelik, ami kockázatot jelent a termesztésben. A tavaszi fagyeseemények tekintetében nem kaptam egyértelmű trendet a XXI. század során, így a

továbbiakban is kiemelt figyelmet érdemes fordítani a frissen kifakadt rügyek fagyvédelmére.

Összességében eredményeim azt sugallják, hogy Magyarországon a XXI. század folyamán is lehetőség nyílhat minőségi szőlőtermesztésre, de a fajtahasználat és a termesztéstechnológia átalakulása lehet szükséges, továbbá a korábbi évtizedekhez képest nagyobb termés- és minőség-ingadozással lehet számolni.

Céljaim között szerepel a számításaim frissítése a legújabb, finomabb felbontású regionális klímamodell adatok alapján (*Torma et al.*, 2020; *Torma és Kis*, 2022). Mivel ezek a modell outputok is sík felszínre vonatkoznak, tervezem a szőlőtermesztési szempontból jeletős hatású lejtőkiettségéből fajadó többletsugárzás (*Dunkel et al.*, 1981) figyelembevételét is a számítások során. Emellett célom a vegetációsidőszak-számítási módszerek fajtaspecifikus (*Galet*, 2000; *Fraga et al.*, 2016b) vizsgálata.

Dolgozatom második részében három magyarországi kajszifajta ('Ceglédi bíborkajszi', 'Gönci magyar kajszi' és 'Rózsakajszi C.1406') 26 éves (1994–2020) virágzási adatsorára adaptáltam a *Chuine* (2000) által publikált Egységes Modellt. A paraméterek becslésére a Szimulált Hűtés módszerét (*Press*, 2007; *Weise*, 2009) alkalmaztam, ami a lokális minimumokat is kezelni tudja. A kilencparaméteres modellt két egyszerűsítéssel hatparaméteresre csökkentettem, ezzel hatékonyabbá tettem a paraméterbecslést. Számításaim során a paraméterek lokális optimumát és a globális optimumvektort is meghatároztam mindhárom kajszifajtára. Eredményeim alapján a maximális mélynyugalmi hidegakkumuláció fajtától függően 1,5–2,4 °C közötti hőmérsékleten a leghatékonyabb, míg a kényszernyugalmi hőgyűjtés inflexió pontja (mely hőmérsékletnél magasabb értéken már kimondottan hatékony a hőgyűjtés) 8,3–9,0 °C között adódott. Ezekkel a globális optimum értékekkel a mért virágzási időpontokat 2,5 napnál kisebb átlagos hibával tudtam becsülni. Ezek az eredmények a következő évek virágzáskezdetének előrejelzésében, illetve a virágzás körüli fagyveszélyes helyzetekre való felkészülésben segíthetnek.

Bár a 2,5 napnál kisebb RMSE kimondottan jó (*Chmielewski et al.*, 2011; *Fila et al.*, 2012; *Hlaszny*, 2012; *Chuine et al.*, 2016), további célom más, kevesebb paramétert tartalmazó modelleket is adaptálni erre az adatsorra (*Wang et al.*, 2020), ugyanis a túl sok paraméter bonyolulttá teszi az optimalizációt és sokszor rontja a becslés pontosságát (*Janssen és Heuberger*, 1995; *Fan et al.*, 2012; *Dai et al.*, 2019), illetve nagy eséllyel eltűnik a mögöttes biológiai tartalom az optimalizáció során (*Thorney és Johnson*, 1990;

Caffarra és Eccel, 2010). Emellett lehetőség van hasonló vizsgálatok elvégzésére a Phenology Modelling Platform (*Chuine et al.*, 2013; url⁵⁷) használatával is, ami ugyancsak szerepel a jövőbeli terveim között. További célom a jövőre vonatkozó trendbecslések készítése klímamodellek adatait felhasználva, ám ennek előkészítése komoly előtanulmányokat igényel, mert ezeknek a fenológiai modelleknek a jövőre vonatkozó kiterjesztése kérdéses (*Caffarra és Eccel*, 2010; *Hlaszny*, 2012; *Chuine et al.*, 2016; *Hufkens et al.*, 2018; *Dai et al.*, 2019).

⁵⁷<https://www.cefe.cnrs.fr/fr/recherche/ef/forecast/phenology-modelling-platform?tmpl=component&type=raw> (Utolsó letöltés: 2022.03.14.)

Summary

During my work, from an agroclimatological point of view, I dealt with two plant species widely grown in Hungary, grapevine (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) and apricot (*Prunus armeniaca* L.). My research focused on the length, the beginning and the end of the vegetation period and the occurrence of blooming phenological phase.

In the first part of my dissertation, focusing on grapevine, using the percentile-based error correction data of three regional climate models (RegCM, ALADIN and PRECIS), I performed prediction calculations for Hungary for the selected time slices of the period 1951–2100. I have developed an annual based method to estimate the beginning, the end and the length of the vegetation period. Of the nine methods examined, according to the root mean square error, the ‘5mid’ and ‘int’ (Csepregi, 1997) methods gave the best estimate of the ‘Reference Method’ (Ambrózy *et al.*, 2002) that is based on averaging the daily mean temperatures. My model results for the past approximated the observations (Ambrózy *et al.*, 2002; Huzsvai *et al.*, 2004) accurately. According to my results, in the 21st century, the length of the thermally possible vegetation period is expected to increase significantly with an earlier start and later end. This means that it may be possible to plant and grow grapevine varieties with a longer growing season.

Subsequently, using these new vegetation period calculation methods and results, focusing on Hungary and the time period 1951–2100, I examined the expected spatial and temporal changes of four climatic indicators and six temperature and precipitation extremities that are widely used in viticulture. According to my calculations, a significant ($p < 0.05$) increase in the values of the heat sum indicators is expected in the 21st century. For this reason, the planting of late-ripening and red wine varieties with higher heat demand may come to the fore. However, prolongation of dry periods during the growing season can be a serious risk factor, which is expected to be accompanied by more frequent extreme high temperature events. At the same time, extreme low minimum temperature events during dormancy are expected to be less frequent, which may have a positive effect on cultivations due to less frost damage. Although, milder winters reduce the frost resistance of buds and increase the chances of pathogen survival in cultivation. Regarding the spring frosts, I did not get a clear trend in the 21st century,

therefore it is worth going on paying special attention to the frost protection of freshly sprouted buds.

Overall, my results suggest that in the 21st century, it may also be possible to grow quality grapevine, but changes in variety use and cultivation technology may be necessary, and greater yield and quality fluctuations can be expected compared to previous decades.

My future goals include updating my calculations based on the latest, finer-resolution regional climate model data (*Torma et al.*, 2020; *Torma and Kis*, 2022). Since these model outputs also apply to a flat surface, in the further calculations, I also plan to take into account the additional radiation from the slope exposure with a significant effect on viticulture (*Dunkel et al.*, 1981). In addition, my aim is to study the vegetation period calculation methods in a variety-specific way (*Galet*, 2000; *Fraga et al.*, 2016b).

In the second part of my dissertation, I adapted the Chuine's Unified Model (2000) to the 26-year (1994–2020) blooming data series of three Hungarian apricot cultivars ('Ceglédi biborkajszí', 'Gönci magyar kajszí' and 'Rózsakajszí C.1406'). To estimate the parameters, I used the Simulated Annealing method (*Press*, 2007; *Weise*, 2009) that handles global optimum search problems with multiple local extremes well by avoiding being stuck in local optima. I simplified the original nine-parameter model into a six-parameter model, making the parameter estimation more robust. During my calculations, I also determined the local optimum of the parameters and the global optimum vector for all three apricot cultivars. Based on my results, depending on the varieties, the optimal temperature of the endodormant chill accumulation is between 1.5–2.4 °C, while the inflection point of the ecodormant heat accumulation (at which temperature the heat accumulation is particularly effective) was between 8.3–9.0 °C. With these global optimum values, I was able to approximate the observed blooming times with an average error of less than 2.5 days. These results can help predict the onset of blooming in the coming years and prepare for frost-prone situations around blooming.

Although an RMSE less than 2.5 days is particularly good (*Chmielewski et al.*, 2011; *Fila et al.*, 2012; *Hlaszny*, 2012; *Chuine et al.*, 2016), my additional goal is to adapt other models with fewer parameters to this data set (*Wang et al.*, 2020), because too many parameters can complicate the optimization and often impair the accuracy of the

estimate (*Janssen and Heuberger*, 1995; *Fan et al.*, 2012; *Dai et al.*, 2019) or are more likely to mask the underlying biological content (*Thorney and Johnson*, 1990; *Caffarra and Eccel*, 2010). In addition, it is possible to perform similar studies using the Phenology Modeling Platform (*Chuine et al.*, 2013; url⁵⁸), which is also among my future plans. My further goal is to make trend estimates for the future using data from climate models, but the preparation of this requires serious preliminary studies because the extension of these phenological models to the future has not been deeply studied before (*Caffarra and Eccel*, 2010; *Hlaszny*, 2012; *Chuine et al.*, 2016; *Hufkens et al.*, 2018; *Dai et al.*, 2019).

⁵⁸<https://www.cefe.cnrs.fr/fr/recherche/ef/forecast/phenology-modelling-platform?tmpl=component&type=raw> (Last download: 14.03.2022.)

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni azt a rengeteg segítséget, amit szakmailag és emberileg kaptam jelen dolgozat elkészítése során.

Végtelen köszönettel tartozom tanszékvezetőmnek és témavezetőmnek, Dr. Ladányi Mártának a szakmai iránymutatásért és a sok közös munkaóráért.

Hálásan köszönöm témavezetőm, Dr. Bozó László rendkívül hasznos szakmai segítségét és a számításaimhoz szükséges meteorológiai adatok rendelkezésemre bocsátását.

Köszönettel tartozom az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékének munkatársainak (kiemelve Dr. Mészáros Róbertet és Dr. Pongrácz Ritát), akik elindítottak ezen a szakmai úton és a későbbiekben is tanácsaikkal segítettek.

Továbbá köszönettel tartozom a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Alkalmazott Statisztika Tanszékének munkatársainak, akik segítségével az elmúlt években szakmailag sokat fejlődhettem.

A kajszi virágzási adatok felvételezéséért és rendelkezésemre bocsátásáért, valamint a szakmai tanácsokért köszönettel tartozom Dr. Szalay Lászlónak.

A Szimulált Hűtés módszerével kapcsolatos számításokban nyújtott szakmai segítségéért köszönettel tartozom Dr. Raffai Péternek.

Továbbá köszönettel tartozom Vincze Enikőnek az agroklimatológiai szakmai segítségnyújtásért.

A PRECIS regionális klímamodell-szimuláció futtatása az OTKA K-78125 számú pályázata keretében zajlott, a hibakorrigált outputok előállítását Dr. Pieczka Ildikó végezte.

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 K109109, K109361, valamint a Agrárklíma2 projekt (VKSZ_12-1-2013-0034) kutatási pályázatok támogatták. A projekt az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával (TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003, FuturICT.hu TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013), valamint a Széchenyi 2020 program, az Európai Regionális Fejlesztési Alap és a Magyar Kormány (GINOP-2.3.2-15-2016-00028) támogatásával valósult meg.

Végezetül szeretném megköszönni Családomnak, a bölcsődei és óvodai pedagógusoknak, hogy jelen dolgozat elkészítésének ideje alatt gyermekeim nevelését napi néhány órára átvállalták.

Felhasznált irodalom

I. rész: Vegetációsidőszak-számítási módszerek és indikátoranalízis kidolgozása és alkalmazása az eurázsiai termesztett szőlő növényre (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) meteorológiai klímamodellek alapján

- [1] Ambrózy P., Bartholy J., Bozó L., Hunkár M.K., Bihari Z., Mika J., Németh P.R., Paál A., Szalai S., Kövér Zs., Tóth Z., Wantuch F., Zoboki J., 2002: Magyarország éghajlati atlasza. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 107p.
- [2] Amerine, M.A., Winkler, A.J., 1944: Composition and quality of musts and wines of Californian grapes. *Hilgardia* 15, pp. 493–675.
- [3] Amerine, M., Berg, H., Kunkee, R., Ough, C., Singleton, V., Webb, A., 1980: *Technology of Wine Making*. Westport, Connecticut, USA, AVI Publishing Comp. Inc., pp. 185–703
- [4] Bader, D.C., Covey, C., Gutowski, W.J., Held, I.M., Kunkel, K.E., Miller, R.L., Tokmakian, R.T., Zhang, M.H., 2008: Climate models: An assessment of strengths and limitations. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., 124p.
- [5] 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.
- [6] Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy., 2007: Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research* 5(1), pp. 1–17.
- [7] Bartholy, J. (szerk.), Bozó, L. (szerk.), Haszpra, L. (szerk.) – Barcza, Z., Bartholy, J., Bihari, Z., Czira, T., Haszpra, L., Horányi, A., Horváth, E.S., Krüzselyi, I., Lakatos, M., Mészáros, R., Mika, J., Pálvölgyi, T., Pieczka, I., Pongrácz, R., Práger, T., Radics, K., Szentimrey, T., Szabó, P., Szépszó, G., Torma, Cs., 2011: Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Budapest, 281p.
- [8] Bartholy, J. (szerk.), Pongrácz, R. (szerk.) – Barcza, Z., Bartholy, J., Bihari, Z., Lakatos, M., Mészáros, R., Pieczka, I., Pongrácz, R., Práger T., Radics, K., 2013: Klímaváltozás. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, egyetemi jegyzet, 180p.
- [9] Becker, H., 1985: Wine grape varieties for cool climates. In: D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (szerk.): *Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology*. Oregon State University Experiment Station Technical Publication. pp 46–62.
- [10] Bényei, F., Lőrincz, A., Szendrődy, Gy., Sz. Nagy, L., Zs. Nagy, G., 1999: Szőlőtermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 488p.
- [11] Bois, B., Blais, A., Moriondo, M., Jones, G.V., 2012: High resolution climate spatial analysis of European winegrowing regions. IX^e International Terroirs Congress 2012, pp. 17–20.
- [12] Bonferroni, C.E., 1936: Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilità. *Pubblicazioni del R Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commerciali di Firenze* 8, pp. 3–62.
- [13] Botos, E.P., Hajdu, E., 2004: A valószínűsíthető klímaváltozás hatásai a szőlő- és borkészítésre. "AGRO-21" Füzetek 2004. 34. pp. 61–73.
- [14] Buzási, A., 2021: Climate Vulnerability and Adaptation Changes in Szekszárd Wine Region, Hungary. *Climate* 2021, 9, 25, pp. 1–17.
- [15] Cahill, K.N., Lobell, D.B., Field, C.B., Bonfils, C., Hayhoe, K., 2007: Modeling climate change impacts on wine grape yields and quality in California. *Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles? Global warming, which potential impacts on the vineyards?* 2007. 03. 28–30., 9p.
- [16] Chervenkov, H., Slavov, K., 2021: Assessment of agrometeorological indices over Southeast Europe in the context of climate change (1961–2018). *Időjárás* 125(2), pp. 255–269.

- [17] Čimo, J., Aydın, E., Šinka, K., Tárník, A., Kišš, V., Halaj, P., Toková, L., Kotuš, T., 2020: Change in the Length of the Vegetation Period of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.), White Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) and Carrot (*Daucus carota* L.) Due to Climate Change in Slovakia. *Agronomy* 2020, 10, 1110.
- [18] Conceicao; M.A.F, Tonietto, J., 2005: Climatic potential for wine grape production in the tropical north region of Minas Gerais State, Brazil. *Rev. Bras. Frutic* 27(3), pp. 404–407.
- [19] Csapó, P., 1984: Szőlőültetvények téli fagykárainak becslése. *Léggör* 29(1). pp. 19–21.
- [20] Csáky, A., 1993: Szőlőtermesztés. In: Cselőtei, L., Nyujtó, S., Csáky, A. (szerk.): *Kertészet. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 615p.
- [21] Csepregi P., 1997: Szőlőtermesztési ismeretek. *Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 442p.
- [22] D'Agostino, R.B., 1970: Transformation to Normality of the Null Distribution of g 1 Transformation to Normality of the Null Distribution of g 1. *Biometrika*, 57(3), pp. 679.
- [23] D'Agostino, R.B., Belanger, A., D'Agostino, R.B.Jr., 1990: A suggestion for using powerful and informative tests of normality. *The American Statistician* 44(4), pp. 316–321.
- [24] Dal Monte, G., Labagnara, T., Cirigliano, P., 2019: Agroclimatic evaluation of Val d'Agri (Basilicata, Italy) suitability for grapevine quality: the example of PDO „Terre dell'Alta Val d'Agri” area in a climate change scenario. *Italian Journal of Agrometeorology* (3) pp. 3–12.
- [25] Davitaja, F.F. (Давитая, Ф.Ф.), 1959: Климатические показатели сырьевой базы виноградо-винодельческой промышленности. *Труды ВНИИВИВ „Магарач”* 6(1), pp. 12–32.
- [26] Déqué, M., Marquet, P., Jones, R.G., 1998: Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. *Clim. Dynam.* 14, pp. 173–189.
- [27] Diffenbaugh, N.S., White, M.A., Jones, G.V., Ashfaq, M., 2011: Climate adaptation wedges: a case study of premium wine in the western United States. *Environmental Research Letters* 6, pp. 1–11.
- [28] Droulia, F., Charalampopoulos, I., 2021: Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *Atmosphere* 2021, 12, 495., pp. 1–22.
- [29] Dunkel, Z., Kozma, F., 1981: A szőlő téli kritikus hőmérsékleti értékeinek területi eloszlása és gyakorisága Magyarországon. *Léggör* 26(2), pp. 13–15.
- [30] Dunkel, Z., Kozma F., Major Gy., 1981: Szőlőültetvényeink hőmérséklet- és sugárzásellátottsága a vegetációs időszakban. *Időjárás*, 85(4), pp. 226–234.
- [31] Esztergályos, Á., Polgár, Zs., Cernák, I., 2018: Tenyészedőszak alatti környezeti tényezők hatása burgonya genotípusok nyugalmi idejére. LX. Georgikon Napok VIII. szekció: Növénytermesztés, növénynevelés, növényvédelem. *Tanulmány kötet*, pp. 69–78.
- [32] Field, A., 2009: *Discovering statistics using SPSS* (3rd ed.) SAGE. pp 150.
- [33] Formayer, H., Haas, P., 2010: 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 FP 6 CECILIA project). 11p.
- [34] Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Jones, G.V., Alves, F., Pinto, J.G., Santos, J.A., 2014: Very high resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: present and future scenarios. *Reg. Environ. Change* 14, pp. 295–306.
- [35] Fraga, H., Santos, J.A., Malheiro, A.C., Oliveira, A.A., Moutinho-Pereira, J., Jones, G.V., 2016a: Climatic suitability of Portuguese grapevine varieties and climate change adaptation. *International Journal of Climatology* 36(1), pp. 1–12.
- [36] Fraga, H., Santos, J.A., Moutinho-Pereira, J., Carlos, C., Silvestre, J., Eiras-Dias, J., Mota, T., Malheiro, A.C., 2016b: Statistical modelling of grapevine phenology in Portuguese wine regions: observed trends and climate change projections. *J. Agric. Sci.* 154, pp. 795–811.
- [37] Fritz Harris, B., Endlicher, W., 1996: Climatic conditions for wine grape growing. *New Zealand Geographer*, 52(1), pp. 1–11.

- [38] Gaál, M., Moriondo, M., Bindi, M., 2012: Modelling the impact of climate change on the Hungarian wine regions using random forest. *Applied Ecology and Environmental Research* 10(2), pp. 121–140.
- [39] Galet, P., 2000: General viticulture. Oenoplurimédia publishers, France, 443p.
- [40] Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., 1993a: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon. Weather Rev.* 121, pp. 2794–2813.
- [41] Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., DeCanio, G., 1993b: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon. Weather Rev.* 121, pp. 2814–2832.
- [42] Giorgi, F., Hewitson, B., Christensen, J., Hulme, M., von Storch, H., Whetton, P., Jones, R., Mearns, L., Fu, C., 2001: Regional climate change information - Evaluation and projections. Chapter 10. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (szerk.): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881p.
- [43] Gutowski, W.J., Takle, E.S., Kozak, K.A., Patton, J.C., Arritt, R.W., Christensen, J.H., 2007: A possible constraint on regional precipitation intensity changes under global warming. *J. Hydrometeorology* 8, pp. 1382–1396.
- [44] Harvell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., Altizer, S., Dobson, A.P., Ostfeld, R.S. and Samuel, M.D., 2002: Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* 296, pp. 2158–2162.
- [45] Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D., New, M., 2008: A European daily high resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, pp. 1–12.
- [46] Hidalgo L., 2002: *Tratado de viticultura general*. Harmadik kiadás. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1235p.
- [47] Hlaszny E., 2012: A szőlő (*Vitis Vinifera* L.) korai fenológiai válaszadásának modellezése a kunsági borvidéken növényfelvételezések, időjárási megfigyelések és regionális klímamodell alapján. Ph.D. értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 163p.
- [48] Horváth, Cs., 2008: A szőlő és a klímaváltozás. *Kertészet és szőlészet* 57(50), pp. 12–15.
- [49] Huglin, P., 1978: Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Symposium International sur l'ecologie de la Vigne*. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, Contanca, pp. 89–98.
- [50] Huzsvai, L., Rajkai, K., Szász, G., 2004: *Az agroökológia modellezéstechnikája*. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, 179p.
- [51] IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (szerk.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 881p.
- [52] 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. (szerk.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996p.
- [53] IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (szerk.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1553p.
- [54] Jackson, D., Spurling, M., 1988: *Climate and Viticulture in Australia*. In: Coombe, B.G., Dry, P.R. (szerk.): *Viticulture Volume 1: Resources*. Australian Industrial Publishers Pty Ltd., pp. 91–106.

- [55] Jones, G.V., 2004: Making wine in a changing climate. *Geotimes* 49, pp. 24–28.
- [56] Jones, G.V., 2006: Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Win". In *Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective*. Macqueen, R.W., Meinert, L.D., (szerk.), Geoscience Canada Reprint Series Number 9, Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland. 247p.
- [57] Jones, G.V., 2007: Chilmate change: Observations, projections, and general implications for viticulture and wine production. In: Essik, E., Griffin, P., Keefer, B., Miller, S., Storchmann, K. (szerk.): *Work Paper No 7, Economics department Whiteman College*. pp. 1–15
- [58] Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., and K. Storchmann, 2005a: Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change*, 73(3), pp. 319–343.
- [59] Jones, G.V., Duchene, E., Tomasi, D., Yuste, J., Braslavksa, O., Schultz, H., Martinez, C., Boso, S., Langellier, F., Perruchot, C., Guimberteau, G., 2005b: Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate, XIV. International gesco Viticulture Congress, Geisenheim, Germany, 2005, pp. 54–61.
- [60] Jones, G.V., Moriondo, M., Bois, B., Hall, A., and Duff, A., 2009: Analysis of the spatial climate structure in viticulture regions worldwide. *Le Bulletin de l'OIV* 82(944,945,946), pp. 507–518.
- [61] Keller, M., 2010: *The science of grapevines: anatomy and physiology*. Academic Press, Elsevier Inc., 377p.
- [62] Kovács, E., 2018: A Soproni és a Zalai borvidék agroklimatikus jellemzése és a borszőlő (*Vitis vinifera* L.) fajták fenofázisainak válasza az éghajlat változására. Ph.D. Értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 126p.
- [63] Kovács, E., Puskás, J., Pozsgai, A., Kozma, K., 2018: Shift in annual growth cycle of grapevines (*Vitis vinifera* L.) in West Hungary. *Applied Ecology and Environmental Research* 16(2). pp. 2029–2042.
- [64] Kozma, P., 2002: *A szőlő és termesztése I. (második, átdolgozott kiadás változatlan utánnomása)*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 319p.
- [65] van Leeuwen, C., Garnier, C., Agut, C., Baculat, B., Barbeau, G., Besnard, E., Bois, B., Boursiquot J.-M., Chuine, I., Dessup, T., Dufourcq, T., Garcia-Cortazar, I., Marguerit, E., Monamy, C., Koundouras, S., Payan, J.-C., Parker, A., Renouf, V., Rodriguez-Lovelle, B., Roby, J.-P., Tonietto, J., and Trambouze, W., 2008: Heat requirements for grapevine varieties is essential information to adapt plant material in a changing climate. 7th International Terroir Congress, Agroscope Changins-Wädenswil, Switzerland, pp. 222–227.
- [66] van Leeuwen C, Friant P, Choné X, Tregoat O, Koundouras S, Dubourdieu D., 2004: Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *Am J Enol Vitic* 55, pp. 207–217.
- [67] van der Linden, P. and Mitchell, J.F.B. (szerk.), 2009: *ENSEMBLES: Climate Change and Its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. UK Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 160p.
- [68] Malheiro, A.C., Santos, J.A., Fraga, H., Pinto, J.G., 2010: Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Res.* 43, pp. 163–177.
- [69] Mesterházy, I., 2011: A móri borvidék éghajlati adottságainak elemzése. Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 47p.
- [70] Mesterházy, I., 2013: A magyarországi szőlőtermesztés éghajlati adottságainak várható változása. Diplomadolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 66p.
- [71] Mesterházy, I., Mészáros, R., and Pongrácz, R., 2014: The Effects of Climate Change on Grape production in Hungary. *Időjárás* 118(3), pp. 193–206.
- [72] Mesterházy I., Mészáros R., Pongrácz R., Bodor P., Ladányi M., 2018: The analysis of climatic indicators using different growing season calculation methods – an application to grapevine grown in Hungary. *Időjárás* 122(3), pp. 217–235.
- [73] Mikó, P., 2009: A zöldtrágyázás talajállapotra és utóveteményre gyakorolt hatásainak vizsgálata. Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, pp. 55–56.

- [74] Moriondo, M., Jones, G.V., Bois, B., Dibari, C., 2013: Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climate Change* 119, pp. 825–839.
- [75] Nagy, L., 2009: Éghajlati alkalmazkodóképesség és válaszreakció előrejelzése erdefenyő (*Pinus sylvestris* L.) populációkon. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, pp.1–60.
- [76] Nakicenovic, N., Swart, R.J., 2000: Emissions Scenarios 2000–Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 612p.
- [77] Neumann, P.A., Matzarakis, A., 2011: Viticulture in southwest Germany under climate change conditions. *Climate Res.* 47, pp. 161–169.
- [78] Oláh, L., 1979: Szőlészek zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 220p.
- [79] OIV, 2021: State of the World Vitivinicultural Sector in 2020. International Organisation of Vine and Wine Intergovernmental Organisation, 19p.
- [80] 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: Lakatos, M. (szerk.): 36. Meteorológiai Tudományos Napok - Változó éghajlat és következményei a Kárpát-medencében. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, pp. 77–87.
- [81] Pieczka, I., 2012: A Kárpát-medence térségére vonatkozó éghajlati szcenáriók elemzése a PRECIS finom felbontású regionális klímamoddell felhasználásával. Ph.D. értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 95p.
- [82] Pongrácz, R., Bartholy, J., Miklós, E., 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 9, pp. 387–398.
- [83] Ramos, MC., Jones, G.V., Martinez-Casasnovas, J.A., 2008: Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain. *Climate Res.* 38, pp. 1–15.
- [84] Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R.J., Sumi, A., Taylor, K.E., 2007: Climate Models and Their Evaluation. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (szerk.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 74p.
- [85] Riou, C., 1994: The Effect of Climate on Grape Ripening: Application to the Zoning of Sugar Content in the European Community. European Commission. Brussels, Luxembourg. 319p.
- [86] Ruml, M., Vukovic, M., Vujadinovic, M., Djurdjevic, V., Rankovic-Vasic, Z., Atanackovic, Z., Sivcev, B., Markovic, N., Matijasevic, S., Petrovic, N., 2012: On the use of regional climate models: Implications of climate change for viticulture in Serbia. *Agricultural and Forest Meteorology* 158-159, pp. 53–62.
- [87] Santos, J.A., Malheiro, A.C., Pinto, J.G. and Jones, G.V., 2012: Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. *Climate Res.* 51, pp. 89–103.
- [88] Schultz, H.R., 2000: Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6, pp. 1–12.
- [89] Schultz, H.R., Jones, G.V., 2010: Climate Induces Historic and Future Changes in Viticulture. *J. Wine Res.* 21, pp. 137–145.
- [90] Seljaninov, G.T. (Селянинов Г.Т.), 1928: О сельскохозяйственной оценке климата. *сельскохозяйственной метеорологии*, 20, pp. 165–177.
- [91] Sluys, S.L., Climatic Influences on the Grapevine: A study of viticulture in the Waipara basin. University of Canterbury, 121p.
- [92] 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.
- [93] 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., 119p.

- [94] Suter, B., Triolo, R., Pernet, D., Dai, Z., van Leeuwen, C., 2019: Modeling Stem Water Potential by Separating the Effects of Soil Water Availability and Climatic Conditions on Water Status in Grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Front. Plant Sci.* 10:1485., pp. 1–11
- [95] Szalai, V., 2020: Referencia evapotranszpiráció alapú párolgás becslések hazai spárga- és szőlőültetvényeken. Eötvös Loránd Tudományegyetem. Diplomamunka, 75p.
- [96] Szenteleki, K., Ladányi, M., Gaál, M., Zanathy, G., Bisztray, Gy.D., 2012: Climatic risk factors of Central Hungarian grape growing regions. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 10, pp. 87–105.
- [97] Szőke, L., Novák, J., 2005: Agrometeorológia. Főiskolai jegyzet. Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 155p.
- [98] Tabachnick, B.G., Fidell, L.S., 2013: Using Multivariate Statistics. Pearson Education Ink. (7th ed.), pp. 85.
- [99] Teszlák P., Mika J., Csikász-Krizsics A., Werner J., Forgács B., Kozma P., 2009: A klímaváltozás hatása a borszőlő biológiai jellemzőire, a termés mennyiségére és minőségére. *Kertgazdaság* 41(4), pp. 24–40.
- [100] Tonietto, J., Carbonneau, A., 2004: A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Meteorology*, 124 (2004), pp. 81–97.
- [101] Torma, Cs.Zs., Kis, A., Pongrácz, R., 2020: Evaluation of EURO-CORDEX and Med-CORDEX precipitation simulations for the Carpathian Region: Bias corrected data and projected changes. *Időjárás* Vol. 124, No. 1., pp. 25–46.
- [102] Torma, Cs.Zs., Kis, A., 2022: Bias-adjustment of high-resolution temperature CORDEX data over the Carpathian region: Expected changes including the number of summer and frost days. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.7654
- [103] Trbic, G., Djurdjevic, V., Mandic, M.V., Ivanisevic, M., Cupac, R., Bajic, D., Zahirovic, E., Filipovic, D., Dekic, R., Popov, T., Gnjato, S., 2021: The impact of climate change on grapevines in Bosnia and Herzegovina. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 6, 4.
- [104] Varga, Z., Varga-Haszonits, Z., Enzsőlné Gelencsér, E., Milics, G., 2006: Rövidebb tenyészidő és korábbiérés. *Kertészet és Szőlészet* 2006/48, pp. 14.
- [105] Varga, Z., Varga-Haszonits, Z., Enzsőlné Gelencsér, E., Milics, G., 2007: Az éghajlati változékonyság hatása a szőlőtermesztésre. *Kertgazdaság*. 39(2), pp. 27–34.
- [106] Varga-Haszonits, Z., Varga, Z., 1999: Agroklimatológia I. (Éghajlat és növénytermesztés). Pannon Agrártudományi Egyetem, Mosonmagyaróvár. 216p.
- [107] 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. 157p.
- [108] Winkler, A.J., Cook, J.A., Kliewer, W.M., Lider, L.A., 1974: General Viticulture. University of California Press, California. 710p.
- [109] Zanathy, G., 2008: Gondolatok a klímaváltozás szőlőtermesztésre gyakorolt hatásáról. *Agronapló* 12(2), pp. 92–94.
- [110] Zsebeházi, G., 2011: Magyarország éghajlatának jellemzése az ENSEMBLES projectbeli és a hazai regionális modelleredmények együttes vizsgálatával. Szakdolgozat. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 63p.

Internetes hivatkozások

- url1 <https://www.vingis.hu/index.php/termekleirasok-terkepi-mellekletei/category/44-termekleirasok-terkepi-mellekletei> (Utolsó letöltés: 2022.05.18.)
- url2 https://www.hnt.hu/wp-content/uploads/2021/09/borszOLOVEL_beultetett_terulet_2021.png (Utolsó letöltés: 2022.05.18.)
- url3 https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseket/ (Utolsó letöltés: 2021.09.13.)

II. rész: A Chuine-féle Egységes Modell alkalmazása magyarországi kajszii (*Prunus armeniaca* L.) adatsorokra (1994–2020)

- [111] Amling, H.J., Amling, K.A., 1980: Onset, intensity, and dissipation of rest in several pecan cultivars. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105, pp. 536–540.
- [112] Andor, D., 2003: A tavaszi fagyvédelem eszközei. In: Péntes, B., Szalay, L. (szerk.): *Kajszii. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, pp. 248–250.
- [113] Andreini L., García de Cortázar-Atauri I., Chuine I., Viti R., Bartolini S., Ruiz D., Campoy J. A., Legave J. M., Audergon Jean-Marc, Bertuzzi P., 2014: Understanding dormancy release in apricot flower buds (*Prunus armeniaca* L.) using several process-based phenological models. *Agricultural and Forest Meteorology* 184, pp. 210–219.
- [114] Bailey, C.H., Cowgill, W., Hough, L.F., 1978: Estimate of chilling requirements of apricot selection. *Acta Hort.* 85, pp. 184–189.
- [115] Bartholy, J. (szerk.), Pongrácz, R. (szerk.) – Barcza, Z., Bartholy, J., Bihari, Z., Lakatos, M., Mészáros, R., Pieczka, I., Pongrácz, R., Práger T., Radics, K., 2013: *Klímváltozás. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, egyetemi jegyzet*, 180p.
- [116] Bartolini, S., Massani, R., Iacona, C., Guerriero, R., Viti, R., 2019: Forty-year investigations on apricot blooming: Evidences of climate change effects. *Scientia Hort.* 244, pp. 399–405.
- [117] Bartolini, S., Massai, R., Viti, R., 2020: The influence of autumn-winter temperatures on endodormancy release and blooming performance of apricot (*Prunus armeniaca* L.) in central Italy based on long-term observations. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 95, pp. 794–803.
- [118] Basler, D., Körner, C., 2012: Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agric. For. Meteorol.* 165, pp. 73–81.
- [119] Bellini, E., 2007: *The Fruit Woody Species. ARSIA, Firenze. Volume 1. and 2., 1069 p.*
- [120] Boyer, W.D., 1973: Air temperature, heat sums, and pollen shedding phenology of longleaf pine. *Ecology* 54, pp. 421–425.
- [121] Brózik, S. (szerk.), Kállay, T.-né (szerk.) – Apostol, J., Brózik, S., Erdős, Z., Kerek, M.M., Szabó, Z., 2000: *Csonthéjas gyümölcsfajták. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 187p.
- [122] Caffarra A., Eccel E., 2010: Increasing the robustness of phenological models for *Vitis vinifera* cv. Chardonnay. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 54 No. 3, pp. 255–267.
- [123] Caffarra, A., Donnelly, A., 2011: The ecological significance of phenology in four different tree species: effects of light and temperature on bud burst. *Int J Biometeorol* 2011. 55, pp. 711–721.
- [124] Campoy, J.A., Ruiz, D., Egea, J., 2011: Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae*. 130, pp. 357–372.
- [125] Campoy, J.A., Ruiz, D., Nortes, M.D., Egea, J., 2012: Temperature efficiency for dormancy release in apricot varies when applied at different amounts of chilling accumulation. *Plant Biology*. 2012 German Botanical Society and The Royal Botanical Society of the Netherlands, pp. 1–8.
- [126] Campoy, J.A., Audergon, J.M., Ruiz, D., 2020: Genomic designing for new climate-resilient apricot varieties in a warming context. In: Kole, C. (szerk.): *Genomic Designing of Climate-Smart Fruit Crops. Springer Nature Switzerland AG.*, pp. 73–90.
- [127] Cannell, M.G.R., Smith, R.I., 1983: Thermal Time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *J. Appl. Ecol.* 20, pp. 951–963.
- [128] Chmielewski, F.-M., Müller, A., Bruns, E., 2004: Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agric. For. Meteorol.* 121, pp. 69–78.
- [129] Chmielewski, F.-M., Blümel, K., Henniges, Y., Blanke, M., Weber, R.W.S., Zoth, M. 2011: Phenological models for the beginning of apple blossom in Germany. *Meteorol. Zeitschrift* 20, pp. 487–496.

- [130] Chuine I., Cour P., Rousseau D.D., 1998: Fitting models predicting dates of flowering of temperate-zone trees using simulated annealing. *Plant. Cell and Environment*. Vol. 21, pp. 455–466.
- [131] Chuine, I., Cour, P., 1999: Climatic determinants of budburst seasonality of temperate-zone trees. *The New Phytol.* 143(2), pp. 339–349.
- [132] Chuine, I., Cour, P., Rousseau, D.D., 1999: Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implications for tree phenology modelling. *Plant, Cell Environ.* 22, pp. 1–13.
- [133] Chuine I., 2000: A Unified Model for Budburst of Trees. *Journal of Theoretical Biology*. Vol. 207 No. 3, pp. 337–347.
- [134] Chuine, I., Kramer, K., Hänninen, H., 2003: Plant development models. In: Schwartz, M.D. (szerk.): *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer Science and Business Media B.V., pp. 217–235.
- [135] Chuine, I., 2010: Why does phenology drive species distribution? *Philos. Trans. Biol. Sci.* 365(1555), pp. 3149–3160.
- [136] Chuine, I., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Kramer, K., Hänninen, H., 2013: Plant Development Models. In: Schwarz, M.D. (szerk.): *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer, Dordrecht, Hollandia, pp. 275–293.
- [137] Chuine, I., Bonhomme, M., Legave, J.-M., García de Cortázar-Atauri, I., Charrier, G., Lacointe, A., Améglio, T., 2016: Can phenological models predict tree phenology accurately in the future? The unrevealed hurdle of endodormancy break. *Global Change Biology* 2(10), pp. 3444–3460
- [138] Cook, B.I., Wolkovich, E.M., Parmesan, C., 2012: Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109, pp. 9000–9005.
- [139] Dai, W., Jin, H., Zhang, Y., Liu, T., Zhou, Z., 2019: Detecting temporal changes in the temperature sensitivity of spring phenology with global warming: Application of machine learning in phenological model. *Agricultural and Forest Meteorology* 279, 14p.
- [140] De Barba, D., Rossi, S., Deslauriers, A., Morin, H., 2016: Effects of soil warming and nitrogen foliar applications on bud burst of black spruce. *Trees*. 30, pp. 87–97.
- [141] Della Strada, G., Pennone, F., Fideghelli, C., Monastra, F., Cobiancchi, D., 1989: *Monografia di cultivar di albicocco*. Istituto Sperimentale per la Frutticoltura, Rome, 239p.
- [142] Eccel, E., Rea, R., Caffarra, A., Crisci, A., 2009: Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation. *Int. J. Biometeor.* 53, pp. 273–286.
- [143] Egea, J., Ortega, E., Martinez-Gomez, P., Dicenta, F., 2003: Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Env. Exp. Bot.* 50, pp. 79–85.
- [144] Erez, A., Fishman, S., 1998: The dynamic model for chilling evaluation in peach buds. *Acta Hort.* 465, pp. 507–510.
- [145] Erez, A., 2000: Bud dormancy: phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: Erez, A. (szerk.): *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 17–48.
- [146] Ezzat, A., Amriskó, L., Balázs, G., Mikita, T., Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z., 2012: Variation between some apricot varieties in regard to flowering phenology in Boldogkövőáralja, Hungary. *Internatinal Journal of Horticultural Science* 2012, 18(1), pp. 7–9.
- [147] Fan, D., Zhu, W., Zheng, Z., Zhang, D., Pan, Y., Jiang, N., 2012: Change in the Green-Up Dates for *Quercus mongolica* in Northeast China and Its Climate-Driven Mechanism from 1962 to 2012. *PLoS ONE* 10(6), 13p.
- [148] Faust, M., Liu, D., Merle, M.M., Stutte, G.W., 1991: Bound versus free water in dormant apple buds – A theory for endodormancy. *Hort. Science* 26, pp. 887–890.
- [149] Faust, M., Erez, A., Rowland, L.J., Wang, S.Y., Norman, H.A., 1997: Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *Hortscience* 32, pp. 623–629.

- [150] Fila G., Di Lena B., Gardiman M., Storch P., Tomasi D., Silvestroni O., Pitacco A., 2012: Calibration and validation of grapevine budburst models using growth-room experiments as data source. *Agricultural and Forest Meteorology* Vol. 160, pp. 69–79.
- [151] Fishman, S., Erez, A., Couvillon, G.A., 1987a: The temperature dependence of dormancy breaking in plants: mathematical analysis of two-step model involving a cooperative transition. *Journal of Theoretical Biology* 124, pp. 473–483.
- [152] Fishman, S., Erez, A., Couvillon, G.A., 1987b: The temperature dependence of dormancy breaking in plants: computer simulation of processes studied under controlled temperatures. *Journal of Theoretical Biology* 126, pp. 309–321.
- [153] Fitter, A.H., Fitter, R.S.R., 2002: Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296, pp. 1689–1691.
- [154] Frenguelli G., Bricchi E., Romano B., Mincigriucci G., Spieksma F.T.M., 1989: A predictive study on the beginning of pollen season for Gramineae and *Olea europaea* L. *Aerobiologia* 5, pp. 64–70.
- [155] Frenguelli G., Spieksma T.M., Bricchi E., Romano B., Mincigriucci G., Nikkels A.H., Darkaart W., Ferranti F., 1991: The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana* 30, pp. 196–200.
- [156] Fu Y. H., Campioli M., Demarée G., Deckmyn A., Hamdi R., Janssens I. A., Deckmyn G., 2012: Bayesian calibration of the Unified budburst model in six temperate tree species. *International Journal of Biometeorology* Vol. 56, pp. 153–164.
- [157] Fu, Y.H., Piao, S., Zhao, H., Jeong, S.-J., Wang, X., Vitasse, Y., Ciais, P., Janssens, I.A., 2014: Unexpected role of winter precipitation in determining heat requirement for spring vegetation green-up at northern middle and high latitudes. *Global Change Biol.* 20, pp. 3743–3755.
- [158] Fu, Y.H., Liu, Y., De Boeck, H.J., Menzel, A., Nijs, I., Peaucelle, M., Penuelas, J., Piao, S., Janssens, I.A., 2016: Three times greater weight of daytime than of night-time temperature on leaf unfolding phenology in temperate trees. *New Phytol.* 212, pp. 590–597.
- [159] Garcia de Cortazar-Atauri I., Brisson N., Gaudillere J., 2009: Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *International Journal of Biometeorology*, 53, pp. 317–326.
- [160] Grab, S., Craparo, A., 2011: Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the south western Cape, South Africa: 1973–2009. *Agric. For. Meteorol.* 151, pp. 406–413.
- [161] Gao, Z., Zhuang, W., Wang, L., Shao, J., Luo, X., Cai, B., Zhang, Z., 2012: Evaluation of Chilling and Heat Requirements in Japanese Apricot with Three Models. *HortScience* 47(12), pp. 1826–1831.
- [162] Guo L., Dai J., Ranjitkar S., Yu H., Xu J., Luedeling E., 2014: Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *International Journal of Biometeorology* Vol. 58, No. 6, pp. 1195–1206.
- [163] Guo, L., Dai, J., Wang, M., Xu, J., Luedeling, E. 2015: Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: a case study of apricot flowering in China. *Agric. For. Meteorol.* 201, pp. 1–7.
- [164] Hänninen, H., 1987: Effects of temperature on dormancy release in woody plants: implications of prevailing models. *Silva Fenn.* 21, pp. 279–299.
- [165] Hänninen H., 1990: Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta Forestalia Fennica* 213, pp. 1–47.
- [166] Haraszty, Á. (szerk.) – Haraszty, Á., Hortobágyi, T., Fridvalszky, L., Kiss, I., Pólya, L., 1979: *Növényismeret és növényélettan*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 798p.
- [167] Harnos, Zs., Ladányi, M., 2005: *Biometria agrártudományi alkalmazásokkal*. Budapesti Corvinus Egyetem. Aula Kiadó, Budapest, 336p.
- [168] Harsányi, J., Mády, R.-né, 2002: *Szőlő- és gyümölcsfajták jegyzéke*. Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest.

- [169] Hauagge, R., Cummins, J., 2000: Pome Fruit Genetic Pool for Production in Warm Climates. In: Erez, A. (szerk.): *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Amsterdam, Springer Netherlands, pp. 267–303.
- [170] Heide, O., 1993: Dormancy release in beech buds (*Fagus sylvatica*) requires both chilling and long days. *Physiologia Plantarum*, 89, pp. 187–191.
- [171] Hlaszny E., 2012: A szőlő (*Vitis Vinifera* L.) korai fenológiai válaszadásának modellezése a kunsági borvidéken növényfelvételezések, időjárási megfigyelések és regionális klímamodell alapján. Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 163p.
- [172] Hufkens, K., Basler, D., Milliman, T., Melaas, E.K., Richardson, A.D., 2018: An integrated phenology modelling framework in R. *Methods in Ecology and Evaluation* 2018(9), pp. 1276–1285.
- [173] Hunter, A.F., Lechowicz, M.J., 1992: Predicting the timing of budburst in temperate trees. *J. of Appl. Ecol.* 29, pp. 597–604.
- [174] Ishioka, R., Muller, O., Hiura, T., Kudo, G., 2013: Responses of leafing phenology and photosynthesis to soil warming in forest-floor plants. *Acta Oecol.* 51, pp. 34–41.
- [175] Janssen, P.H.M., Heuberger, P.S.C., 1995: Calibration of process-oriented models. *Ecol. Model.* 83, pp. 55–66.
- [176] Jochner, S., Höfler, J., Beck, I., Göttlein, A., Ankerst, D.P., Traidlhoffmann, C., Menzel, A., 2013: Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? *J. Exp. Bot.* 64, pp. 2081–2092.
- [177] Kerek, M.M., Nyujtó, F., 1998: Kajsziarack. In: Soltész, M. (szerk.): *Gyümölcsfajta ismeret- és használat*. Mezőgazda Kiadó. Budapest, pp. 234–257.
- [178] Kobayashi, K.D., Fuchigami, L.H., English, M.J., 1982: Modelling temperature requirements for rest development in *Cornus sericea*. *J. Am. Soc. Hor. Sci.* 107, pp. 914–918.
- [179] Körner, C., Basler, D., 2010: Phenology under global warming. *Science*. 327, pp. 1461–1462.
- [180] Kramer, K., 1994: Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus Sylvatica*. *Journal of Applied Ecology* 31, pp. 172–181.
- [181] Lang, G.A., 1987: Dormancy: A new universal terminology. *HortScience*. 22(5), pp. 817–820.
- [182] Lakatos, L., Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z., Racskó, J., 2008: Effect of meteorological variables on the blooming time. In: Nyéki J., Soltész M., Szabó Z. (szerk.): *Morphology, biology and fertility of flowers in temperate zone fruits*. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 117–140.
- [183] Landsberg, J.J., 1974: Apple fruit bud development and growth; analysis and an empirical model. *Ann. Bot.* 38, pp. 1013–1023.
- [184] Laube, J., Sparks, T.H., Estrella, N., Menzel, A., 2014: Does humidity trigger tree phenology? Proposal for an air humidity based framework for bud development in spring. *New Phytol.* 202, pp. 350–355.
- [185] Ledbetter, C.A., 2008: Apricots. In: Hancock, J.H. (szerk.): *Temperate fruit crop breeding*. Springer Science and Business Media B.V., pp. 39–82.
- [186] Legave, J.M., Clauzel, G., 2006: Long-term evolution of flowering time in apricot cultivars grown in southern France: which future impacts of global warming? *ActaHortic.* 717, pp. 47–50.
- [187] Legave, J., Farrera, I., Alméras, T., Calleja, M., 2008: Selecting models of apple flowering time and understanding how global warming has had an impact on this trait. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 83, pp. 76–84.
- [188] Legave, J.M., Christen, D., Giovannini, D., Oger, R., 2009: Global warming in Europe and its impact on floral bud phenology in fruit species. *Acta Hort.* 838, pp. 21–26.
- [189] Legave, J.M., Blanke, M., Christen, D., Giovannini, D., Mathieu, V., Oger, R., 2013: A comprehensive overview of spatial and temporal variability of apple bud dormancy release and blooming phenology in Western Europe. *Int. J. Biometeorol* 2013. 57, pp. 317–331.

- [190] Li, R., Zhou, G., 2012: A temperature-precipitation based leafing model and its application in Northeast China. *PLoS One* 7(4), e33192.
- [191] Lichou, J., Audubert, A., 1989: *Labricoter*. CTIFL, 386p.
- [192] Linkosalo, T., Carter, T., Häkkinen, R., Hari, P., 2000: Predicting spring phenology and frost damage risk of *Betula* spp. Under climatic warming: a comparison of two models. *Tree Physiol.* 20, pp. 1175–1182.
- [193] Linkosalo, T., Lechowicz, M.J., 2006: Twilight far-red treatment advances leaf bud burst of silver birch (*Betula pendula*). *Tree Physiol.* 26, pp. 1249–1256.
- [194] Luedeling, E., 2012: Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*. 144, pp. 218–229.
- [195] Moriondo, M., Bindi, M., 2007: Impact of climate change of typical Mediterranean crops. *Ital. J. Agrometeorol.* 12, pp. 5–12.
- [196] Murray, M.B., Cannell, G.R., Smith, R.I., 1989: Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climate warming. *J. Appl. Ecol.* 26, pp. 693–700.
- [197] Myking, T., Heide, O.M., 1995: Dormancy release and chilling requirement of buds of latitudinal ecotypes of *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Tree Physiol* 15, pp. 697–704.
- [198] Németh Sz., 2012: A virágrügy- és gyümölcsfejlődés fenológiai, morfológiai és biokémiai jellemzése fontosabb kajszfajták esetében. Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 146p.
- [199] Nyéki J. 1989: Csonthéjas gyümölcsűek virágzása és termékenyülése. Akadémiai doktori értekezés. MTA Budapest, (kézirat)
- [200] Nyujtó, F., 1980: A kajsziarack. In: Nyéki J. (szerk.): Gyümölcsfajták virágzásbiológiája és termékenyülése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest, pp. 248–261.
- [201] Papp, J. (szerk.) – Andor, D., Bubán, T., Gonda, I., G. Tóth, M., Göndör, J.-né, Hrotkó, K., Jenser, G., Ligetvári, F., Nyéki, J., Papp, J., Sass, P., Sipos, B.Z., Soltész, M., Szalay, L., Terpó, A., Tőkei, L., Z. Kiss, L., 2003: Gyümölcstermesztési alapismeretek. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 474p.
- [202] Parmesan, C., 2007: Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Glob. Chang. Biol.* 13, pp. 1860–1872.
- [203] Parmesan, C., Yohe, G., 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, pp. 37–42.
- [204] Pedryc, A., 1992: A kajsziarack néhány tulajdonságának variabilitása a nemesítés szemszögéből. Kandidátusi értekezés, MTA, Budapest, (kézirat)
- [205] Pirazzini, P., 1997: Prove di impollinazione su nueve cultivar di albicocco nell'Imolese. *Italus Hortus*. 4(2), pp. 70–71.
- [206] Pór, J., 2003: Kajsziültetvények létesítése. In: Péntes, B., Szalay, L. (szerk.): Kajszi. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 186–197.
- [207] Pouget, R., 1963: Recherches physiologiques sur le repos végétatif de la vigne (*Vitis vinifera* L.): la dormance des bourgeons et le mécanisme de sa disparition. Doktori disszertáció. Bordeaux University, Ann. Amélior. Plantes. 13 Special Issue, 247p.
- [208] Pouget, R., 1967: Méthode d'appréciation de l'évolution physiologique des bourgeons pendant la phase de pré-débourrement. Application à l'étude comparée du débourrement de la vigne. *Vitis*, 6, pp. 294–302.
- [209] Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P., 2007: Numerical recipes 3rd Edition. The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, 1235p.
- [210] Reis, S., Fraga, H., Carlos, C., Silvestre, J., Eiras-Dias, J., Rodrigues, P., Santos JA., 2020: Grapevine Phenology in Four Portuguese Wine Regions: Modeling and Predictions. *Applied Sciences* 2020 (10), 3708.

- [211] Réaumur, R.A.F.de, 1735: Observations du thermomètre, faites à Paris pendant l'année 1735, compares avec celles qui ont été faites sous la ligne, à l'isle de France, à Alger et quelques unes de nos isles de l'Amérique., Memoires de l'Académie des Sciences de Paris, 545p.
- [212] Richardson, E.A., Seeley, S.D., Walker, D.R., 1974: A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. Hort. Science 9, pp. 331–332.
- [213] Robertson, G.W., 1968: A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. Int. J. Biometeorol. 12, pp. 191–223.
- [214] Rodrigo, J., Herrero, M., 2002: Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot. Scientia Hort. 92, pp. 125–135.
- [215] Ruiz, D., Campoy, J.A., Egea, J., 2007: Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. Environmental and Experimental Botany. 61(3), pp. 254–263.
- [216] Sarvas, R., 1974: Investigations on the annual cycle of development of forest trees: Autumn dormancy and winter dormancy. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84, pp. 1–101.
- [217] Saure, M.C., 1985: Dormancy release in deciduous fruit trees. Hort. Rev. 7, pp. 239–300.
- [218] Scalabrelli, G., Viti, R., Cinelli, F., 1991: Change in catalase activity and dormancy of apricot buds in response to chilling. Acta Hort. 293, pp. 267–273.
- [219] Soltész, M., 1996: Flowering. In: Nyéki, J., Soltész, M. (szerk.): Floral biology of temperate zone fruit trees and small fruits. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 80–131.
- [220] Sunley, R.J., Atkinson, C.J., Jones, H.G., 2006: Chill unit models and recent changes in the occurrence of winter chill and spring frost in the United Kingdom. J. Hort. Sci. Biotechnol. 81, pp. 949–958.
- [221] Surányi, D., Molnár, L., 1981: A kajszibarack élettana. In: Nyujtó, F., Surányi, D. (szerk.): Kajszibarack. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 177–228.
- [222] Surányi, D., 2011: A Sárgabarack. Magyarország Kultúrflórája II. kötet, 9. füzet. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 303p.
- [223] Szabó, Z., Nyéki, J., 1991: Blossoming, fructification and combination of apricot varieties. Acta Horticulturae. 293, pp. 295–302.
- [224] Szabó, Z., Nyéki, J., Soltész, M., 2002: Kajsz. In: Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z. (szerk.): Fajtatársítás a gyümölcsültetvényekben. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 246–257.
- [225] Szabó, Z., Nyéki, J., Soltész, M., 2003: Apricot (*Prunus armeniaca* L.) In: Kozma, P., Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z. (szerk.): Floral biology, pollination and fertilisation in temperate zone fruit species and grape. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 411–423.
- [226] Szalay, L., Szabó, Z., 1999: Blooming time of some apricot varieties of different origin in Hungary. International Journal of Horticultural Science, 1999, 5, (1–2), pp. 16–20.
- [227] Szalay, L., Papp, J., Szabó, Z., 2000: Variability in the blooming time of apricot varieties in Hungary. Acta Hort. 583, pp. 139–141.
- [228] Szalay, L., 2001: Kajsz- és őszibarackfajták fagy és téltűrése. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Budapest, 130p.
- [229] Szalay, L., 2003: A kajsz- ökológiai igényei. In: Péntes, B., Szalay, L. (szerk.): Kajsz. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 41–52.
- [230] Szalay, L., Szabó, Z., Nyéki, J., 2003: A kajszifák vegetatív és reprodukív szerveinek kialakulása, fejlődése a termesztéstechnológiával összefüggésben. In: Péntes, B., Szalay, L. (szerk.): Kajsz. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 152–185.
- [231] Szalay, L., 2008: Development and cold hardiness of flower buds of stone fruits. In: Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z. (szerk.): Morphology, biology and fertility of flowers in temperate zone fruits. Academic Press, Budapest, pp. 63–82.
- [232] Szalay, L., Szabó, Z., 1999: Blooming time of some apricot varieties of different origin in Hungary. International Journal of Horticultural Science. 5(1–2), pp. 16–20.

- [233] Szalay, L., 2013: A kajszi hazai és külföldi nemesítésének főbb szempontjai és eredményei; Hazai és külföldi fajtaújdonosságok. In: Zámboriné Németh, É., Horváth, L. (szerk.): Korszerű Kertészet. Egyetemi jegyzet. Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar, pp. 82–108.
- [234] Szalay, L., Froemel-Hajnal, V., Bakos, J., Ladányi, M., 2019: Changes of the microsporogenesis process and blooming time of three apricot genotypes (*Prunus armeniaca* L.) in Central Hungary based on long-term observation (1994–2018). *Scientia Horticulturae*. 246, pp. 279–288.
- [235] Thornley, J.H.M., Johnson, R., 1990: Plant and crop modelling: a mathematical approach to plant and crop physiology. Clarendon Press, Oxford, 684p.
- [236] Tétényi P.-né, 1965: A kajszi nyugalmi állapotának élettani kérdései. Doktori értekezés. Kertészeti és Szőlészeti Főiskola. Budapest, 158p.
- [237] Tromp, J., 2005: Dormancy. In: Tromp, J. Webster, A.D., Wertheim, S.J. (szerk.): Fundamentals of Temperate zone Tree Fruit Production. Leiden: Backhuys Publishers, pp. 65–73.
- [238] Vegis, A., 1964: Dormancy in higher plants. *Annual review of plant physiology* 15, pp. 185–224.
- [239] Vitasse, Y., Francois, C., Delpierre, N., Dufrene, E., Kremer, A., Chuine, I., Delzon, S., 2011: Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151, pp. 969–980.
- [240] Vitasse, Y., Hoch, G., Randin, C.F., Lenz, A., Kollas, C., Scheepens, J.F., Körner, C., 2013: Elevational adaptation and plasticity in seedling phenology of temperate deciduous tree species. *Oecologia*. 171, pp. 663–678.
- [241] Viti, R., Monteleone, P., 1991: Observations on flower bud growth in some low yield varieties of apricot. *Acta Hort.* 293, pp. 319–326.
- [242] Viti, R., Monteleone, P., 1995: High temperature influence on the presence of flower bud anomalies in two apricot varieties characterized by different productivity. *Acta Hort.* 384, pp. 283–289.
- [243] Wang, X., Li, H., Garcia de Cortazar-Atauri, I., 2020: Assessing grapevine phenological models under Chinese climatic conditions. *International Viticulture and Enology Society – IVES, OENO One Vine and Wine Open Access Journal* 2020 (3), pp. 637–656.
- [244] Way, D.A., Montgomery, R.A., 2015: Photoperiod constraints on tree phenology, performance and migration in a warming world. *Plant Cell Environ.* 38, pp. 1725–1736.
- [245] Weinberger, J.H., 1950: Chilling requirements of peach varieties. *Proceeding of the American Society of Horticultural Science* 56, pp. 122–128.
- [246] Weise, T., 2009: Global Optimization Algorithms – Theory and Application – második kiadás, elektronikus könyv: <http://www.it-weise.de/projects/book.pdf> (2009.06.26), pp. 263–267.
- [247] Williams D. W., Andris H. L., Beede R. H., Luvisi D. A., Norton M. V. K., Williams L. E., 1985: Validation of a Model for the Growth and Development of the Thompson Seedless Grapevine. II. Phenology. *American Journal of Enology and Viticulture* Vol. 36, No. 4, pp. 283–289.
- [248] WMO, 2018: Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I - Measurement of Meteorological Variables, No. 8. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, pp. 548.
- [249] Wolfe, D.W., Schwartz, M.D., Lakso, A.N., Otsuki, Y., Pool, R.M., Shaulis, N.J., 2005: Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in north eastern USA. *Int. J. Biometeorol.* 49, pp. 303–309.
- [250] Yo, J., Conrad, A.O., Decroocq, V., Zhebentyayeva, T., Williams, D.E., Bennett, D., Roch, G., Audergon, J-M., Dardick, C., Liu, Z., Abbott, A.G., Staton, M.E., 2020: Distinctive Gene Expression Patterns Define Endodormancy to Ecodormancy Transition in Apricot and Peach. *Front. Plant Sci.* 11, 180.
- [251] Yu, H., Luedeling, E., Xu, J., 2010: Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107, pp. 22151–22156.

Internetes hivatkozások

url4 http://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0014.html (Utolsó letöltés: 2021.04.06.)

url5 <https://www.cefe.cnrs.fr/fr/recherche/ef/forecast/phenology-modelling-platform?tmpl=component&type=raw> (Utolsó letöltés: 2022.03.14.)

Függelék

I. rész: Vegetációsidőszak-számítási módszerek és indikátoranalízis kidolgozása és alkalmazása az eurázsiai termesztett szőlő növényre (*Vitis vinifera* L. syn: *Vitis vinifera* L. ssp. *sativa*) meteorológiai klímamodellek alapján

A függelékben szereplő ábrák jegyzéke

F1. ábra: A vegetációs időszak hossza Magyarországon az 'int' módszer alapján.....	110
F2. ábra: A vegetációs időszak kezdete Magyarországon az 'int' módszer alapján.	111
F3. ábra: A vegetációs időszak vége Magyarországon az 'int' módszer alapján.	112
F4. ábra: A módosított Winkler-index értéke Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	113
F5. ábra: A módosított hidrotermikus koefficiens értékeinek összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	114
F6. ábra: Az átlagos vegetációs időszaki csapadékösszeg összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján.....	115
F7. ábra: Az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak átlagos hossza Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	116
F8. ábra: Az átlagos éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszakok összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	117
F9. ábra: Az átlagos éves leghosszabb egybefüggő száraz időszakok összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	118
F10. ábra: A -17 °C alatti minimumhőmérsékletű napok száma a nyugalmi időszakban Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	119
F11. ábra: A -21 °C alatti minimumhőmérsékletű napok száma a nyugalmi időszakban Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	120

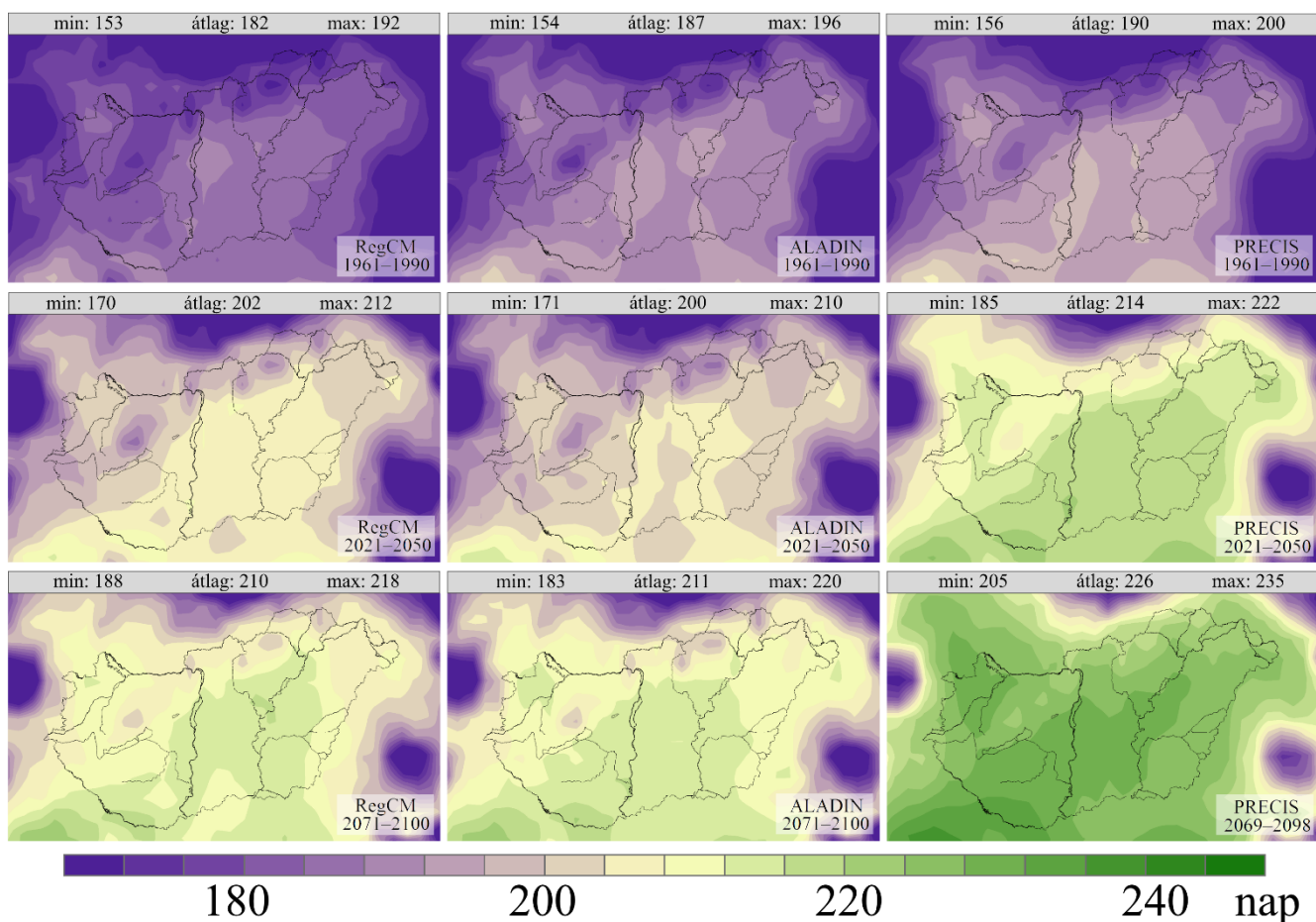
A függelékben szereplő táblázatok jegyzéke

F1. táblázat: Vegetációs időszak magyarországi átlagos hossza, kezdete és vége az 'int' módszerrel számolva.	121
F2. táblázat: A vegetációs időszak hosszának, kezdetének és végének összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján.	122
F3. táblázat: A vegetációs időszak hosszának, kezdetének és végének összehasonlítása Magyarországon az 'int' módszer alapján.	123
F4. táblázat: A módosított Winkler-index, a módosított Huglin-féle heliotermikus index és a módosított hidrotermikus koefficiens rácsponti középértékeinek magyarországi minimuma, átlaga és maximuma az 'int' módszer alapján.	124
F5. táblázat: A módosított Winkler-index, a módosított Huglin-féle heliotermikus index és a módosított hidrotermikus koefficiens értékeinek összehasonlítása Magyarországon az 'int' módszer alapján.....	125
F6. táblázat: A vegetációs időszaki csapadékösszeg, az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak és az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak rácsponti középértékeinek magyarországi minimuma, átlaga és maximuma az 'int' módszer alapján.....	126
F7. táblázat: A vegetációs időszaki csapadékösszeg, az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak és az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak összehasonlítása Magyarországon az 'int' módszer alapján.	127
F8. táblázat: A rácspontonkénti 35 °C feletti napi maximumhőmérsékletű évek számának, a vegetációs időszak első felében jelentkező -1 °C alatti minimumhőmérsékletű napok számának, a nyugalmi időszakban jelentkező -17 °C és -21 °C alatti minimumhőmérsékletű napok számának magyarországi minimuma, átlaga és maximuma az 'int' módszer alapján.	128

II. rész: A Chuine-féle Egységes Modell alkalmazása magyarországi kajszi (*Prunus armeniaca* L.) adatsorokra (1994–2020)

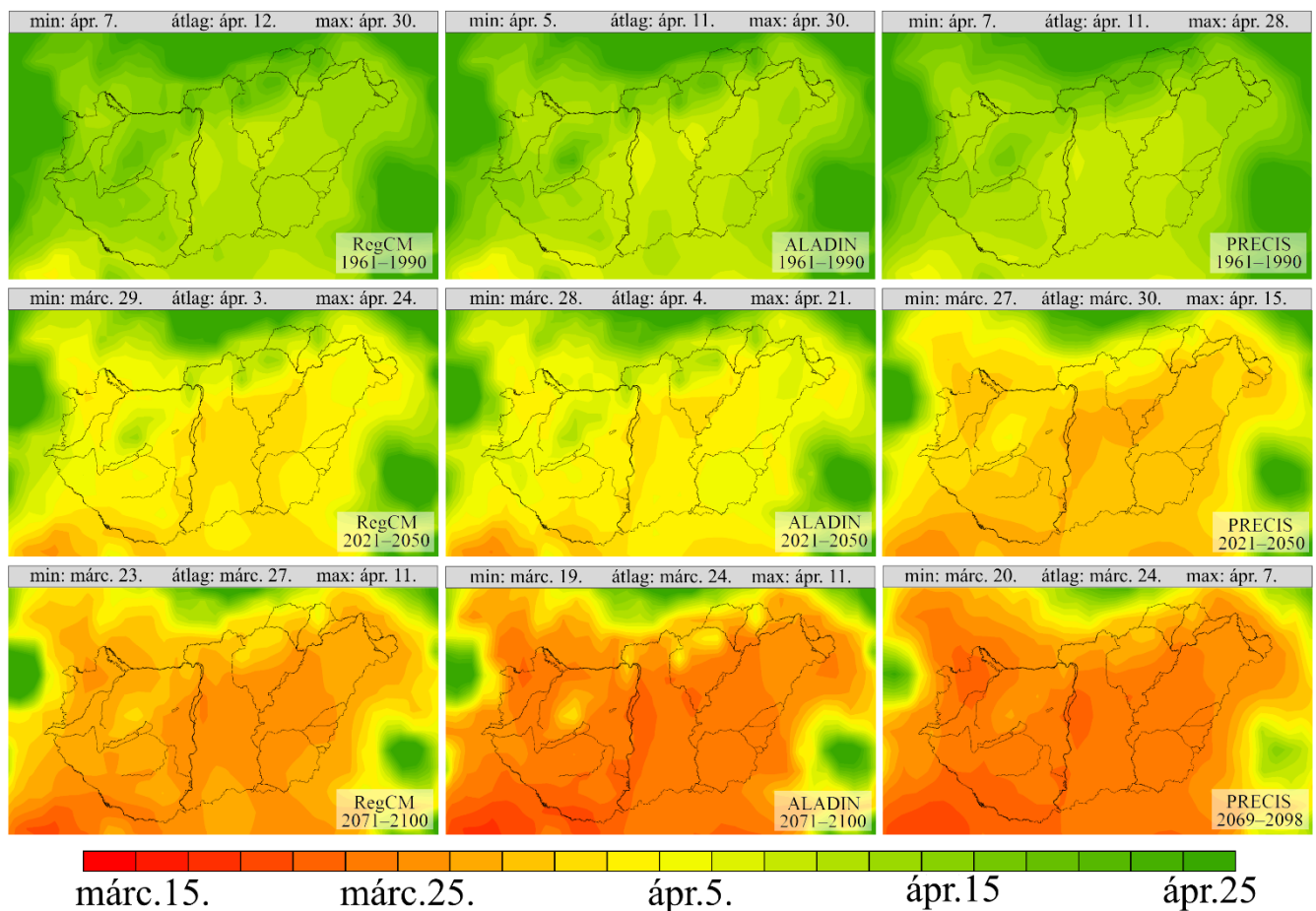
A függelékben szereplő ábrák jegyzéke

F12. a., b. ábra: Az Egységes Modell 'Ceglédi bíborkajszi' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs és a kényszernyugalmi hőgyűjtési paraméterértékei páronként ábrázolva.	129
F13. a., b. ábra: Az Egységes Modell 'Gönci magyar kajszi' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs és a kényszernyugalmi hőgyűjtési paraméterértékei páronként ábrázolva.	131
F14. a., b. ábra: Az Egységes Modell 'Rózsakajszi C.1406' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs és a kényszernyugalmi hőgyűjtési paraméterértékei páronként ábrázolva.	133
F15. ábra: A kényszernyugalmi hőgyűjtés c_f és w paraméterpárjainak becsült értékei (fent) és a w paraméter értékeinek gyakorisága (lent) a 'Gönci magyar kajszi' esetén.	135
F16. ábra: A kényszernyugalmi hőgyűjtés c_f és w paraméterpárjainak becsült értékei (fent) és a w paraméter értékeinek gyakorisága (lent) a 'Rózsakajszi C.1406' esetén.	136
F17. ábra: Az első futtatás során optimalizást kényszernyugalmi hőösszeg paraméter (w) és az ahhoz tartozó paramétervektor RMSE-je a 'Ceglédi bíborkajszi', a 'Gönci magyar kajszi' és a 'Rózsakajszi C.1406' esetében.....	136
F18. ábra: Példa egy matematikailag helyes globális optimum paramétervektorból származó hidegakkumulációs és hőgyűjtési görbére a 'Gönci magyar kajszi' esetében (fent) és az ebből származó matematikailag helyes évenkénti mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés a 'Gönci magyar kajszi' esetében (lent) az 1994. szeptember – 2020. április időszakban.....	137
F19. ábra: Az évenkénti mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés a 'Gönci magyar kajszi' esetében az 1994. szeptember – 2020. április időszakban.....	137
F20. ábra: Az évenkénti mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés a Rózsakajszi C.1406' esetében az 1994. szeptember – 2020. április időszakban.	138



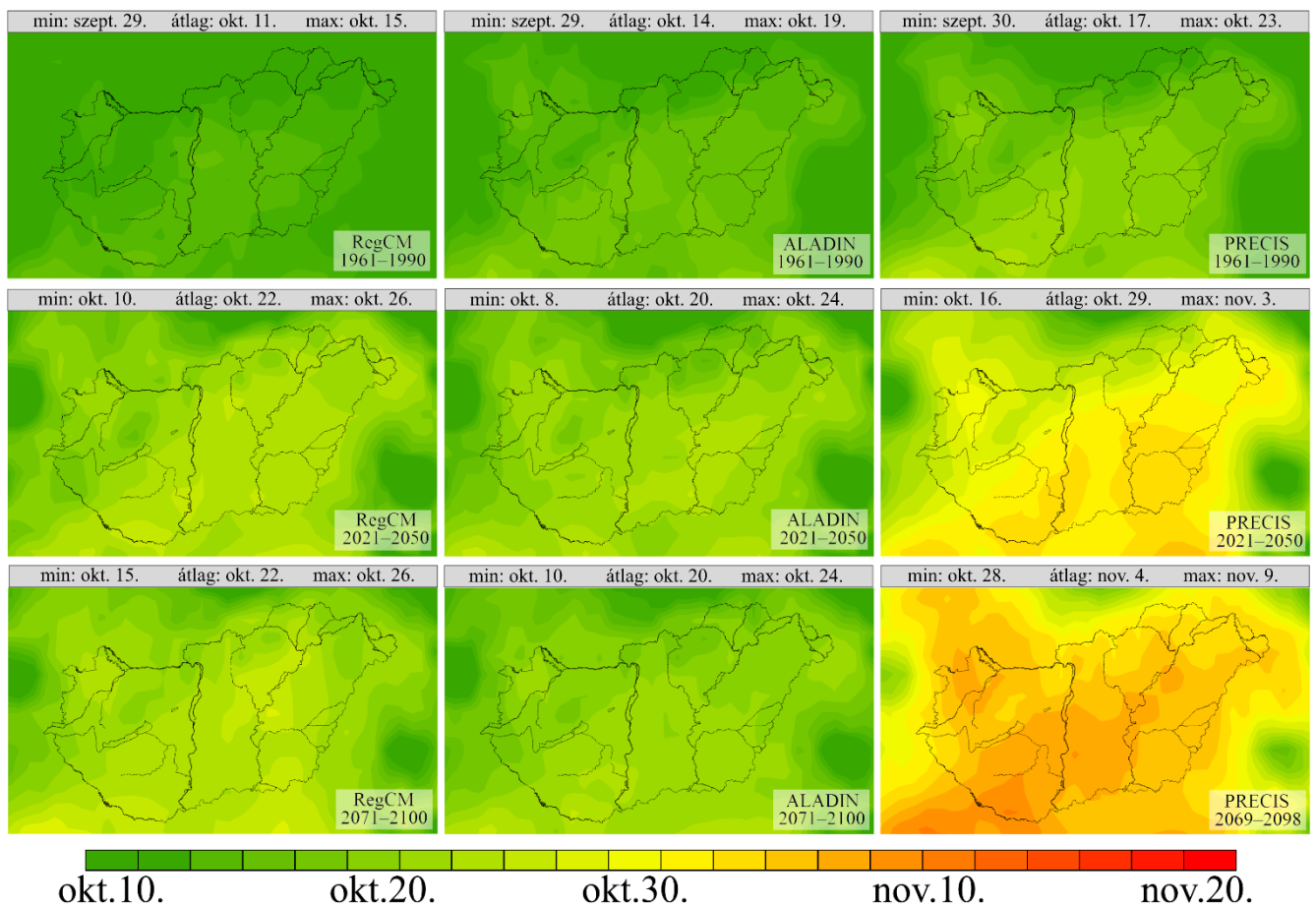
F1. ábra: A vegetációs időszak hossza ($G^g_{L,int}$, nap) Magyarországon az 'int' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁵⁹ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁵⁹ 2069–2098 a PRECIS modellnél



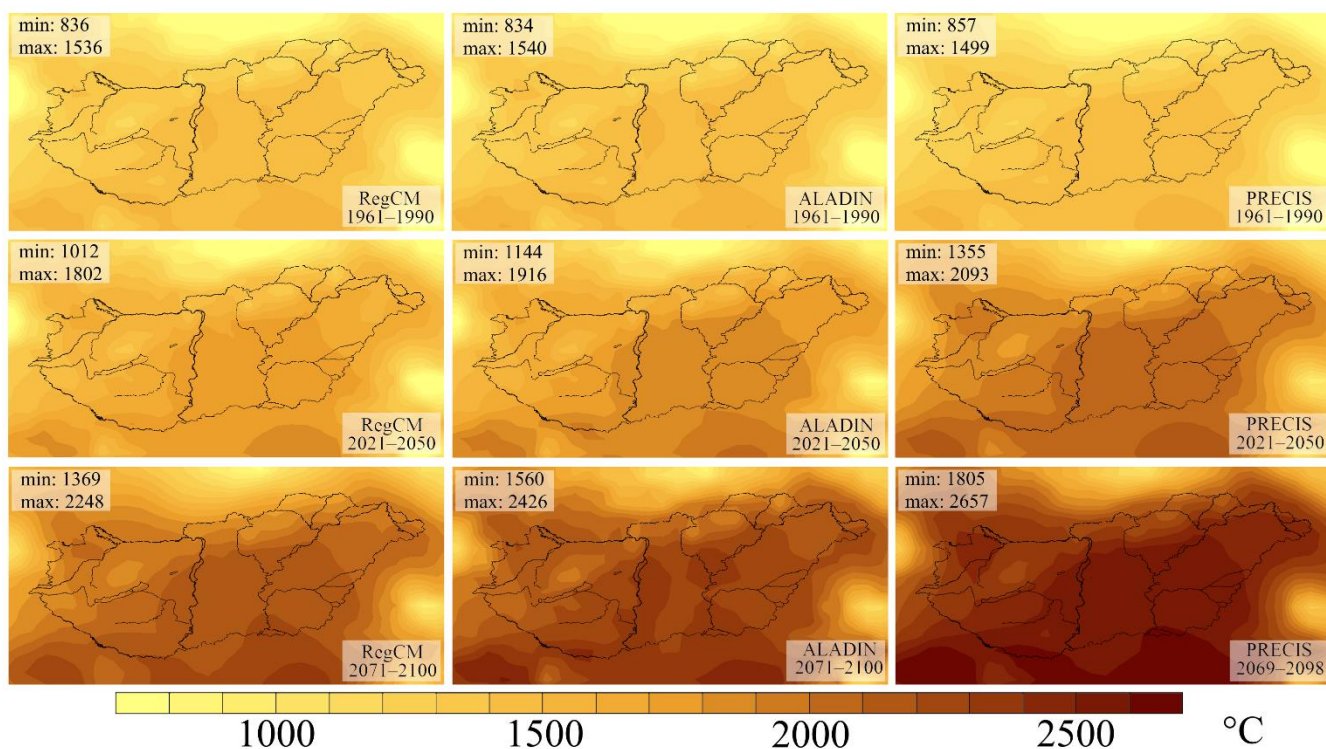
F2. ábra: A vegetációs időszak kezdete ($G_{B;int}^g$) Magyarországon az 'int' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶⁰ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁶⁰ 2069–2098 a PRECIS modellnél



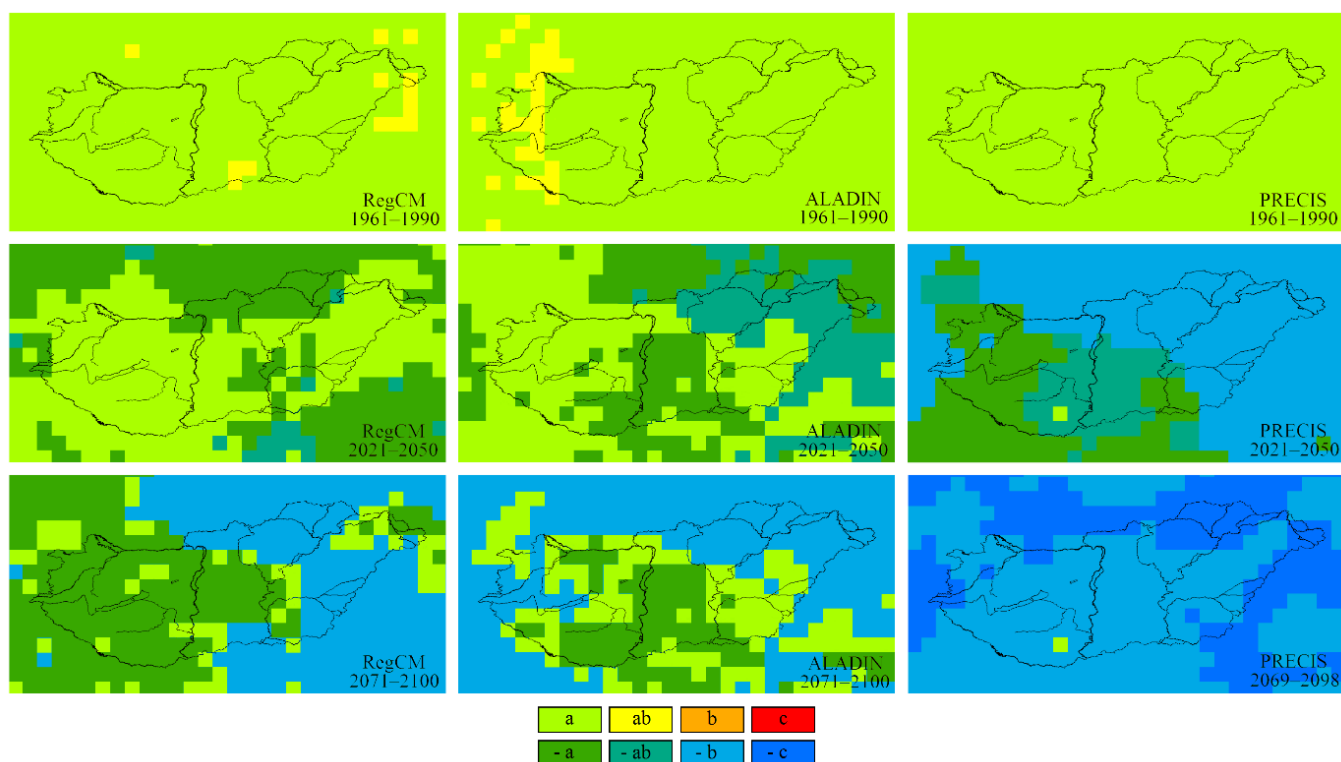
F3. ábra: A vegetációs időszak vége ($G_{E,int}^g$) Magyarországon az 'int' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶¹ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁶¹ 2069–2098 a PRECIS modellnél



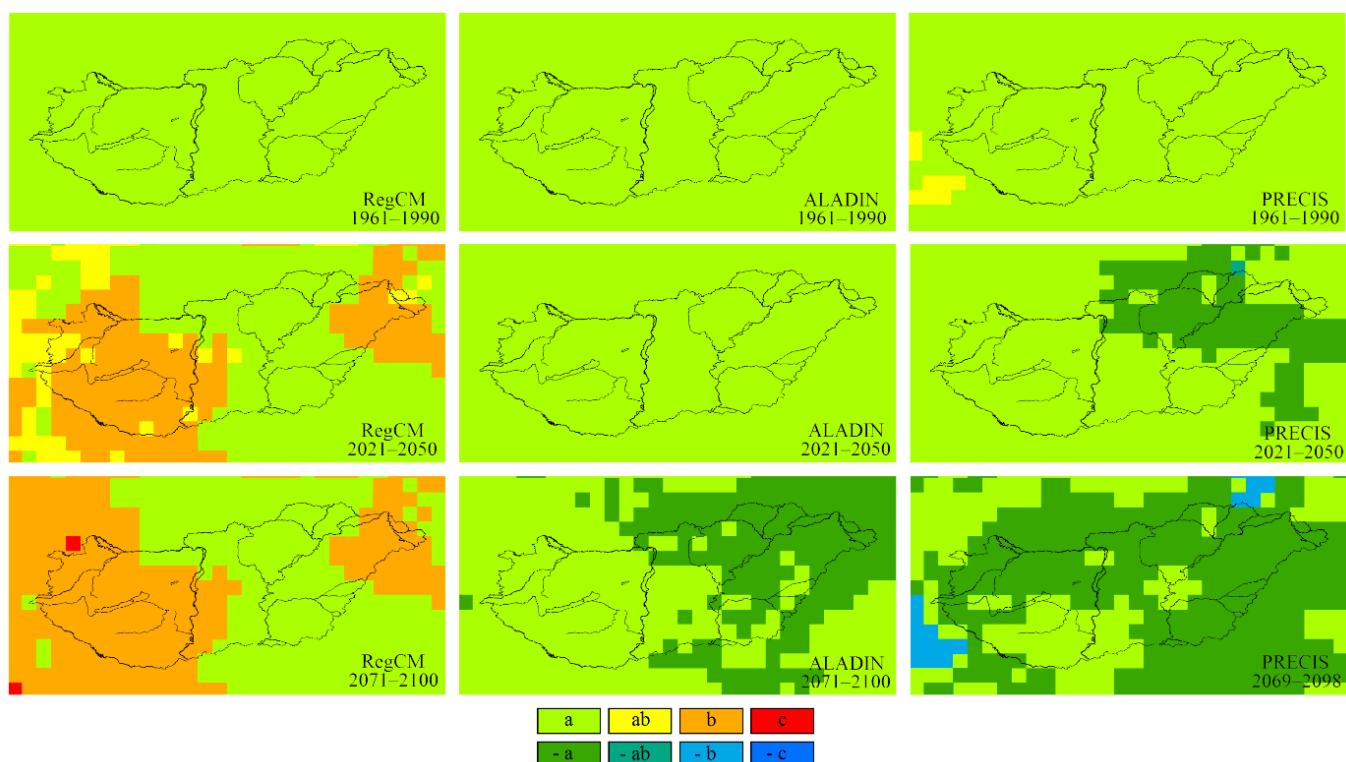
F4. ábra: A módosított Winkler-index (AWI_{GS}^g , °C) értéke Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶² (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁶² 2069–2098 a PRECIS modellnél



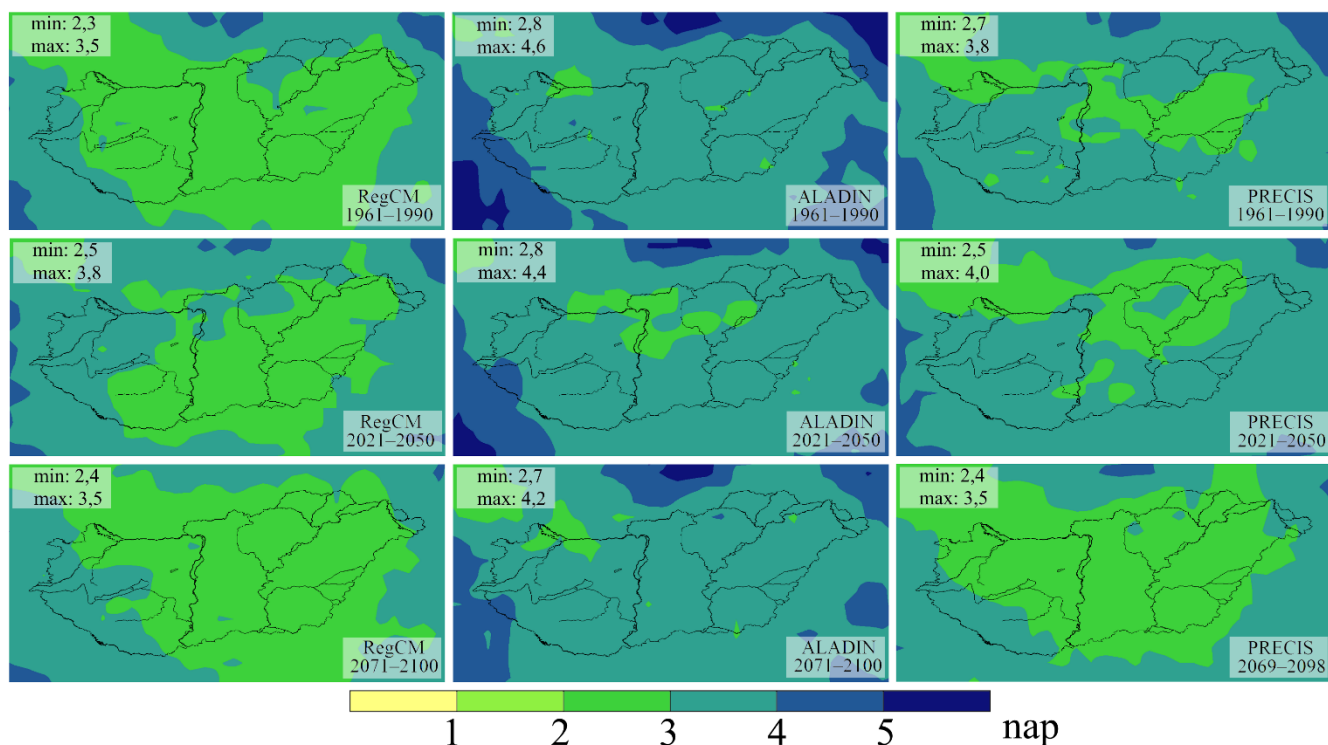
F5. ábra: A módosított hidrotermikus koefficiens ($AHTC_{GS}^g$) értékeinek összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶³ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2;87) > 4,29$; $p < 0,05$ Bonferroni-korrektcióval): *b* és *c* szignifikáns növekedést mutat *a*-hoz képest, ám *ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *b*-től valamint, *-b* és *-c* szignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest, ám *-ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *-b*-től, továbbá *-a* nemszignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest.

⁶³ 2069–2098 a PRECIS modellnél



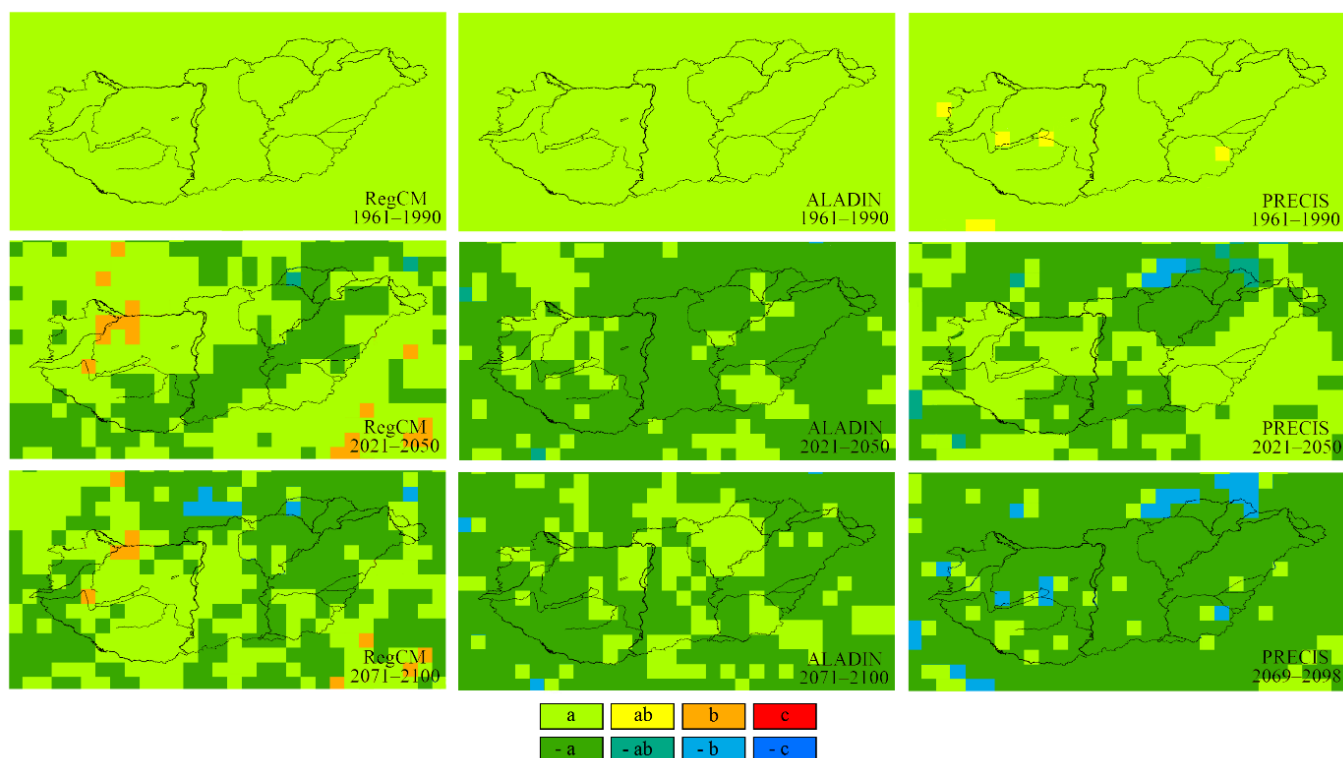
F6. ábra: Az átlagos vegetációs időszaki csapadékösszeg (P_{GS}^g) összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶⁴ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2; 87) > 4,29; p < 0,05$ Bonferroni-korrektúrával): *b* és *c* szignifikáns növekedést mutat *a*-hoz képest, ám *ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *b*-től valamint, *-b* és *-c* szignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest, ám *-ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *-b*-től, továbbá *-a* nem szignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest.

⁶⁴ 2069–2098 a PRECIS modellnél



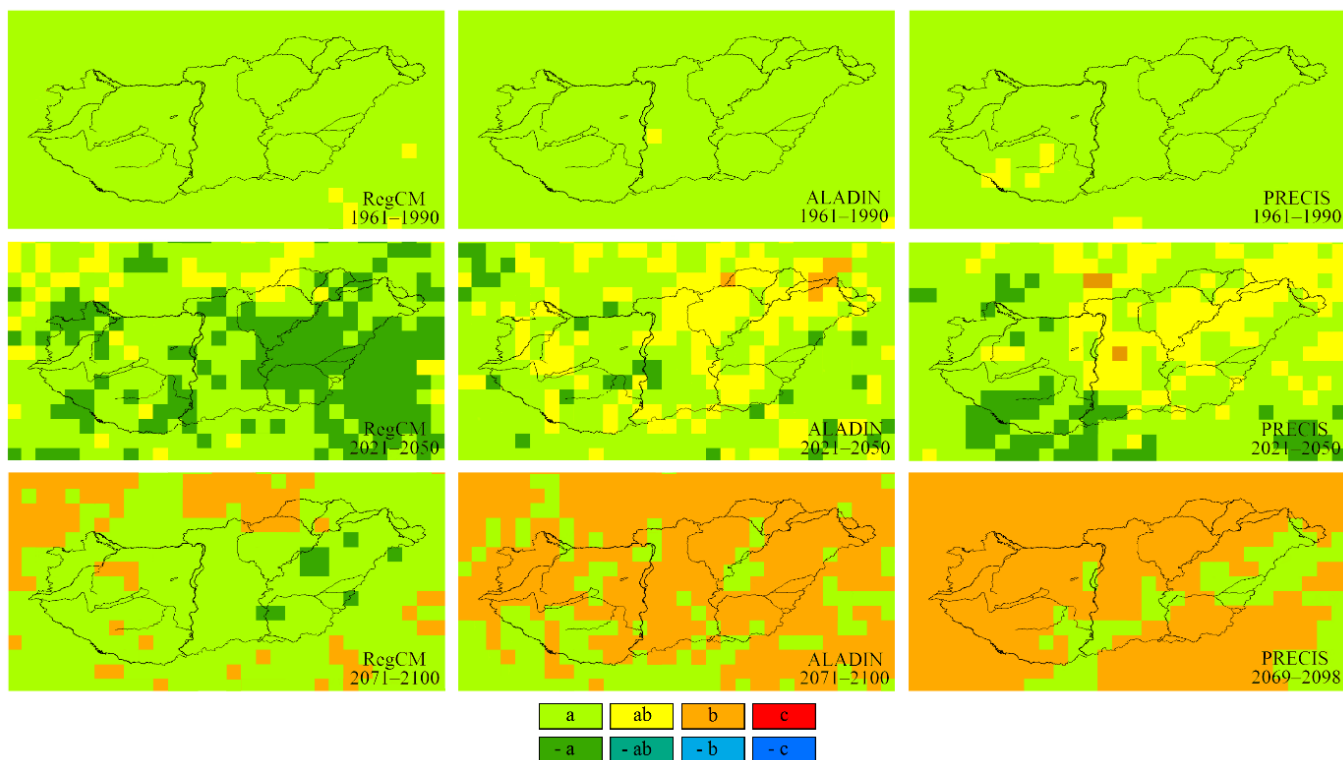
F7. ábra: Az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak átlagos hossza ($LRP_{A5_GS}^g$, nap, a napi csapadékmennyiség 5 mm feletti) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶⁵ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁶⁵ 2069–2098 a PRECIS modellnél



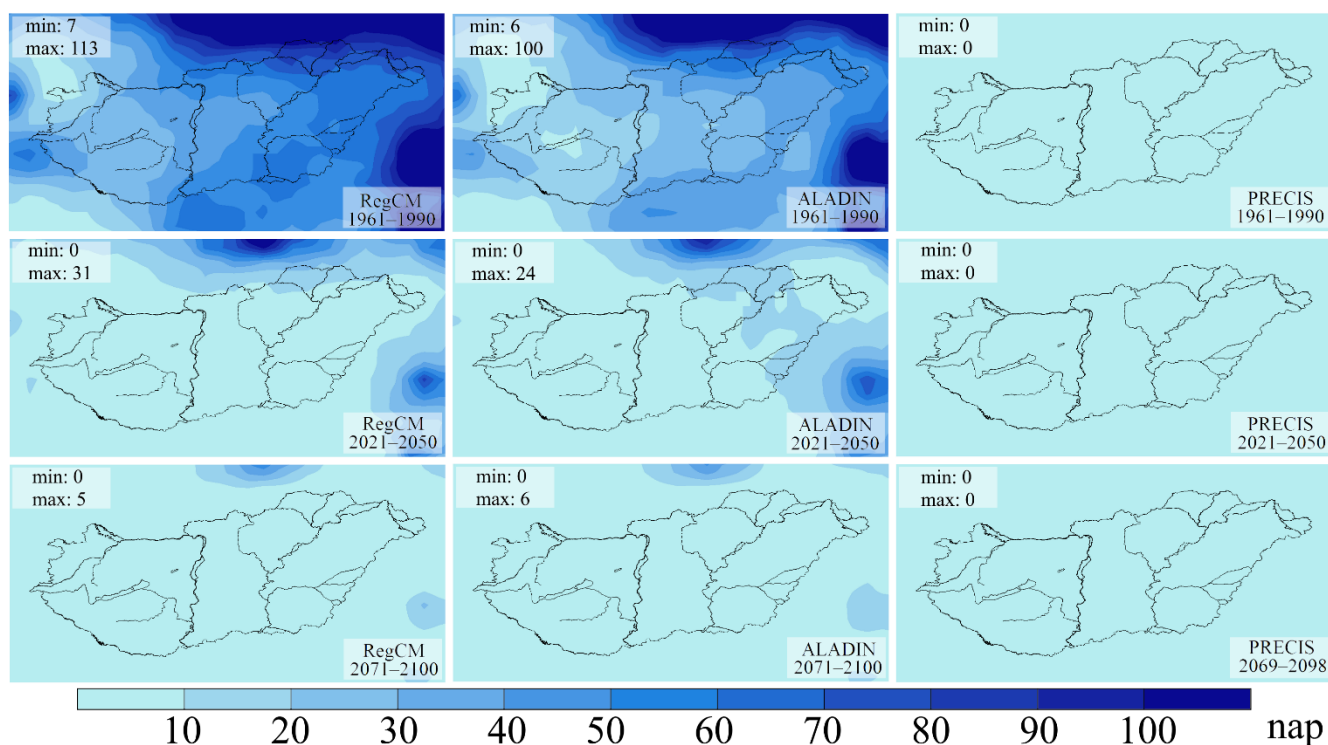
F8. ábra: Az átlagos éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszakok összehasonlítása ($LRP_{A5_GS}^g$, nap, a napi csapadékmennyiség 5 mm feletti) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶⁶ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$ Bonferroni-korrekcióval): *b* és *c* szignifikáns növekedést mutat *a*-hoz képest, ám *ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *b*-től valamint, *-b* és *-c* szignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest, ám *-ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *-b*-től, továbbá *-a* nemszignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest.

⁶⁶ 2069–2098 a PRECIS modellnél



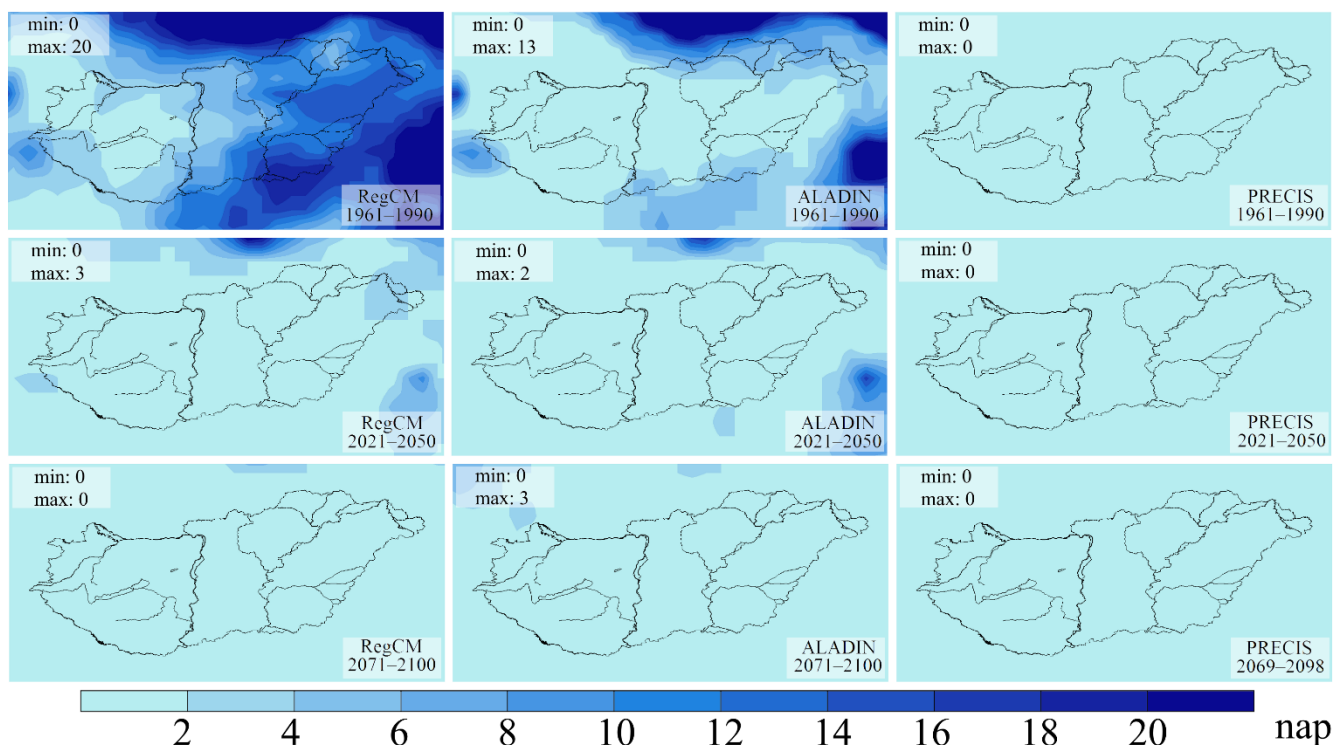
F9. ábra: Az átlagos éves leghosszabb egybefüggő száraz időszakok összehasonlítása ($LDP_{B1_GS}^g$, nap, a napi csapadékmennyiség 1 mm alatti) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶⁷ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2; 87) > 4,29; p < 0,05$ Bonferroni-korrekcióval): *b* és *c* szignifikáns növekedést mutat *a*-hoz képest, ám *ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *b*-től valamint, *-b* és *-c* szignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest, ám *-ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *-b*-től, továbbá *-a* nem szignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest.

⁶⁷ 2069–2098 a PRECIS modellnél



F10. ábra: A -17 °C alatti minimumhőmérsékletű napok száma a nyugalmi időszakban ($DN_{B17m_D}^g$, nap) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶⁸ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁶⁸ 2069–2098 a PRECIS modellnél



F11. ábra: A -21 °C alatti minimumhőmérsékletű napok száma a nyugalmi időszakban ($DN_{B21m_D}^g$, nap) Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁶⁹ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra).

⁶⁹ 2069–2098 a PRECIS modellnél

F1. táblázat: Vegetációs időszak magyarországi átlagos hossza (L ; $G_{L,int}^g$), kezdete (B ; $G_{B,int}^g$) és vége (E ; $G_{E,int}^g$) az 'int' módszerrel számolva.

A vegetációs időszak hossza (L), kezdete (B) és vége (E) Magyarországon az '5mid' módszerrel									
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	L	B	E	L	B	E	L	B	E
1961–1990	182 nap	ápr. 12.	okt. 11.	187 nap	ápr. 11.	okt. 14.	190 nap	ápr. 11.	okt. 17.
2021–2050	202 nap	ápr. 3.	okt. 22.	200 nap	ápr. 4.	okt. 20.	214 nap	márc. 30.	okt. 29.
2071–2100 ⁷⁰	210 nap	márc. 27.	okt. 22.	211 nap	márc. 24.	okt. 20.	226 nap	márc. 24.	nov. 4.

⁷⁰ 2069–2098 a PRECIS modellnél

F2. táblázat: A vegetációs időszak hosszának (A ; $G_{L;5mid}^g$), kezdetének (B ; $G_{B;5mid}^g$) és végének (C ; $G_{E;5mid}^g$) összehasonlítása Magyarországon az '5mid' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁷¹ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$ Bonferroni-korrekcióval): b és c szignifikáns növekedést mutat a -hoz képest, ám ab nem tér el szignifikánsan a -tól és b -től valamint, $-b$ és $-c$ szignifikáns csökkenést mutat a -hoz képest, ám $-ab$ nem tér el szignifikánsan a -tól és $-b$ -től, továbbá $-a$ nemszignifikáns csökkenést mutat a -hoz képest. A színes cellákban lévő százalékok azt mutatják, hogy a magyarországi rácsponatok között milyen arányban oszlanak meg a fent leírt szignifikáns vagy nemszignifikáns változások.

A

<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 1%</td><td>ab 1%</td><td>b 98%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 1%	ab 1%	b 98%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 100%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a	ab	b 100%	c	-a	-ab	-b	-c
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 1%	ab 1%	b 98%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 100%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 14%</td><td>c 86%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a	ab	b 14%	c 86%	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 44%</td><td>c 56%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a	ab	b 44%	c 56%	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c 100%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a	ab	b	c 100%	-a	-ab	-b	-c
a	ab	b 14%	c 86%																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 44%	c 56%																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b	c 100%																							
-a	-ab	-b	-c																							

B

<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 7%</td><td>-ab 5%</td><td>-b 88%</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a	ab	b	c	-a 7%	-ab 5%	-b 88%	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 67%</td><td>-ab 13%</td><td>-b 20%</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a	ab	b	c	-a 67%	-ab 13%	-b 20%	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 2%</td><td>-ab 4%</td><td>-b 94%</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a	ab	b	c	-a 2%	-ab 4%	-b 94%	-c
a	ab	b	c																							
-a 7%	-ab 5%	-b 88%	-c																							
a	ab	b	c																							
-a 67%	-ab 13%	-b 20%	-c																							
a	ab	b	c																							
-a 2%	-ab 4%	-b 94%	-c																							
<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b 66%</td><td>-c 34%</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a	ab	b	c	-a	-ab	-b 66%	-c 34%	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b 85%</td><td>-c 15%</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a	ab	b	c	-a	-ab	-b 85%	-c 15%	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b 96%</td><td>-c 4%</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a	ab	b	c	-a	-ab	-b 96%	-c 4%
a	ab	b	c																							
-a	-ab	-b 66%	-c 34%																							
a	ab	b	c																							
-a	-ab	-b 85%	-c 15%																							
a	ab	b	c																							
-a	-ab	-b 96%	-c 4%																							

C

<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 17%</td><td>ab 8%</td><td>b 75%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 17%	ab 8%	b 75%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 1%</td><td>ab 3%</td><td>b 96%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 1%	ab 3%	b 96%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 100%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a	ab	b 100%	c	-a	-ab	-b	-c
a 17%	ab 8%	b 75%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 1%	ab 3%	b 96%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 100%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 83%</td><td>c 17%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a	ab	b 83%	c 17%	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 1%</td><td>ab</td><td>b 98%</td><td>c 1%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a 1%	ab	b 98%	c 1%	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c 100%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a	ab	b	c 100%	-a	-ab	-b	-c
a	ab	b 83%	c 17%																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 1%	ab	b 98%	c 1%																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b	c 100%																							
-a	-ab	-b	-c																							

⁷¹ 2069–2098 a PRECIS modellnél

F3. táblázat: A vegetációs időszak hosszának (A ; $G_{L,int}^g$), kezdetének (B ; $G_{B,int}^g$) és végének (C ; $G_{E,int}^g$) összehasonlítása Magyarországon az 'int' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁷² (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$ Bonferroni-korrekcióval): b és c szignifikáns növekedést mutat a -hoz képest, ám ab nem tér el szignifikánsan a -tól és b -től valamint, $-b$ és $-c$ szignifikáns csökkenést mutat a -hoz képest, ám $-ab$ nem tér el szignifikánsan a -tól és $-b$ -től, továbbá $-a$ nemszignifikáns csökkenést mutat a -hoz képest. A színes cellákban lévő százalékok azt mutatják, hogy a magyarországi rácsponatok között milyen arányban oszlanak meg a fent leírt szignifikáns vagy nemszignifikáns változások.

A

a 100% ab b c -a -ab -b -c RegCM 1961–1990	a 100% ab b c -a -ab -b -c ALADIN 1961–1990	a 100% ab b c -a -ab -b -c PRECIS 1961–1990
a 45% ab b c -a 55% -ab -b -c RegCM 2021–2050	a 38% ab 38% b 23% c -a 1% -ab -b -c ALADIN 2021–2050	a 88% ab b 12% c -a -ab -b -c PRECIS 2021–2050
a 99% ab b c -a 1% -ab -b -c RegCM 2071–2100	a 39% ab b 61% c -a -ab -b -c ALADIN 2071–2100	a 88% ab b 11% c 1% -a -ab -b -c PRECIS 2069–2098

B

a 100% ab b c -a -ab -b -c RegCM 1961–1990	a 100% ab b c -a -ab -b -c ALADIN 1961–1990	a 100% ab b c -a -ab -b -c PRECIS 1961–1990
a 1% ab b c -a 11% -ab 16% -b 72% -c RegCM 2021–2050	a ab b c -a 18% -ab 1% -b 81% -c ALADIN 2021–2050	a ab b c -a -ab 1% -b 99% -c PRECIS 2021–2050
a ab b c -a 7% -ab -b 72% -c 21% RegCM 2071–2100	a ab b c -a -ab -b 40% -c 60% ALADIN 2071–2100	a ab b c -a -ab -b 18% -c 82% PRECIS 2069–2098

C

a 100% ab b c -a -ab -b -c RegCM 1961–1990	a 100% ab b c -a -ab -b -c ALADIN 1961–1990	a 100% ab b c -a -ab -b -c PRECIS 1961–1990
a 23% ab b c -a 77% -ab -b -c RegCM 2021–2050	a 71% ab b c -a 29% -ab -b -c ALADIN 2021–2050	a 99% ab b 1% c -a -ab -b -c PRECIS 2021–2050
a 69% ab b c -a 31% -ab -b -c RegCM 2071–2100	a 96% ab b c -a 4% -ab -b -c ALADIN 2071–2100	a 17% ab b c 1% -a 82% -ab -b -c PRECIS 2069–2098

⁷² 2069–2098 a PRECIS modellnél

F4. táblázat: A módosított Winkler-index (A ; AWI_{GS}^g), a módosított Huglin-féle heliotermikus index (B ; AHI_{GS}^g) és a módosított hidrotermikus együttható (C ; $AHTC_{GS}^g$) az 1961–1990, 2021–2050 és 2071–2100⁷³ időszakokra vonatkozó rácsponti középértékeinek magyarországi minimuma, átlaga és maximuma az 'int' módszer alapján. Az oszlopokban a RegCM, az ALADIN és a PRECIS klíma modellek eredményei láthatóak.

A	módosított Winkler-index (AWI_{GS}^g , °C) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	809	1351	1499	815	1353	1501	846	1352	1496
2021–2050	975	1552	1716	1123	1681	1852	1349	1926	2083
2071–2100 ⁷⁴	1333	1961	2161	1527	2126	2337	1782	2417	2607

B	módosított Huglin-féle heliotermikus index (AHI_{GS} , °C) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	1323	1936	2119	1326	1948	2132	1352	1963	2161
2021–2050	1530	2173	2392	1682	2295	2534	1984	2637	2847
2071–2100 ⁷⁵	1976	2643	2903	2157	2819	3055	2499	3210	3454

C	módosított hidrotermikus együttható ($AHTC_{GS}$, mm°C ⁻¹) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	0,82	1,01	1,61	0,86	1,05	1,69	0,83	1,03	1,57
2021–2050	0,87	1,07	1,63	0,78	0,98	1,68	0,68	0,84	1,28
2071–2100 ⁷⁶	0,69	0,86	1,37	0,65	0,76	1,15	0,54	0,67	0,97

⁷³ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁷⁴ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁷⁵ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁷⁶ 2069–2098 a PRECIS modellnél

F5. táblázat: A módosított Winkler-index (A; AWI_{GS}^g), a módosított Huglin-féle heliotermikus index (B; AHI_{GS}^g) és a módosított hidrotermikus koefficiens (C; $AHTC_{GS}^g$) értékeinek összehasonlítása Magyarországon az 'int' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁷⁷ (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$ Bonferroni-korrekcióval): *b* és *c* szignifikáns növekedést mutat *a*-hoz képest, ám *ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *b*-től valamint, *-b* és *-c* szignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest, ám *-ab* nem tér el szignifikánsan *a*-tól és *-b*-től, továbbá *-a* nemszignifikáns csökkenést mutat *a*-hoz képest. A színes cellákban lévő százalékok azt mutatják, hogy a magyarországi rácsponatok között milyen arányban oszlanak meg a fent leírt szignifikáns vagy nemszignifikáns változások.

A

<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 99%</td><td>ab 1%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 99%	ab 1%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 8%</td><td>ab</td><td>b 92%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 8%	ab	b 92%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 100%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a	ab	b 100%	c	-a	-ab	-b	-c
a 99%	ab 1%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 8%	ab	b 92%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 100%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 100%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a	ab	b 100%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 8%</td><td>c 92%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a	ab	b 8%	c 92%	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 84%</td><td>c 16%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a	ab	b 84%	c 16%	-a	-ab	-b	-c
a	ab	b 100%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 8%	c 92%																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 84%	c 16%																							
-a	-ab	-b	-c																							

B

<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 83%</td><td>ab 17%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 83%	ab 17%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 21%</td><td>ab</td><td>b 79%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 21%	ab	b 79%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 100%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a	ab	b 100%	c	-a	-ab	-b	-c
a 83%	ab 17%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 21%	ab	b 79%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 100%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 100%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a	ab	b 100%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 21%</td><td>c 79%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a	ab	b 21%	c 79%	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b 88%</td><td>c 12%</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a	ab	b 88%	c 12%	-a	-ab	-b	-c
a	ab	b 100%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 21%	c 79%																							
-a	-ab	-b	-c																							
a	ab	b 88%	c 12%																							
-a	-ab	-b	-c																							

C

<table><tr><td>a 93%</td><td>ab 7%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 93%	ab 7%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 98%</td><td>ab 2%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 98%	ab 2%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 93%	ab 7%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 98%	ab 2%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 50%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 41%</td><td>-ab 9%</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 50%	ab	b	c	-a 41%	-ab 9%	-b	-c	<table><tr><td>a 10%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 32%</td><td>-ab 58%</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 10%	ab	b	c	-a 32%	-ab 58%	-b	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 42%</td><td>-ab 8%</td><td>-b 50%</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a	ab	b	c	-a 42%	-ab 8%	-b 50%	-c
a 50%	ab	b	c																							
-a 41%	-ab 9%	-b	-c																							
a 10%	ab	b	c																							
-a 32%	-ab 58%	-b	-c																							
a	ab	b	c																							
-a 42%	-ab 8%	-b 50%	-c																							
<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 65%</td><td>-ab</td><td>-b 35%</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a	ab	b	c	-a 65%	-ab	-b 35%	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 33%</td><td>-ab</td><td>-b 67%</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a	ab	b	c	-a 33%	-ab	-b 67%	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b 54%</td><td>-c 46%</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a	ab	b	c	-a	-ab	-b 54%	-c 46%
a	ab	b	c																							
-a 65%	-ab	-b 35%	-c																							
a	ab	b	c																							
-a 33%	-ab	-b 67%	-c																							
a	ab	b	c																							
-a	-ab	-b 54%	-c 46%																							

⁷⁷ 2069–2098 a PRECIS modellnél

F6. táblázat: A vegetációs időszaki csapadékösszeg (A ; P_{GS}^g), az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak (B ; LRP_{A5_GS} , a napi csapadékmennyiség 1 mm alatti) és az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak (C ; LDP_{B1_GS} , a napi csapadékmennyiség 1 mm alatti) az 1961–1990, 2021–2050 és 2071–2100⁷⁸ időszakokra vonatkozó rácsponti középértékeinek magyarországi minimuma, átlaga és maximuma az 'int' módszer alapján. Az oszlopokban a RegCM, az ALADIN és a PRECIS klímamodellek eredményei láthatóak.

A	vegetációs időszaki csapadékösszeg (P_{GS} , mm) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	266	308	430	276	315	429	270	311	432
2021–2050	312	362	481	285	341	490	275	324	455
2071–2100 ⁷⁹	279	334	471	267	303	421	249	300	400

B	az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak átlagos hossza (LRP_{A5_GS} , nap) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	2,3	2,8	3,4	2,8	3,5	4,6	2,7	3,1	3,8
2021–2050	2,4	2,9	3,8	2,7	3,2	4,2	2,5	3,2	4,0
2071–2100 ⁸⁰	2,4	2,8	3,3	2,7	3,3	4,1	2,4	2,8	3,5

C	az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak átlagos hossza (LDP_{B1_GS} , nap) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	13	18	23	15	22	27	15	19	24
2021–2050	13	18	22	16	24	30	17	22	26
2071–2100 ⁸¹	15	21	24	22	31	38	21	26	32

⁷⁸ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁷⁹ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁸⁰ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁸¹ 2069–2098 a PRECIS modellnél

F7. táblázat: A vegetációs időszaki csapadékösszeg (A ; P_{GS}^g), az éves leghosszabb egybefüggő csapadékos időszak (B ; LRP_{A5_GS} , a napi csapadékmennyiség 1 mm alatti) és az éves leghosszabb egybefüggő száraz időszak (C ; LDP_{B1_GS} , a napi csapadékmennyiség 1 mm alatti) összehasonlítása Magyarországon az 'int' módszer alapján. A sorok a három vizsgált időszakot mutatják: 1961–1990 (fent), 2021–2050 (középen), és 2071–2100⁸² (lent). Az oszlopokban a három különböző modell eredménye látható: RegCM (balra), ALADIN (középen), és PRECIS (jobbra). A különböző betűk (illetve színek) az ANOVA-t követő páronkénti összehasonlítással megállapított szignifikánsan különböző értékeket jeleznek ($F_{szám}(2; 87) > 4,29$; $p < 0,05$ Bonferroni-korrekcióval): b és c szignifikáns növekedést mutat a -hoz képest, ám ab nem tér el szignifikánsan a -tól és b -től valamint, $-b$ és $-c$ szignifikáns csökkenést mutat a -hoz képest, ám $-ab$ nem tér el szignifikánsan a -tól és $-b$ -től, továbbá $-a$ nem szignifikáns csökkenést mutat a -hoz képest. A színes cellákban lévő százalékok azt mutatják, hogy a magyarországi rácsponthoz képest milyen arányban oszlanak meg a fent leírt szignifikáns vagy nem szignifikáns változások.

A

<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 99%</td><td>ab 1%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 99%	ab 1%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 82%</td><td>ab 18%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 82%	ab 18%	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 99%	ab 1%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 82%	ab 18%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 99%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 1%</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 99%	ab	b	c	-a 1%	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 93%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 7%</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 93%	ab	b	c	-a 7%	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 80%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 16%</td><td>-ab 4%</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a 80%	ab	b	c	-a 16%	-ab 4%	-b	-c
a 99%	ab	b	c																							
-a 1%	-ab	-b	-c																							
a 93%	ab	b	c																							
-a 7%	-ab	-b	-c																							
a 80%	ab	b	c																							
-a 16%	-ab 4%	-b	-c																							
<table><tr><td>a 71%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 29%</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a 71%	ab	b	c	-a 29%	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 18%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 81%</td><td>-ab</td><td>-b 1%</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a 18%	ab	b	c	-a 81%	-ab	-b 1%	-c	<table><tr><td>a 1%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 61%</td><td>-ab</td><td>-b 38%</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a 1%	ab	b	c	-a 61%	-ab	-b 38%	-c
a 71%	ab	b	c																							
-a 29%	-ab	-b	-c																							
a 18%	ab	b	c																							
-a 81%	-ab	-b 1%	-c																							
a 1%	ab	b	c																							
-a 61%	-ab	-b 38%	-c																							

B

<table><tr><td>a 99%</td><td>ab 1%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 99%	ab 1%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 86%</td><td>ab 14%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 86%	ab 14%	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 99%	ab 1%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 86%	ab 14%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 41%</td><td>ab</td><td>b 1%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 57%</td><td>-ab 1%</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 41%	ab	b 1%	c	-a 57%	-ab 1%	-b	-c	<table><tr><td>a 8%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 90%</td><td>-ab 1%</td><td>-b 1%</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 8%	ab	b	c	-a 90%	-ab 1%	-b 1%	-c	<table><tr><td>a 53%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 36%</td><td>-ab 11%</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a 53%	ab	b	c	-a 36%	-ab 11%	-b	-c
a 41%	ab	b 1%	c																							
-a 57%	-ab 1%	-b	-c																							
a 8%	ab	b	c																							
-a 90%	-ab 1%	-b 1%	-c																							
a 53%	ab	b	c																							
-a 36%	-ab 11%	-b	-c																							
<table><tr><td>a 28%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 69%</td><td>-ab</td><td>-b 3%</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a 28%	ab	b	c	-a 69%	-ab	-b 3%	-c	<table><tr><td>a 24%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 74%</td><td>-ab</td><td>-b 2%</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a 24%	ab	b	c	-a 74%	-ab	-b 2%	-c	<table><tr><td>a</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 64%</td><td>-ab</td><td>-b 36%</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a	ab	b	c	-a 64%	-ab	-b 36%	-c
a 28%	ab	b	c																							
-a 69%	-ab	-b 3%	-c																							
a 24%	ab	b	c																							
-a 74%	-ab	-b 2%	-c																							
a	ab	b	c																							
-a 64%	-ab	-b 36%	-c																							

C

<table><tr><td>a 97%</td><td>ab 3%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 1961–1990	a 97%	ab 3%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 97%</td><td>ab 3%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 1961–1990	a 97%	ab 3%	b	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 100%</td><td>ab</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 1961–1990	a 100%	ab	b	c	-a	-ab	-b	-c
a 97%	ab 3%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 97%	ab 3%	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 100%	ab	b	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 16%</td><td>ab 1%</td><td>b</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 83%</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2021–2050	a 16%	ab 1%	b	c	-a 83%	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 39%</td><td>ab 36%</td><td>b 2%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 23%</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2021–2050	a 39%	ab 36%	b 2%	c	-a 23%	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 68%</td><td>ab 24%</td><td>b 1%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 7%</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2021–2050	a 68%	ab 24%	b 1%	c	-a 7%	-ab	-b	-c
a 16%	ab 1%	b	c																							
-a 83%	-ab	-b	-c																							
a 39%	ab 36%	b 2%	c																							
-a 23%	-ab	-b	-c																							
a 68%	ab 24%	b 1%	c																							
-a 7%	-ab	-b	-c																							
<table><tr><td>a 87%</td><td>ab</td><td>b 4%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a 9%</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> RegCM 2071–2100	a 87%	ab	b 4%	c	-a 9%	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 18%</td><td>ab</td><td>b 82%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> ALADIN 2071–2100	a 18%	ab	b 82%	c	-a	-ab	-b	-c	<table><tr><td>a 75%</td><td>ab</td><td>b 25%</td><td>c</td></tr><tr><td>-a</td><td>-ab</td><td>-b</td><td>-c</td></tr></table> PRECIS 2069–2098	a 75%	ab	b 25%	c	-a	-ab	-b	-c
a 87%	ab	b 4%	c																							
-a 9%	-ab	-b	-c																							
a 18%	ab	b 82%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							
a 75%	ab	b 25%	c																							
-a	-ab	-b	-c																							

⁸² 2069–2098 a PRECIS modellnél

F8. táblázat: A rácspontonkénti 35 °C feletti napi maximumhőmérsékletű évek számának (A; $YN_{A35_GS}^g$), a vegetációs időszak első felében jelentkező -1 °C alatti minimumhőmérsékletű napok számának (B; $DN_{B1m_GSf}^g$, nap), a nyugalmi időszakban jelentkező -17 °C alatti minimumhőmérsékletű napok számának (C; $DN_{B17m_D}^g$, nap) és a nyugalmi időszakban jelentkező -21 °C alatti minimumhőmérsékletű napok számának (D; $DN_{B21m_D}^g$, nap) az 1961–1990, 2021–2050 és 2071–2100⁸³ időszakokra vonatkozó magyarországi minimuma, átlaga és maximuma az 'int' módszer alapján. Az oszlopokban a RegCM, az ALADIN és a PRECIS klímamodellek eredményei láthatóak.

A	35 °C feletti napi maximumhőmérsékletű évek száma (YN_{A35_GS}) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	0	10	19	1	5	12	0	7	16
2021–2050	1	15	22	5	18	27	22	28	30
2071–2100 ⁸⁴	10	26	29	20	28	29	26	28	30

B	-1 °C alatti minimumhőmérséklet a vegetációs időszak első felében ($DN_{B1m_GSf}^g$, nap) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	0	3	12	0	5	13	2	7	14
2021–2050	1	9	18	0	4	11	0	1	7
2071–2100 ⁸⁵	0	6	15	1	6	12	0	2	7

C	-17 °C alatti minimumhőmérséklet a nyugalmi időszakban ($DN_{B17m_D}^g$, nap) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	6	42	113	3	27	100	0	0	0
2021–2050	0	5	32	0	6	24	0	0	0
2071–2100 ⁸⁶	0	1	3	0	2	8	0	0	0

D	-21 °C alatti minimumhőmérséklet a nyugalmi időszakban ($DN_{B21m_D}^g$, nap) Magyarországon								
	RegCM			ALADIN			PRECIS		
	min	átlag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
1961–1990	0	7	20	0	2	13	0	0	0
2021–2050	0	1	3	0	0	2	0	0	0
2071–2100 ⁸⁷	0	0	0	0	0	3	0	0	0

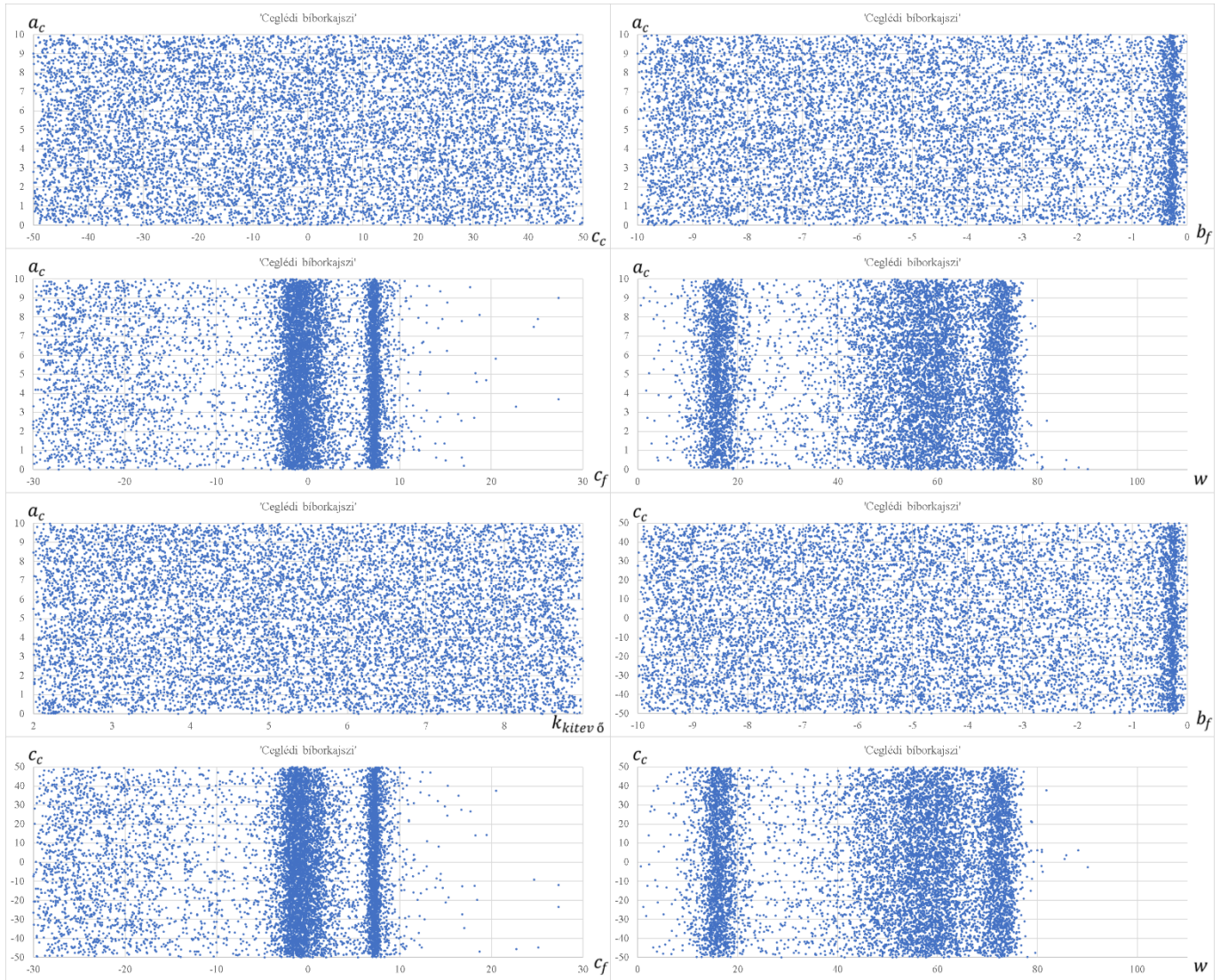
⁸³ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁸⁴ 2069–2098 a PRECIS modellnél

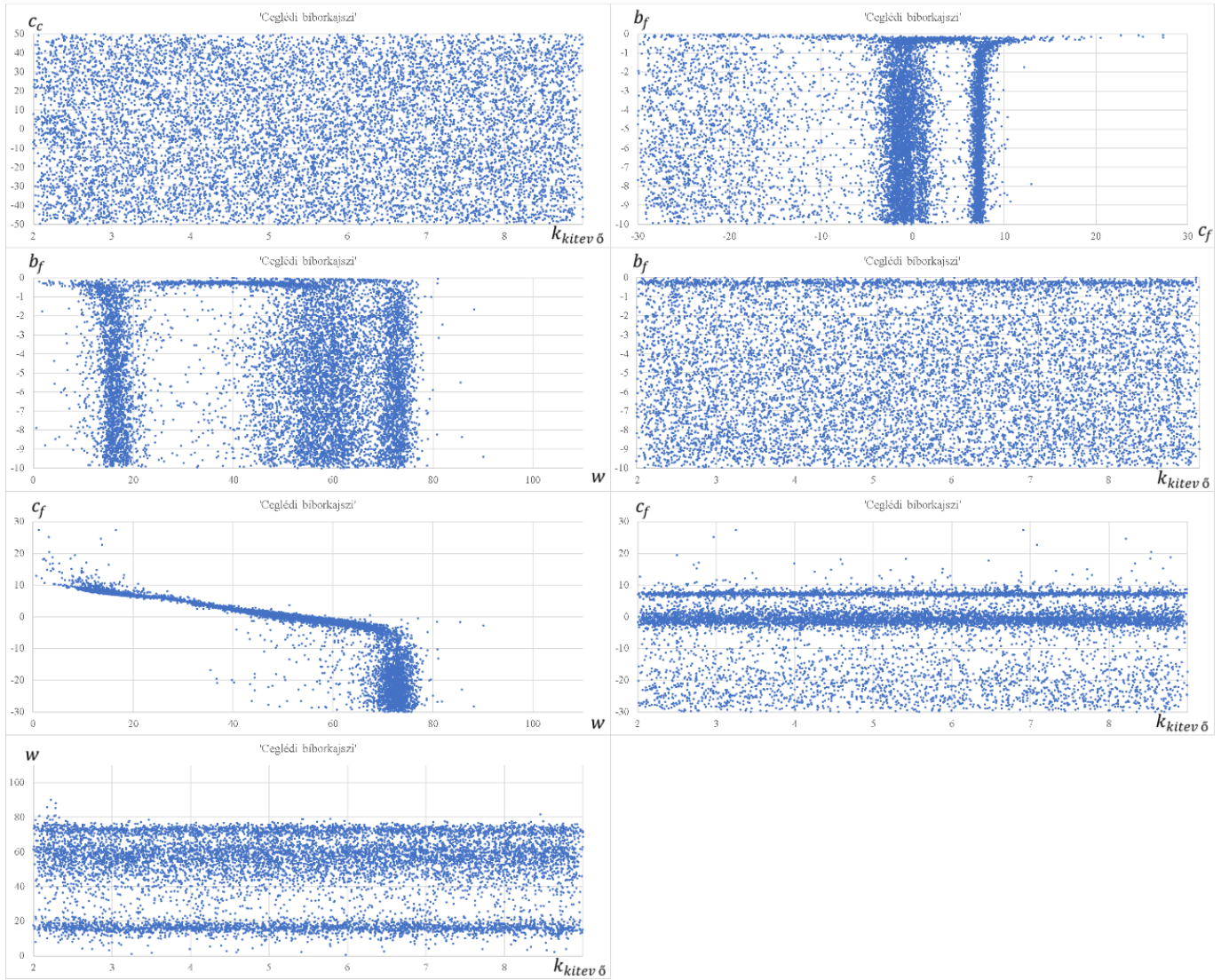
⁸⁵ 2069–2098 a PRECIS modellnél

⁸⁶ 2069–2098 a PRECIS modellnél

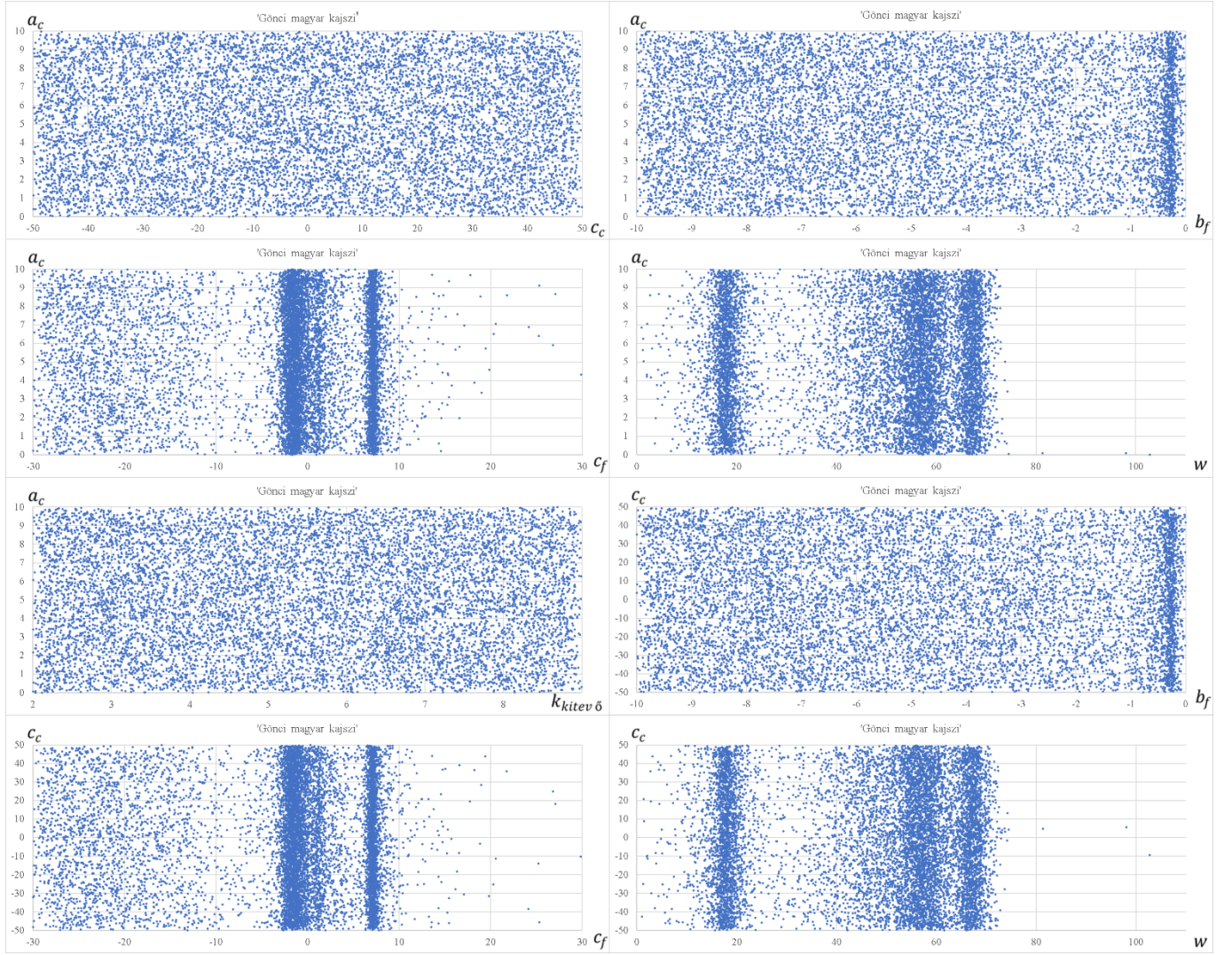
⁸⁷ 2069–2098 a PRECIS modellnél



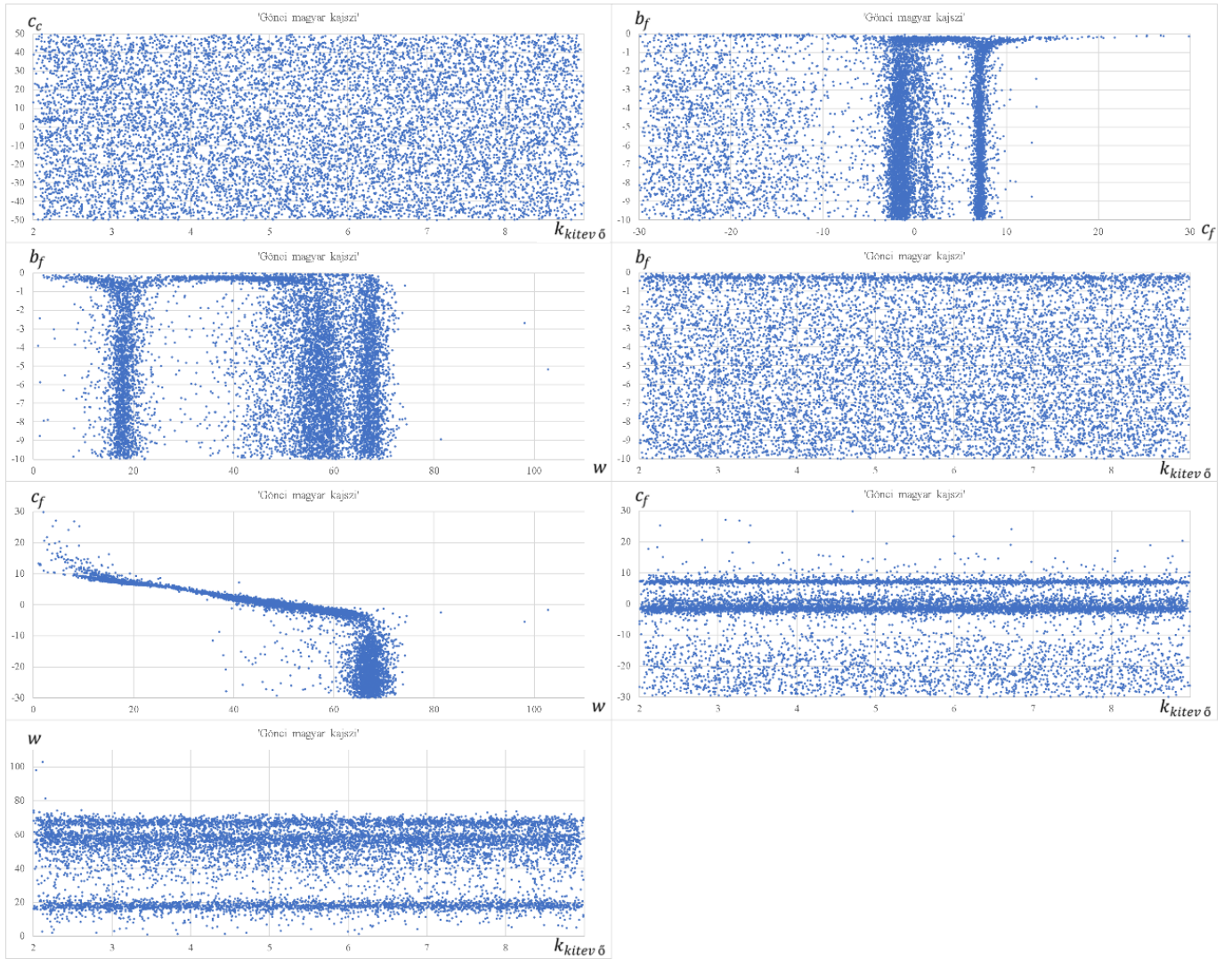
F12. a. ábra: Az Egységes Modell 'Ceglédi biborkajszi' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs a_c és c_c , valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtési b_f , c_f , w és $k_{kitevő}$ paraméterértékei páronként ábrázolva.



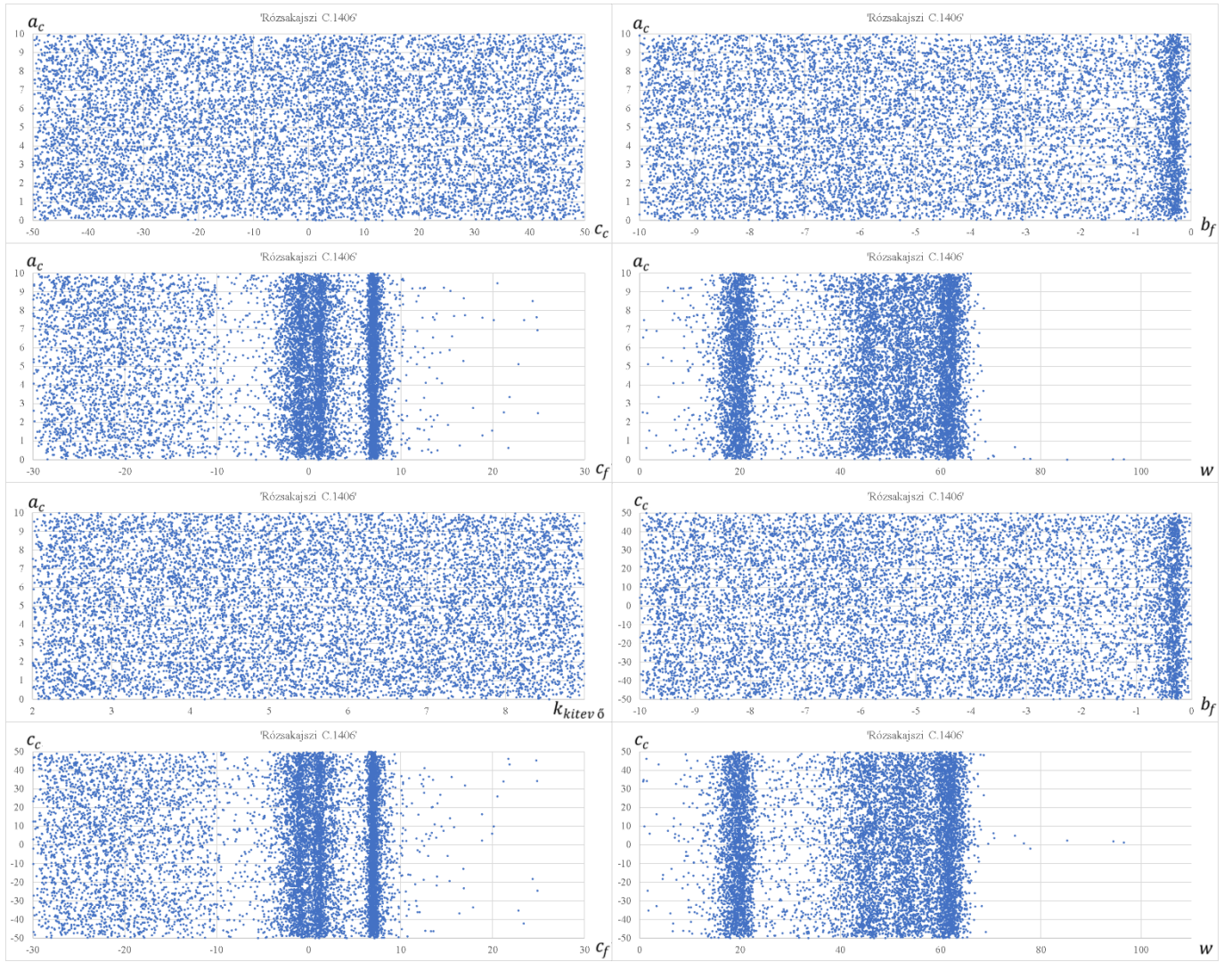
F12. b. ábra: Az Egységes Modell 'Ceglédi biborkajszi' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs a_c és c_c , valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtési b_f , c_f , w és k_{kitevo} paraméterértékei páronként ábrázolva.



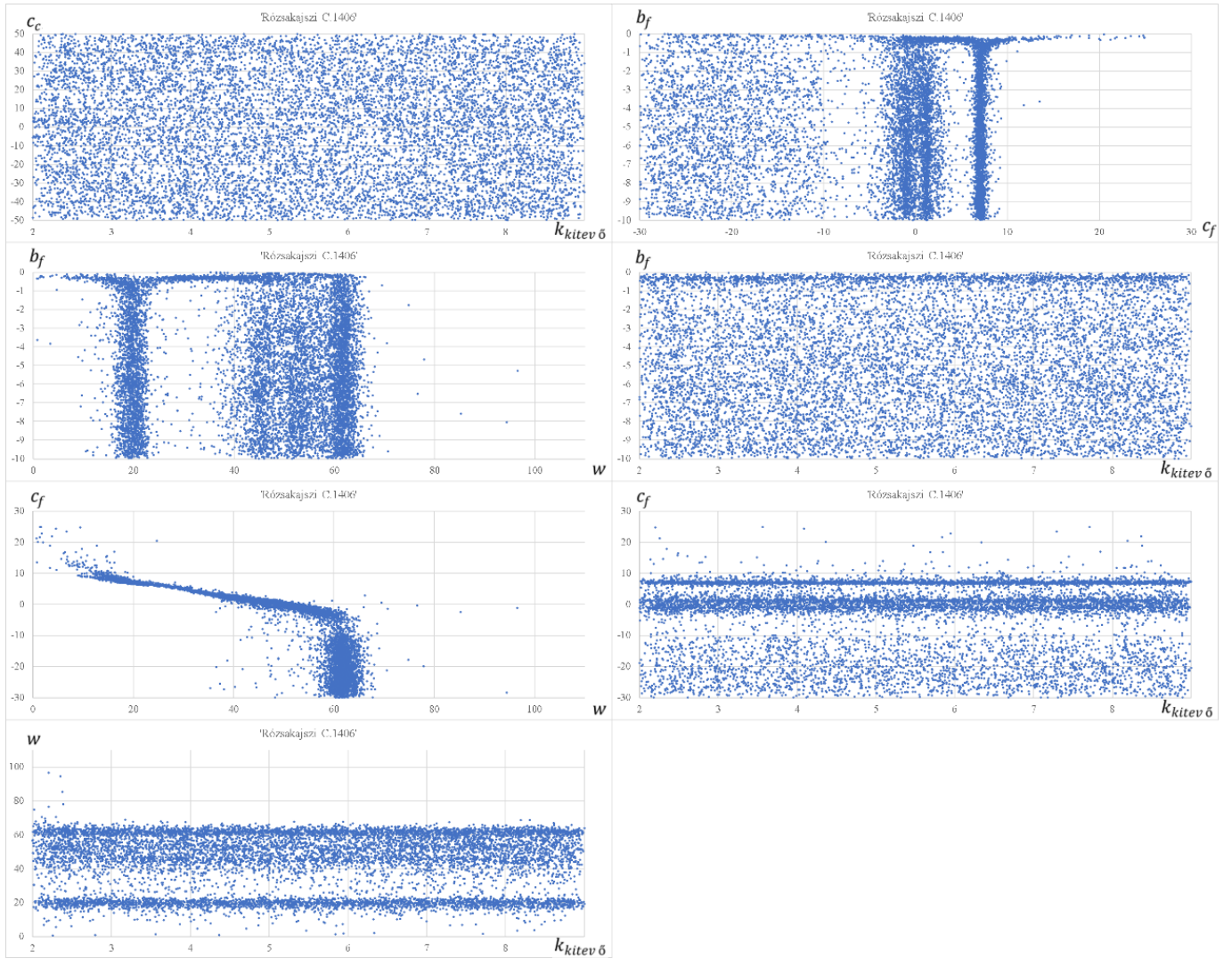
F13. a. ábra: Az Egységes Modell 'Gönci magyar kajszi' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs a_c és c_c , valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtési b_f , c_f , w és $k_{kitevő}$ paraméterértékei páronként ábrázolva.



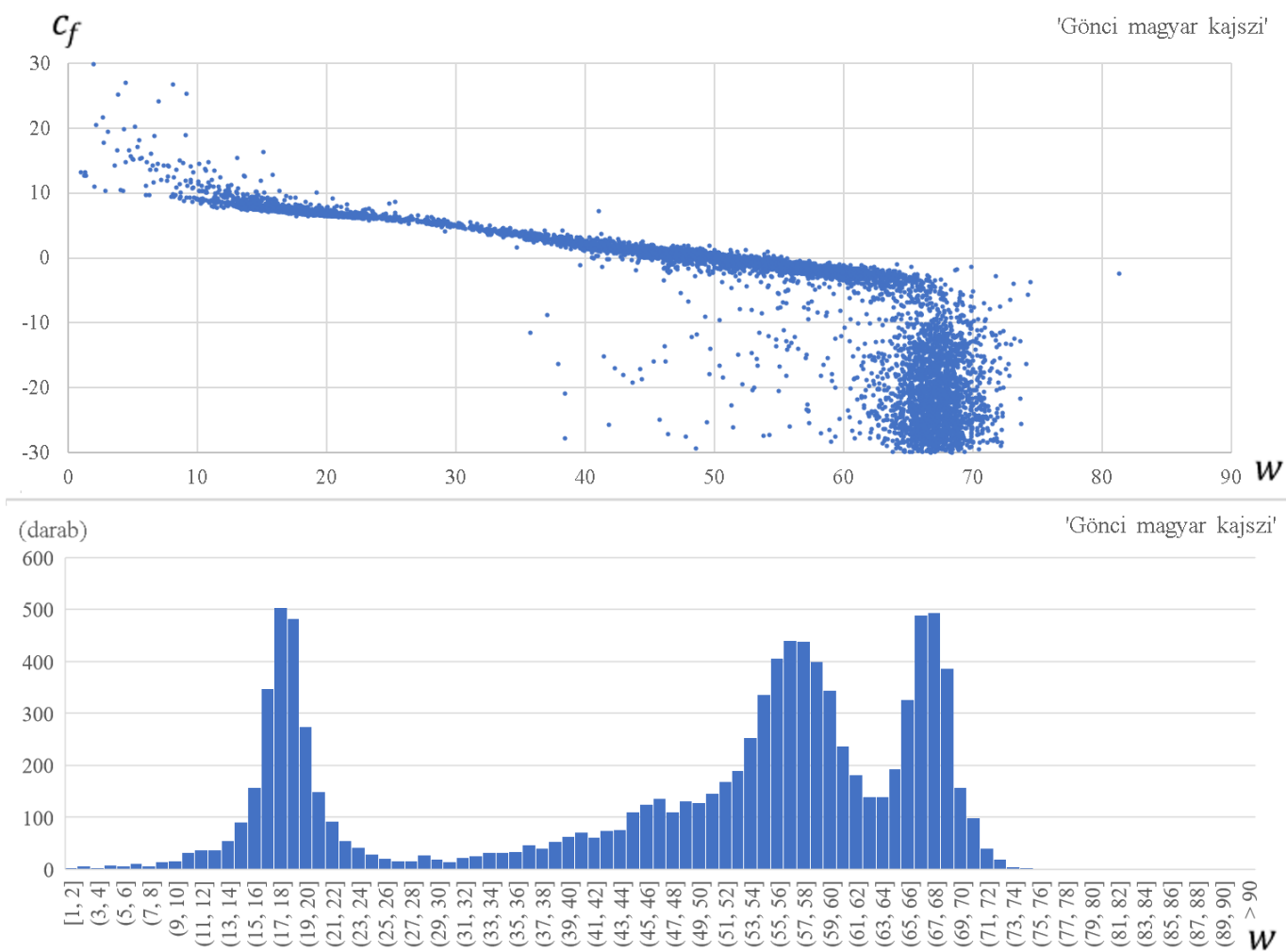
F13. b. ábra: Az Egységes Modell 'Gönci magyar kajszi' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs a_c és c_c , valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtési b_f , c_f , w és $k_{kitevő}$ paraméterértékei páronként ábrázolva.



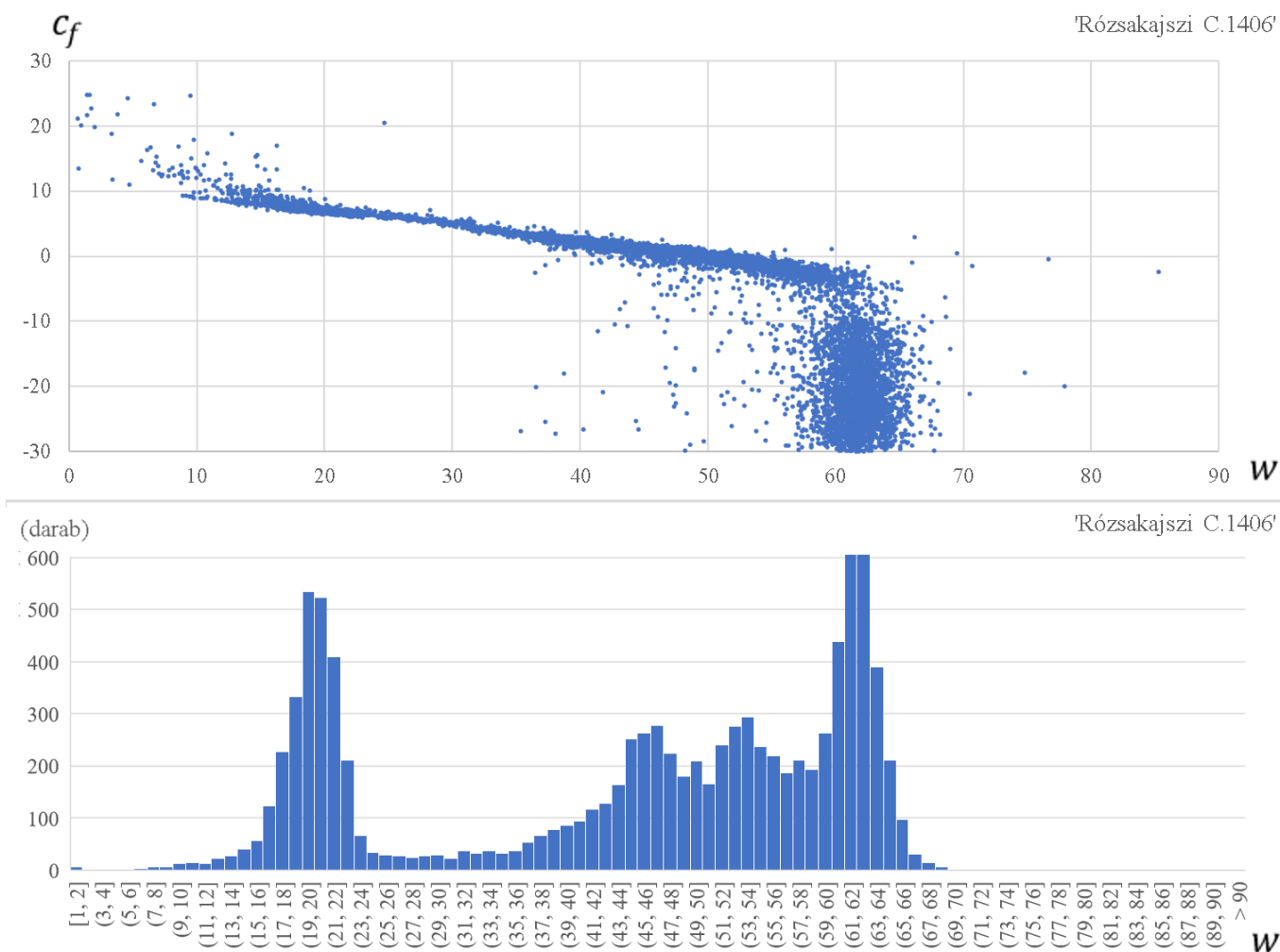
F14. a. ábra: Az Egységes Modell 'Rózsakajsi C.1406' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs a_c és c_c , valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtési b_f , c_f , w és $k_{kitevő}$ paraméterértékei páronként ábrázolva.



F14. b. ábra: Az Egységes Modell 'Rózsakajsi C.1406' fajtára optimalizált mélynyugalmi hidegakkumulációs a_c és c_c , valamint a kényszernyugalmi hőgyűjtési b_f , c_f , w és $k_{kitevő}$ paraméterértékei páronként ábrázolva.



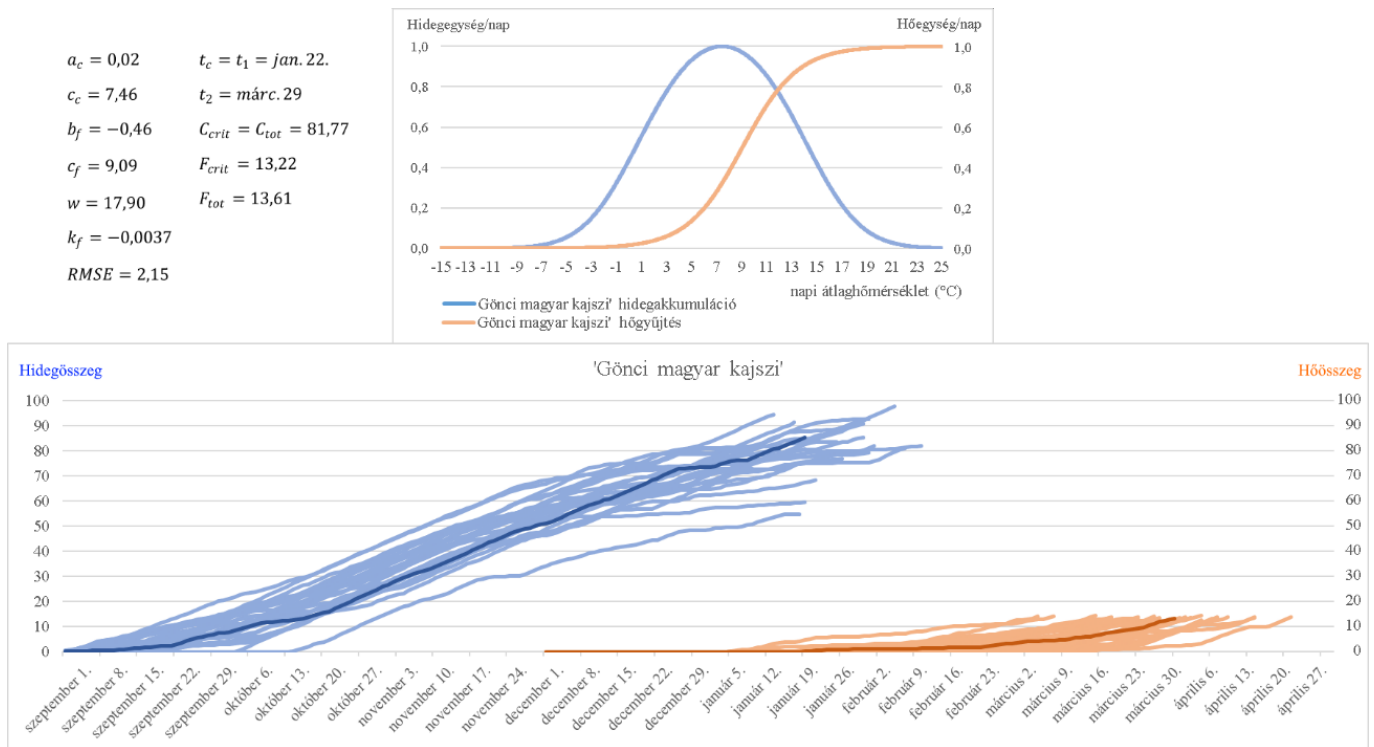
F15. ábra: A kényszernyugalmi hőgyűjtés c_f és w paraméterpárjainak becsült értékei (fent) és a w paraméter értékeinek gyakorisága (lent) a 'Gönci magyar kajszi' esetén.



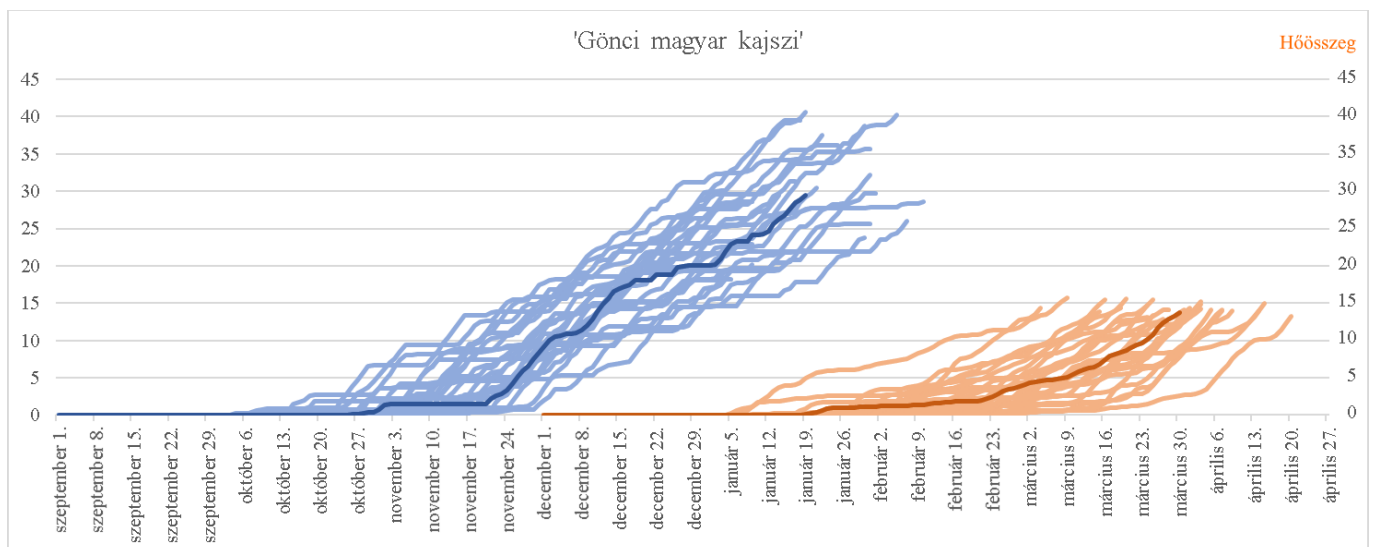
F16. ábra: A kényszernyugalmi hőgyűjtés c_f és w paraméterpárjainak becsült értékei (fent) és a w paraméter értékeinek gyakorisága (lent) a 'Rózsakajszí C.1406' esetén.



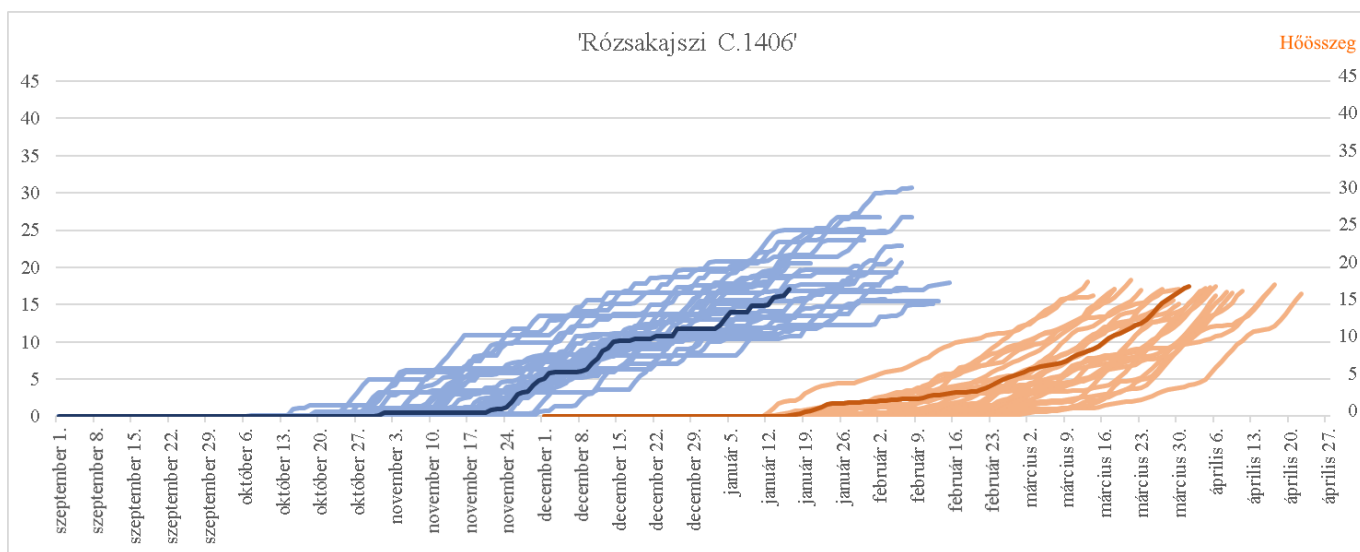
F17. ábra: Az első futtatás során optimalizást kényszernyugalmi hőösszeg paraméter (w) és az ahhoz tartozó paramétervektor RMSE-je a 'Ceglédi bíborkajszí', a 'Gönci magyar kajszí' és a 'Rózsakajszí C.1406' esetében.



F18. ábra: Példa egy biológiailag valószínűtlen globális optimum paramétervektorból származó hidegakkumulációs és hőgyűjtési görbére a 'Gönci magyar kajszi' esetében (fent) és az ebből származó évenkénti mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés a 'Gönci magyar kajszi' esetében (lent) az 1994. szeptember – 2020. április időszakban (kiemelt: 2014. szeptember – 2015. április).



F19. ábra: Az évenkénti mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés a 'Gönci magyar kajszi' esetében az 1994. szeptember – 2020. április időszakban (kiemelt: 2014. szeptember – 2015. április).



F20. ábra: Az évenkénti mélynyugalmi hidegakkumuláció és a kényszernyugalmi hőgyűjtés a Rózsakajszai C.1406' esetében az 1994. szeptember – 2020. április időszakban (kiemelt: 2014. szeptember – 2015. április).