

Budapesti Corvinus Egyetem



**A SZŐLŐ (VITIS VINIFERA L.) KORAI FENOLÓGIAI VÁLASZADÁSÁNAK
MODELLEZÉSE A KUNSÁGI BORVIDÉKEN
NÖVÉNYFELVÉTELEZÉSEK, IDŐJÁRÁSI MEGFIGYELÉSEK ÉS REGIONÁLIS
KLÍMAMODELL ALAPJÁN**

Doktori értekezés

Hlaszny Edit

Témavezetők:

Dr. Bisztray György Dénes DSc
egyetemi tanár

Dr. Ladányi Márta PhD
egyetemi docens

Budapest

2012

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

vezetője: Dr. Tóth Magdolna
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Gyümölcstermő Növények Tanszék

Témavezetők:

Dr. Bisztray György Dénes DSc
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem
Szőlészeti és Borászati Intézet
Szőlészeti tanszék

és

Dr. Ladányi Márta PhD
egyetemi docens
Budapesti Corvinus Egyetem
Kertészettudományi Kar
Matematika és Informatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Dr. Tóth Magdolna
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
Dr. Bisztray György Dénes
A témavezető jóváhagyása

.....
Dr. Ladányi Márta
A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanácsának 2012. október 2-ai határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke

Kállay Miklós, CSc, BCE

Tagjai

Tóth Magdolna, DSc, BCE

Deák Tamás, PhD, BCE

Szentteleki Károly, CSc, BCE

Báló Borbála, PhD, SzBKI Eger

Mika János, DSc, Eszterházy Károly Főiskola

Opponensei

Teszlák Péter, PhD, SzBKI Pécs

Puskás János, PhD, NyME

Titkár

Deák Tamás, PhD, BCE

TARTALOM

1.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	5
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1.	Az éghajlatváltozás általános tünetei és lehetséges okai.....	7
2.1.1.	Az üvegházhatás.....	7
2.1.2.	Az üvegházhatás kutatásának előzményei és első eredményei	8
2.1.3.	Az éghajlatváltozás kutatása és eredményei napjainkban	10
2.1.4.	A várható következmények	11
2.2.	Az éghajlatváltozás hatása a növények fenológiájára	14
2.3.	Az éghajlatváltozás a Kárpát-medencében	16
2.4.	A szőlő (<i>Vitis vinifera</i> , L.) rügynyugalma, rügyfakadása és virágzása.....	17
2.5.	Matematikai modellek és alkalmazásuk.....	23
2.5.1.	A szimulációs modellek jellemzői.....	23
2.5.2.	A modellezés főbb lépései.....	24
2.5.3.	A klímamodellek	25
2.5.4.	A fenológiai modellek	28
2.6.	A klímaváltozásnak a szőlőtermesztésre gyakorolt hatásai	33
2.6.1.	Klimatikus indikátorok.....	33
2.6.2.	Megfigyelések, prognózisok a világ különböző tájairól.....	41
2.6.3.	Hazai tapasztalatok és kilátások	44
3.	ANYAG ÉS MÓDSZEREK	47
3.1.	A kísérleti adatok felvételezésének helyszínei.....	47
3.1.1.	A kísérleti ültetvény talajadottságai.....	48
3.1.2.	A kísérleti ültetvények jellemzése	48
3.1.3.	A kísérleti ültetvények kezeltége	49
3.2.	A vizsgálat ideje, az évjáratok jellemzése.....	50
3.3.	A vizsgálat anyaga	57
3.3.1.	A vizsgált fajták jellemzése	58
3.4.	Fenológiai adatok	61
3.5.	Tenyészdő számítási módszerek	61
3.6.	Az alkalmazott fenológiai modellek	63
3.6.1.	Egyszerű hőösszeg modell a rügyfakadás idejének becslésére	63
3.6.2.	Egyszerű hőösszeg modell a fővirágzás kezdetének idejére	64
3.6.3.	Hideghatást is figyelembe vevő fenológiai modell	65
3.7.	Statisztikai módszerek.....	68
3.7.1.	T-próbák	68
3.7.2.	Varianciaanalízis	68
4.	EREDMÉNYEK	71
4.1.	A klimatikus indikátorok számítási eredményei	71
4.1.1.	A klimatikus indikátorok változásai 1977 és 2003 között Kecskeméten	71
4.1.2.	A klimatikus indikátorok a RegCM3.1 regionális klímamodell becslései alapján, összevetve a megfigyelt adatokkal.....	72
4.2.	Tenyészdő számítási módszerek kritikai összehasonlítása	90
4.3.	Egyszerű hőösszeg modell a rügyfakadás idejének becslésére	91
4.4.	Egyszerű hőösszeg modell a fővirágzás kezdetének idejére	93
4.5.	Hideghatást is figyelembe vevő fenológiai modell.....	98
4.6.	Új és újszerű tudományos eredmények.....	105
5.	KÖVETKEZTETÉSEK	107
6.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	115
7.	SUMMARY	117
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	119
8.	IRODALOMJEGYZÉK.....	120
	RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE.....	139
	MELLÉKLETEK	141

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A közelmúltban megkezdődött, és a szakemberek által már bizonyított, az egész Földre kiterjedő éghajlatváltozás hatásai nem kerülnek el a mezőgazdaság egyetlen ágazatát, köztük a szőlőtermesztést sem. Az elmúlt 50 év melegedése ugyan kedvező hatással volt a termés és a borok minőségére, azonban számításba kell venni, hogy a szőlőtermesztés földrajzi határai áthelyeződnek, számolni kell az öntözés és a vízhiány problémájával, a fenológiai események időpontjainak változásával és az extrém időjárási jelenségek gyakoribbá és súlyosabbá válásával. Mindez magával hozza az esetleges fajtaváltás, illetve új, ellenálló fajták bevezetésének lehetőségét.

A világ legjelentősebb borvidékein az elmúlt 50 évben a tenyészidőszak átlaghőmérséklete 1,3 °C-kal emelkedett, Európában pedig már átlagosan 1,7 °C-os emelkedést mértek a tenyészidőszakban. Magyarországon a klímaváltozás hatására bekövetkező melegedés a hűvösebb klímájú országrészekben kedvező hatással lehet a szőlőtermesztésre, azonban a csapadékhányos területeken, elsősorban az Alföldön tovább növekedhet az aszálykárok okozta termés kiesés és minőségcsökkenés. Mindez a fenológiai átrendeződéssel a szőlőtermesztés több területének (növényvédelem, fajtaválasztás, kármegelőzés, termesztéstechnológia stb.) szerkezetét átalakíthatja, ami megfelelő válaszadásra kényszeríti a különböző szintű döntéshozókat.

Az éghajlatváltozás lehetséges hatásai iránt ezért erősen megnövekedett az érdeklődés. A szőlő fenológiai szakaszai közül a rügyfakadás és a fővirágzás kezdetének modellezése fontos lehet a sikeres növényvédelem vagy a termesztési technológia tervezésének szempontjából. Munkánk céljaul így azt választottuk, hogy megvizsgáljuk néhány *Vitis vinifera* L. fajta várható válaszadását a Magyarországon várható klimatikus változásokra. Arra kerestük a választ, hogy egyrészt milyen klimatikus indikátorrendszerrel lehetne jellemezni a már lezajlott, illetve a várható változásokat, illetve hogy milyen, a rendelkezésünkre álló adatbázis minőségére és mennyiségére jól alapozható matematikai modellekkel lehetne leírni és vizsgálni a szőlő rügyfakadási és fővirágzási idejének várható módosulását, tudjuk-e igazolni az eltolódást, és ha igen, az milyen irányú és mértékű lesz a közeljövőben.

A Duna Borrégió a Kárpát-medence csapadéokban legszegényebb területén helyezkedik el. Megfigyelési adataink erről a szárazságnak és fagyoknak kitett területről, a Kunsági borvidék két termőhelyéről, Helvécia- és Kecskeméti-ről származnak. Vizsgálatainkba többnyire a nyugati változatsoporthoz tartozó, a világ legtöbb borvidékén megtalálható fehér- és vörösborszőlő fajtákat, egy pontuszi változatsoporthoz tartozó magyar fajtát, illetve egy viszonylag új, hazai nemesítésű, ígéretes fajtát vontunk be.

A fentiek alapján az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. A szakirodalom alapján olyan klimatikus indikátorrendszer összeállítása, amelynek tagjai kis adatigényűek (napi hőmérsékleti és csapadékadatokból előállíthatóak), és amelyek segítségével jól jellemezhetőek a régiók, illetve évjáratok, valamint amelyek megváltozásai a szőlőtermesztésben várhatóan markáns változásokat indukálnak. Az indikátorrendszer alapján a megfigyelt, valamint a RegCM3.1 regionális klímamodell által a 1961-1990-es referencia-időszakra, valamint a 2021-2050 és a 2071-2100-as jövőbeli időszekre vonatkozó becslések alapján a historikus adatok elemzése és a várható változások megfogalmazása a Kunsági borvidék területére.
2. A szakirodalomban használt tenyészedőszak-számítási módszerek összehasonlítása és javaslat a klímaváltozás esetén is helytálló módszer használatára.
3. A szakirodalomban használt fenológiai modellek felkutatása, ideértve nemcsak a szőlőtermesztésben, hanem egyéb fásszárúakra alkalmazott modelleket is, olyan fenológiai modell vagy modellek megfogalmazása céljából, amely(ek) a szőlő rügyfakadásának, illetve virágzásának idejét megfelelő pontossággal becsüli(k). Esettanulmány végzése a megfogalmazott modellekre a rendelkezésre álló, minél hosszabb fenológiai adatok alapján.
4. A fenológiai modellek lehetőség szerinti továbbfejlesztése.
5. Összehasonlító vizsgálatok a rendelkezésre álló adatok alapján különböző modellekre és fajtákra azzal a céllal, hogy javaslatot tehessünk egy, a vizsgálatba bevont modellek közül a legmegfelelőbbre.
6. Összehasonlító vizsgálatok a fenológiai modellekre a RegCM3.1 regionális klímamodell által a 1961-1990-es referencia-időszakra, valamint a 2021-2050 és a 2071-2100-as jövőbeli időszekre vonatkozó becslések alapján, a Kunsági borvidéken várható változások megfogalmazása céljából.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Az éghajlatváltozás általános tünetei és lehetséges okai

Ma már bizonyított tény, hogy a Föld éghajlata lassan, de folyamatosan változik. Ennek egyrészt természetes okai vannak. E természetes változás elsősorban a Föld pályájának kismértékű módosulásával, a Nap kisugárzásának a változásával, a planetáris albedó természetes átalakulásával és a légkör kémiai összetételének természetes változásával függ össze (Salma, 2006). Másfelől az éghajlatváltozáshoz hozzájárulhatnak antropogén hatások, melyek leginkább a fosszilis energiahordozók elégetése és az erdőirtások következtében megnövekedett széndioxid-koncentráció okozta földfelszíni átlaghőmérséklet emelkedésben nyilvánulnak meg. Már a 19. század közepén ismert volt, hogy bolygónk felszínének átlaghőmérséklete lényegesen magasabb, mint ami pusztán a közvetlenül elnyelt napenergia alapján várható lenne (Arrhenius, 1896; Callendar, 1938; Haszpra és Barcza, 2005).

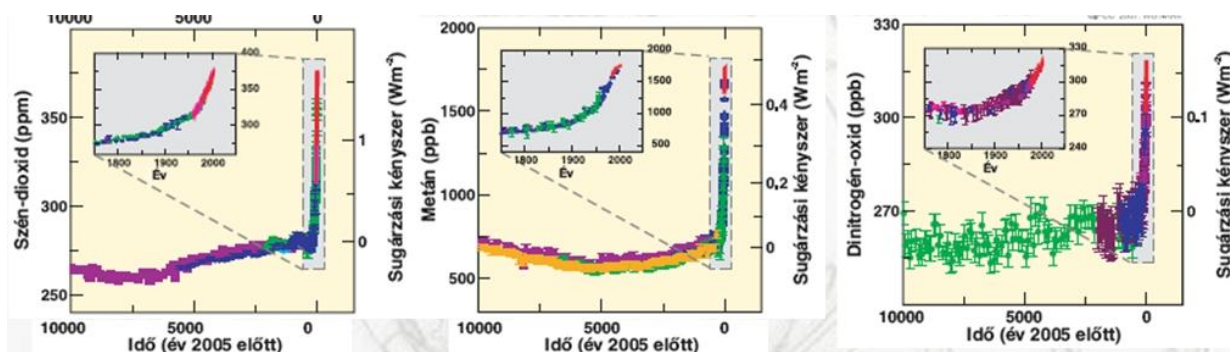
Korábban voltak már jégkorszakok és melegebb periódusok is a Föld történetében. Előfordultak jégkorszakok százezer éves ciklusokban az elmúlt 700 ezer évben, és voltak melegebb periódusok is a jelenleginél, annak ellenére, hogy akkor a széndioxid-szint alacsonyabb volt, mint napjainkban. A mostani felmelegedés kismértékű a korábbiakhoz képest, de a jelentőségét nem szabad lebecsülni, mivel a felmelegedés és a változás túlságosan gyorsan, és a korábbi változásokhoz képest gyakoribb, illetve súlyosabb extrémális jelenséggel (viharok, jégverések, aszály, özönvíz, hőhullám stb.) tarkítva történik. Tulajdonképpen ez okozza a fő problémát. Korábban az éghajlat változásainak okai kizárólag természetes eredetűek voltak, de az ipari forradalom nem elhanyagolható változást hozott. A globális felmelegedés jelenleg tapasztalható felgyorsulásának legfőbb oka az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése a légkörben. A nemzetközi mérési adatok szerint az 1850-es évek óta a Föld globális átlaghőmérséklete 0,76 °C-kal emelkedett (IPCC, 2007; Harnos et al., 2008).

2.1.1. Az üvegházhatás

Az üvegházhatás létfontosságú természeti jelenség, mely hozzájárult az élet kialakulásához bolygónkon. Földünk felületére energia érkezik a Napból napfény formájában. A napfény energiájának egy része elsősorban a felhőkről és a levegőből visszaverődik az űrbe (kb. 31%), másik része elnyelődik a levegőben (kb. 20%), a maradék energia eléri a Föld felszínét és elnyelődik benne (kb. 49%). Az elnyelt energia a Föld felszínét bizonyos hőmérsékleten tartja, aminek következtében a Föld, mint adott hőmérsékletű szilárd test elektromágneses sugárzást bocsájt ki hősugárzás (infravörös sugárzás) formájában. A Föld felszínéről távozó hősugárzást a levegő bizonyos, általában nyomnyi mennyiségben lévő összetevői – vízgőz, szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid, halogénezett szénhidrogének és az ózon – (mintegy 90%-os valószínűséggel)

elnyelik. Ezen összetevőket nevezzük üvegházhatású gázoknak. Az üvegházhatású gázok által elnyelt és visszajuttatott energia következtében a Föld felszínén a globális átlaghőmérséklet $+15^{\circ}\text{C}$, szemben a -18°C -kal, ami az említett gázok nélkül alakulna ki (Mitchell, 1989; Salma, 2006).

A légköri üvegházhatás antropogén erősödése miatt a 21. század közepére a Föld hőmérséklete magasabbra emelkedhet, mint az emberi történelem során valaha (IPCC, 2007). Ezért az olyan üvegházgázok emelkedő tendenciája felelős, mint a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4), a dinitrogén-oxid (N_2O), a halogénezett szénhidrogének és a felszín közelében szaporodó (bár a sztratoszférában csökkenő) mennyiségű ózon (O_3) (Mitchell, 1989; Mika, 1988, 1991)(1. ábra).



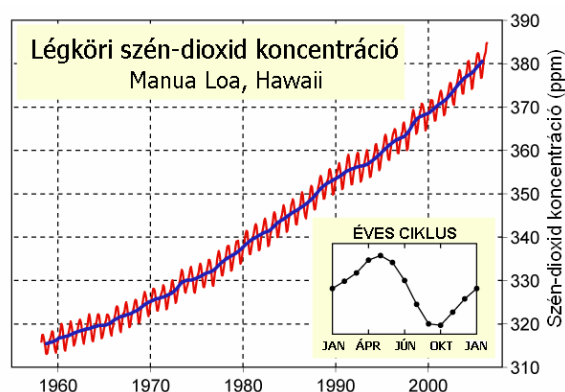
1. ábra: Üvegházhatású gázok változásai: a szén-dioxid, metán és dinitrogén-oxid légköri koncentrációja az elmúlt 10 ezer évben (nagy mezők) és 1751 óta (beszűrt mezők). A mérések jégfelvényekből és légköri mérésekből származnak (IPCC jelentés, 2007)

2.1.2. Az üvegházhatás kutatásának előzményei és első eredményei

Az első elméletek a 19. század második felében születtek meg a Föld légkörének és hőmérsékletének összefüggéséről (*American Institute of Physics*, www.aip.com). 1861-ben egy angol fizikus, John Tyndall (1820-1893), felvetette, hogy kapcsolat van a Föld légkörének CO_2 szintje és a globális hőmérséklet között. Tyndall egy elméletet alkotott arról, hogy a légkörben az emelkedő CO_2 szint több hőenergiát fog fel, mielőtt kisugározná azt az űrbe. Mivel a CO_2 egy szigetelő réteget alkot, ezért légköri hőmérséklet-emelkedést okoz. Svante August Arrhenius (1859-1927) svéd kémikus elsőként hozta összefüggésbe a levegő széndioxid-tartalmát az atmoszféra átlaghőmérsékletével. Ő volt az első, aki már 1896-ban azt állította, hogy a fosszilis üzemanyagok elégetése végső fokon globális felmelegedést okozhat. Bebizonyította a légköri széndioxid-koncentráció és a hőmérséklet közötti kapcsolatot. Tyndall és Arrhenius voltak az első gondolkodók, akik felvetették a klímaváltozás lehetőségét, mint az ipari forradalom egyik lehetséges következményét. Véleményükkel akkor egyedül maradtak.

A szén-dioxid a legfontosabb emberi tevékenységhez kötődő üvegházhatású gáz. Az első széndioxidkoncentráció-méréseket Charles David Keeling kezdte el 1958-ban Hawaii Mauna Loa nevű hegyén. Róla nevezték tehát el a Keeling-görbét, mely a légkör széndioxid-

menyiségét mutatja évekre vonatkoztatva (2. ábra).



2. ábra: A légköri széndioxid-koncentrációt ábrázoló Keeling-görbe. A kisebbik grafikonon a széndioxid-koncentráció éves változása van feltüntetve.

Forrás: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Mauna_Loa_Carbon_Dioxide-hu.png

A mérések tisztán megmutatják a CO₂ növekedését az atmoszférában. Látható továbbá az ábrán az is, hogy a széndioxid-koncentrációjának van egy évszakos ciklusa is, ami a mérsékelt övi területek lombhullató erdeinek asszimilációs ciklusaiból ered.

Az 1960-as és még inkább a 70-es évektől egyre többen gondolták úgy, hogy a növekvő széndioxid-koncentráció éghajlatváltozást idézhet elő, fontosnak tartották tehát, hogy megfelelő technikai háttérrel rendelkező mérőállomásokat hozzanak létre. A széndioxid-koncentráció mérése kötelező feladatává vált a Meteorológiai Világszervezet (*WMO – World Meteorological Organization*) levegőszennyezettség-mérő alapállomásainak (www.wmo.int). Magyarországon az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) mérőállomásán 1981-ben indult meg a légköri széndioxid-koncentráció folyamatos megfigyelése. 1994 szeptemberében a Magyar-Amerikai Közös Alap támogatásával az OMSz és a NOAA közreműködésével megkezdte működését az első magas mérőtornyos, kifejezetten a regionális bioszféra légköri szén-cseréjének hosszú távú megfigyelésére létrehozott európai állomás (Haszpra és Barcza, 2005).

1988-ban végre világszerte széles körben elfogadottá vált, hogy az éghajlat melegebb, mint bármilyen periódusban 1880 óta. Az üvegházhatás-elméletet megnevezték, és az ENSZ Környezetgazdálkodási Program, valamint a Világ Meteorológiai Szervezete megalapították a Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet (*IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change* - <http://www.ipcc.ch/>). Ez a szervezet számos nemzetközi kutatóintézet és egyetem tudósainak munkáját összegyűjtve és szintetizálva megpróbálja az üvegházhatás következményeit előre jelezni létező klímamodellek és irodalmi adatok segítségével. A Testület több mint 2500 tudományos és technikai szakértőt alkalmaz szerte a világon, több mint 60 országból. A tudósok igen távoli kutatási területeken dolgoznak, mint például klimatológia, ökológia, ökonómia, orvostudomány és óceonográfia. Az IPCC a történelem legmesszemenőbben felülvizsgált

tudományos együttműködési terve. Az IPCC klímaváltozás-jelentést adott ki 1990-ben (*First Assessment Report – FAR*), 1995-ben (*Second Assessment Report – SAR*), 2001-ben (*Third Assessment Report – TAR*) és utoljára 2007-ben (*Fourth Assessment Report – AR4*).

2.1.3. Az éghajlatváltozás kutatása és eredményei napjainkban

Az IPCC negyedik jelentése szerint a szén-dioxid globális légköri koncentrációja az iparosodás előtti 280 ppm értékről 2005-re 379 ppm-re nőtt. A széndioxid-koncentráció éves növekedési üteme az elmúlt 10 évben magasabb (1995-2005-ös átlagban 1,9 ppm/év) volt, mint a folyamatos közvetlen légköri mérések kezdete óta eltelt teljes időszakban (1960-2005-ös átlagban 1,4 ppm/év), noha a növekedési arány évenként is ingadozik. A sarkokon lévő jégmag buborékaiból kiderült, hogy a levegő CO₂-koncentrációja a 280 ppmv értéket soha nem haladta meg az elmúlt 450 ezer év során (1. ábra).

A metán globális légköri koncentrációja az iparosodás előtt kb. 715 ppb értékről az 1990-es évek elejére 1732 ppb-re nőtt, és 2005-ben az értéke 1774 ppb. Ez az érték messze meghaladta az utolsó 650000 év természetes tartományát (320-790 ppb), ahogy az szintén a jégpszelvényekből meghatározható. A növekedési ütem az 1990-es évek elejétől csökkent. Nagyon valószínű, hogy a metánkoncentráció megfigyelt növekedése antropogén tevékenységeknek, elsősorban a mezőgazdaságnak és fosszilis üzemanyagok felhasználásának tudható be.

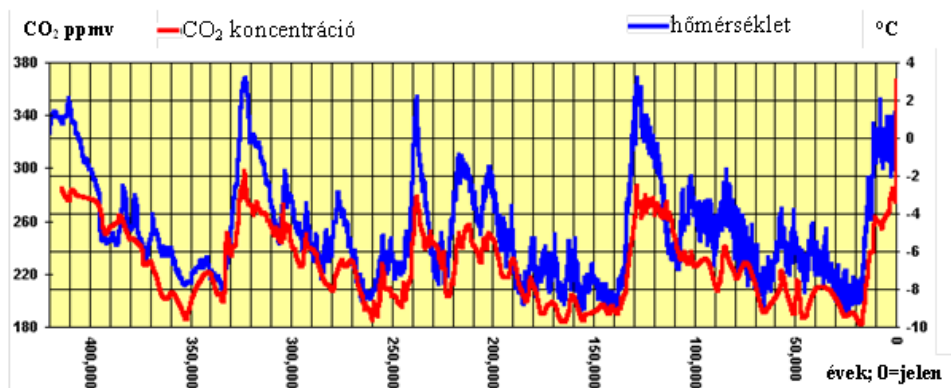
A dinitrogén-oxid globális légköri koncentrációja az iparosodás előtti 270 ppb értékről 2005-re 319 ppb-re nőtt. A növekedési ütem 1980-tól nagyjából állandó. A dinitrogén-oxid kibocsátás több mint egyharmada antropogén eredetű, amelynek forrása elsősorban a mezőgazdaság (IPCC, 2007).

A Testület valószínűnek tartja, hogy az éves üvegházgáz-kibocsátás a kétszeresére fog emelkedni az elkövetkező 50-100 évben (IPCC, 2007).

Az üvegházgázok lényeges tulajdonsága, hogy hosszú légköri tartózkodási idejük miatt a forrásoktól távolra sodródva egyenletesen elkeverednek az egész Föld körül. E tulajdonságuk egyben azt is jelenti, hogy az üvegházhatás erősödése csak a Föld valamennyi szennyező forrására kiterjedő korlátozással mérsékelhető (Mitchell, 1989; Szász és Tőkei, 1997).

Az üvegházhatás mellett még nagyon sokféle erőhatás befolyásolhatja a Föld éghajlatát. Például, amikor a Nap sugárzása erősebbé válik, a bolygó több energiát és meleget kap. Amikor vulkánok törnek ki, port és hamut juttatnak a légkörbe, amely visszaveri a napfényt, ezáltal a bolygó hűlni kezd. Ezeket a hatásokat nevezzük külső erőknek, mivel a bolygó energia-egyensúlyának megváltoztatásával okozzák az éghajlat változását. Az nyilvánvalóan igaz, hogy a múlt klímaváltozásait természeti erők okozták. Az üvegházgázok természetes eredetű növekedése többször okozott klímaváltozást a Föld történetében, de ehhez most minden

bizonyval hozzáadódik egy gyorsuló ütemű, antropogén eredetű üvegházgázkoncentráció-növekedés a légkörben (IPCC, 2007).



3. ábra: Az Antarktisz jégmintáinak felhasználásával készült széndioxid-vizsgálatok eredménye
 Forrás: Carbon Dioxide Information Analysis Center <http://cdiac.ornl.gov/>

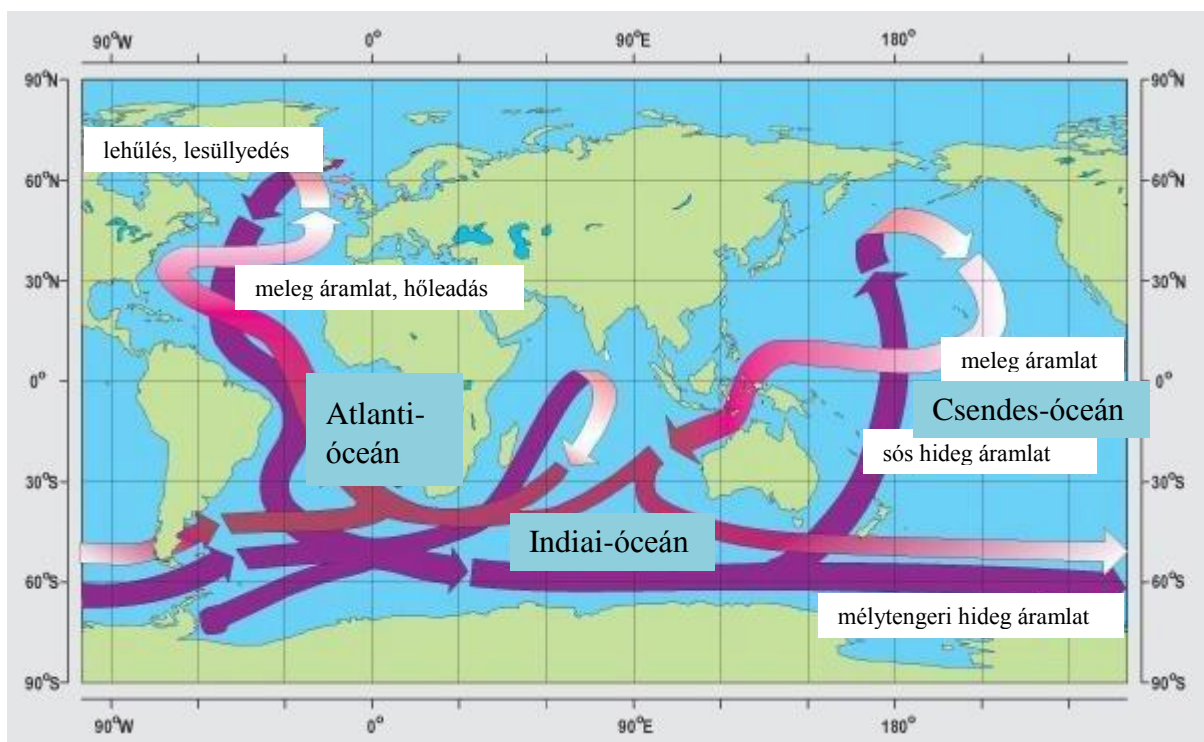
A sarki jégsapkák jégmintáiban megfagyott légbuborékok összetevőinek elemzésével ma már meg tudjuk mondani az elmúlt hőmérséklet-változások mértékét, a naptevékenység szintjét, az üvegházgázok és a vulkáni por légköri mennyiségét (*Arctic Climate Impact Assessment* (ACIA, 2004 amap.no/acia). Ezekből az adatokból meghatározhatjuk, hogy a hőmérséklet miatt hogyan változott a bolygó múltbeli energia-egyensúlya. Ha a Földtörténet különböző időszakaira pillantunk, láthatjuk, hogy amikor a bolygó hőt kap, a pozitív visszacsatolás fokozza a melegedést. Ezért tapasztaltunk olyan drámai változást a hőmérsékletben a múltban is. Éghajlatunk túlságosan érzékeny a hőmérséklet-változásokra. Még azt is számszerűen meghatározhatjuk, amikor figyelembe vesszük a pozitív visszacsatolást, hogy a CO₂ szint megkétszereződése 3°C körüli hőmérséklet-emelkedést okozhat.

Ha a grafikont megnézzük (3. ábra), azt látjuk, hogy a CO₂-mennyiség hogyan változott a Föld történetének elmúlt 400 ezer évében, továbbá láthatjuk a napjainkban (a nulla értéknél) gyorsuló ütemben emelkedő széndioxid-szintet (piros vonal), valamint az ehhez szorosan kötődő hőmérséklet-változást (kék vonal). Ebből a grafikonból láthatjuk, hogy a széndioxid-koncentráció a légkörben az elmúlt 420 ezer évben nem szárnyalta túl a mai szintet és valószínűleg az elmúlt 20 millió évben sem (*NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration*), pedig azt a kutatók már bizonyosan tudják, hogy voltak a mostaninál melegebb periódusok a Föld története során. Az előrejelzések szerint a széndioxid-koncentráció a jelenlegi 490 ppmv-ről 2100-ig 1260 ppmv értékre emelkedik (IPCC, 2007).

2.1.4. A várható következmények

A fentiekben bemutatott természetes és antropogén hatások feltehetőleg az alábbi események bekövetkezését eredményezi (IPCC, 2007):

- A sarki jég olvadása és az óceánok kiterjedése. Ez áradásokat okoz a partközeli területeken, a mélyföldeken és a folyók deltájában. Néhány kis sziget talán teljesen eltűnhet az áradások következtében. A sarki jégsapkákban a fagyott állapotban lévő széndioxid a jég elolvadásával tovább növeli a légkör széndioxid-tartalmát, és fokozza a felmelegedést.
- Az Atlanti-óceán sókoncentrációjának csökkenése módosítja a hideg és meleg öbláramlatokat, mely végső soron nagy valószínűséggel jégkorszakot is okozhat.
- A trópusi viharok és ciklonok száma, súlyossága növekszik.
- A mezőgazdasági területeken áradás és erózió várható. Ez károsítja a talajt, és csökkenti a terméseredményt. A csapadék eloszlása egyenetlenné válik.
- Nagy változások az ökoszisztémában és csökkenő biodiverzitás.
- A vízkészletek elpárolgása ivóvízhiányt okoz.
- A sós tengervíz behatolása a talajvíz zónába.
- A szélsőségesebb időjárás melegebb, szárazabb nyarakat és hidegebb teleket okoz.
- Több fertőző betegség megjelenése, mivel a környezet kedvezőbbé válik a kórokozók és olyan veszélyes rovarok számára, mint a malária szúnyog.



4. ábra: Az óceánok főbb áramlatai a Földön. A sötétebb sávok jelölik a hideg áramlatokat, a világosabbak a melegeket (<http://www.windows2universe.org>).

2004-ben, mint biztonsági kockázat foglalkoztatta az éghajlat kutatóit és a közvéleményt a sajtóban közzétett Pentagon-jelentés (Schwartz és Randall, 2003), ami arról az elméleti

lehetőségről szól, hogy az ún. óceáni szállítószalag (Broecker, 1987; Czelnai, 1999) leállhat, s ennek nyomán a Föld éghajlata a melegedésből egyszerre csak lehülésbe, esetleg jégkorszakba fordulhat. A melegedő éghajlat egyik következménye ugyanis a sarki jégsapkák és a sarkkörü gleccserek olvadása. Ez nemcsak tengerszint-emelkedést okozhat, hanem befolyásolhatja az óceáni áramlatokat is (4. ábra), ezáltal a légkörünket. Amikor ugyanis a tengervíz megfagy a sarki jéghegyek körül, kiveti magából a sót. A hideg vígréteg a tengeri jég alatt sósabbá és sűrűbbé válik, így elég nehézzé válik, ahhoz, hogy lesüllyedjen. Az Arktisznál a hideg víz lesüllyed a Norvég-Grönland-tengerbe. Ennek következtében a hideg víz kicserélődik a sekély, meleg vízre, mely északkelet felé mozog a trópusokról. Ha azonban a sarki jég és a gleccserek elolvadnak, édesvíz jut az óceánba. Az édesvíz felhígítja a tengervizet, csökken a sókoncentráció, ezáltal a keverékvíz nem elég sűrű, hogy lesüllyedjen. Így fékeződhetnek, sőt leállhatnak az óceáni áramlatok, ami hatással van a hőcserére a pólusok és a trópusok között, kiváltva ezzel egy kisebb jégkorszakot az Európai kontinensen.

Bár ilyen horderejű kérdésnél különösen szükséges megvárni, amíg a vizsgálatokat több műhelyben is elvégzik, néhány újabb vizsgálat nyomán megkockáztatjuk, hogy a jégkorszak bekövetkezése ma kevésbé valószínű, mint ahogy ezt néhány évvel ezelőtt gondoltuk. Eddig ugyanis egyik klímamodell sem mutatott teljes leállást a melegedéssel párhuzamosan. Továbbá nem tudjuk, hogy a tízezer évnél régebbi korokban, amikor a pár száz év alatti többfokos felmelegedésekkel és lehülésekkel párhuzamosan gyakran volt a mainál sokkal gyengébb az áramlás, a vízkörzés gyengülése oka vagy éppenséggel következménye volt-e a változásoknak. Végül, egy olyan kísérletben, ahol mesterségesen „kapcsolták ki” a hőszállítást (Wood et al., 2003), a jelen éghajlathoz képest ugyan 10 °C-ot meghaladó lehülés alakult ki az Atlanti-óceán északi medencéiben, ám a kontinenseken a csökkenés jóval kisebb volt, Közép-Európában például csak 2-3 °C. Amikor pedig az óceáni szállítást a fokozódó melegedéssel párhuzamosan „kapcsolták ki” akkor a mainál hidegebb klíma az Atlanti-óceán térségére korlátozódott. Eközben a szárazföldek felett az üvegházhatás fokozódása miatti melegedés hatása erősebb volt, mint a szállítószalag leállása miatti lehülés (Wood et al., 2003; Bartholy és Mika, 2005).

Az IPCC 1996-os jelentése szerint az éghajlatot befolyásoló antropogén hatások körébe immár bele kell érteni a troposzferikus aeroszoloikat is a továbbra is domináns üvegházgázok mellett. A légkör cseppfolyós és szilárd alkotórészei az elmúlt évtizedekben – főleg az iparosodott területek tágabb környezetében – korlátozták az üvegházgázok okozta felmelegedést. Az előrejelzések szerint a szulfát-aeroszokok a jövőbeni globális átlagában kb. egyharmadával fékezhetik az üvegházhatás erősödését (NASA, Earth Observing System, 1999; Haywood és Bouchet, 2000; Szász és Tőkei, 1997). Az aeroszokokhoz történt antropogén hozzájárulások (elsősorban szulfát, szerves szén, feketeszén, nitrát és por) együttesen hűtőhatást fejtettek ki,

összesen $-0,5 \text{ W/m}^2$ közvetlen sugárzási kényszer és $-0,7 \text{ W/m}^2$ közvetett felhő-albedó kényszer mértékben. Ezek a kényszerértékek a jobb közvetlen helyszíni, műholdas és felszínbázisú méréseknek, továbbá az átfogóbb modellezésnek köszönhetően ma már jobban érthetőek, mint a 3. IPCC jelentés idejében, de a sugárzási kényszerben továbbra is jelentős a bizonytalanság. Az aeroszolok befolyásolják a felhők élettartamát és a csapadékképződést is.

Az éghajlati rendszer melegevé tétele tehát az IPCC mai álláspontja szerint vitán felül áll, mivel ez ma már nyilvánvaló a globálisan átlagolt levegő- és óceán-hőmérséklet emelkedéséből, a hó- és jégtakaró kiterjedt olvadásából és a globális átlagos tengerszint-emelkedés megfigyeléseiből (IPCC, 2007).

2.2. Az éghajlatváltozás hatása a növények fenológiájára

A világ számos országában kutatók és kutatócsoportok foglalkoznak az éghajlatváltozás lehetséges következményeinek feltárásával. Erre a célra az egyik legalkalmasabb, leginkább kifejező indikátor-jellegű tudományterület a fenológia, mely a növények és állatok életének körforgásában a környezet (különösen a hőmérséklet és a csapadék évszakos változásai) által befolyásolt periodikus eseményeket tanulmányozza. Réaumur (1735) vetette fel először, és azóta számos kutatócsoport bizonyította, hogy a növények fenológiai jelenségeire hatással vannak a meteorológiai feltételek (Rosenzweig et al, 2007; Bonhomme, 2000; Chuine és Cour, 1999; Chuine et al., 1998, 1999; Cleland et al., 2007; Menzel et al., 2006, Bradley et al., 1999).

Az időjárás és fenológia kapcsolatát vizsgáló publikációk egybehangzóan állítják, hogy a hőmérséklet a fő mozgatója számos növény fejlődési folyamatainak. A magasabb hőmérséklet általában gyorsítja a fejlődést és így korábban lép a növény a következő egyedfejlődési stádiumba. Az IPCC 2001-es jelentése szerint 1901 és 2000 között megközelítőleg $0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ fokkal emelkedett a földi átlaghőmérséklet (IPCC 2001). A 2007-es jelentésben viszont a frissített 100 éves lineáris trend (1906-2005) már $0,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ átlaghőmérséklet emelkedést jelez. Az összes hőmérséklet-emelkedés az 1850-1899 közötti időszaktól a 2001-2005 közötti időszakig $0,76 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2007).

Az éghajlat melegevé tétele a természetes és kultivált ökoszisztémákra gyakorolt hatásait a világ számos részén (Európa, Amerika, Ázsia) megfigyelték, és különböző hosszúságú fenológiai idősorok felhasználásával igazolák (Penuelas és Finella, 2001; Walther et al., 2002; Parmesan és Yohe, 2003; Root et al, 2003). A publikációk főként az elmúlt 20 évről szólnak, amikor már kifejezetten a klímaváltozás kutatásához kapcsolódó monitoring rendszereket alkalmaztak a világ számos pontján, de igazi kincsnek számítanak a hosszú idősorok feldolgozásán alapuló jelentések (Arakawa, 1955, 1956; Beaubien és Hamann, 2011). A növényfenológiai változások szoros összefüggésben vannak a megfigyelt hőmérséklet-változással, melynek az 1970-es éveket követő megfigyeléseiről egyre gyakrabban számolnak be

(Menzel és Fabian, 1999; Menzel és Estrella, 2001; Larcher, 1995; Keeling et al. 1996; Myneni et al., 1997; Price és Waser, 1998; Dunne et al., 2003; Aerts et al., 2004). Sparks és munkatársai (2009) megjegyzik, hogy 1990 és 2008 között a fenológia kifejezésnek a klímaváltozással kapcsolatos használata a tudományos közleményekben meghétszereződött. Hughes (2000), Wuethrich (2000), McCarty (2001), továbbá Walther és munkatársai (2001) szerint a klímaváltozás hatása a virágzásfenológiára nemcsak közvetlenül az egyes növényfajokra hat, hanem megváltoztathatja a szélesebb közösségi szerkezetet és az ökoszisztéma működését is. Geber és Dawson (1993), Bradshaw és McNeilly (1991), Holfman és Parson (1997), Rodriguez-Trellis és Rodriguez (1998), de Jong és Brakefield (1998) szerint az éghajlat melegekedése különböző válaszidejű evolúciós módosulásra készítheti az élő rendszereket. A klímaváltozás közvetlenül megváltoztathatja a növény alkalmazkodóképességét (Galen és Stanton, 1991, 1993; Wookey et al. 1993), valamint módosíthatja a növények szaporodási sikerét és fenológiáját (Hughes, 2000; Beattie et al., 1973; Schemske, 1977; Gross és Werner, 1983; Lacey és Pace, 1983; Schmitt, 1983; English-Loeb és Karba, 1992; Peterson, 1997; Bishop és Schmeske, 1998).

Khanduri és munkatársai (2008) az őszi és a tavaszi fenológiai változásokat több mint 650 mérsékelt övi növényfaj esetében megfigyelték. Eredményeik szerint a 20. század végéig átlagosan 1,9 nappal korábban indul meg a tavaszi fejlődés, és 1,4 nappal később következnek be az őszi események minden egyes évtizedben. Ezáltal átlagosan 3,3 nappal megnövekedett a vegetációs időszak évtizedenként. Bár az őszi fenológiai változásokról a tavasziakkal szemben kevesebb elérhető információnk van (Khanduri et al., 2008), néhányan az őszi fenológiai események késését figyelték meg. Európában és Japánban például a levélszínváltozás 0,3-1,6 napos késést mutat dekádonként, ahol a vegetációs időszak hossza 3,6 nappal növekedett dekádonként az elmúlt 50 évben (Menzel és Fabian, 1999; Menzel, 2000; Matsumoto et al., 2003). Általában a melegebb ősz korábbi gyümölcseréshez vezet, viszont késik a levelek öregedése (Cleland et al, 2007).

A kutatók számos eszközt és módszert alkalmaznak, hogy faj szintű megfigyelésekre alapozva igazolják a fenológiai változásokat (Menzel et al., 2006; Sparks és Carey, 1995; Parmesan és Yohe, 2003; Root et al, 2003; Walther et al., 2002), hogy távérzékeléssel kövessék az ökoszisztémák produktivitásának változását (Myneni, et al., 1997; Zhou et al., 2001), valamint megfelelő monitoring rendszerrel mérjék a légköri széndioxid-mennyiséget és a fotoszintetikus aktivitást (Randerson et al., 1999; Keeling et al., 1996). Ezek közül az elmúlt években számos tanulmányban dokumentálták a kora tavaszi fenológia és az emelkedő hőmérséklet közötti korrelációt, de eltérő hatásokat találtak a tenyészidőszak végére vonatkozóan (Estrella és Menzel, 2006; Menzel, 2003). A klímaváltozás hatását vizsgáló kutatások között kiemelt szerepe van a növekvő átlaghőmérséklet, a csapadékeloszlás változása, valamint az

emelkedő széndioxid-koncentráció fajokra és ökoszisztémákra, mint rendszerekre gyakorolt hatásának is (Cleland et al., 2007; Dunne et al., 2003; Penuelas et al., 2004; Arft et al., 1999). A melegedéssel egyidőben számos esetben a növények növekedésének és a virágzásának gyorsulását dokumentálták (Dunne et al., 2003, Arft et al., 1999, Price és Waser, 1998), különösen a kora tavaszi virágzású fajok esetében (Dunne et al., 2003). Érdekes módon a tenyészidőszakban később fakadó növények esetében arról is beszámoltak, hogy azok vagy nem reagálnak szignifikánsan a melegedésre (Dunne et al., 2003), vagy késik a fenológiai fázisuk, különösen, ha a hőmérséklet fiziológiai tűrőképességük fölé emelkedik (Sherry et al., 2007).

2.3. Az éghajlatváltozás a Kárpát-medencében

Európában a római korok óta többször történt klímaváltozás napjainkig, kisebb –nagyobb jégkorszakok melegebb időszakokat váltottak. A „római klímaoptimum” során Németország, Hollandia és Anglia területén is meghonosították a szőlőtermesztést a rómaiak. Eközben a Kárpát-medencében az észak-olaszországihoz hasonló éghajlat uralkodott. A népvándorlás egyik kiváltó okának tekintik az éghajlat hidegebbé válását, mely időszak során a szőlőtermesztés is viasszaszorult. A 9. században ismét egy melegebb időszak következett, amivel beköszöntött a „középkori éghajlati optimum”. Az éghajlat szárazabbá, de jóval enyhébbé vált, a szőlőtermesztés északi határa pedig egészen a Baltikumig terjedt. Ennek a szőlő számára kedvező klímának vetett véget a 14. században bekövetkezett „kis jégkorszak”, ami lényegében a 19. század végéig tartott. Ezután ismét a melegedő éghajlat tette kedvezőbbé az életet. Az ipari forradalmat követően a megnövekedett légköri szén-széndioxid koncentráció tovább növelte az átlaghőmérsékletet, mely napjainkban is folytatódik (Zanathy, 2008).

Az Európai Unió „Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz” című Zöld Könyve szerint (2007, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/hu/com/2007/com2007_0354hu01.pdf) Európa legsérülékenyebb területe Dél-Európa és a Földközi-tenger teljes medencéje, ahol a jelentős hőmérséklet-emelkedés és a csökkenő csapadékmennyiség együttes hatása olyan területeken jelentkezik, melyeken már most is vízhiánnyal küzdenek. Magyarország e régió határán, a Kárpát-medence a nedves óceáni, a száraz kontinentális és a nyáron száraz, télen nedves mediterrán éghajlati régiók határán helyezkedik el (Harnos et al., 2008). E határzónában pedig az éghajlati övek kismértékű eltolódása is oda vezethet, hogy a Kárpát-medence „átcsúszik” a három hatás valamelyikének egyértelmű uralma alá (Szász és Tőkei, 1997). A 2007-es ENSZ-jelentés szerint Magyarország a klímaváltozás természeti sokszínűségre gyakorolt hatása szempontjából a világ egyik legsérülékenyebb állama (SEG, 2007). Harnos és munkatársai (2008) szerint a hazai átlaghőmérséklet emelkedése másfélszer gyorsabb, mint a globális felmelegedés üteme. Elsősorban a nagyobb szárazság és az édesvízkészletek relatív hiánya miatt lehetnek negatív következményei Magyarországra nézve a globális felmelegedésnek.

Gyakoribbá válhatnak az extrém időjárási események is, és ugyancsak kedvezőtlen, hogy a kevés csapadék is egyenetlenebbül oszlik majd el: várhatóan egyre gyakrabban zúdul ránk kiadós eső, ami sokkal nagyobb károkat okozhat, mint az eddigi csapadékhullás. Nálunk az Alföldön figyelhető meg leginkább ez a jelenség, ahol új növény- és rovarfajok telepednek meg, míg mások az életfeltételek módosulása nyomán visszaszorulnak. A növényzet megritkulása nyomán a homokos talaj kevésbé áll ellen a szél erejének, ami viszont a sivatagosodási folyamat felgyorsulását idézheti elő. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén a század utolsó harmadára futtatott klímamodellek, többek között az alábbi Magyarországon várható változásokra hívják fel a figyelmünket (Bartholy et al., 2004, 1. táblázat):

- növekvő középhőmérséklet: nyáron akár 4-5 °C-os is, de több mint 2,5-3 °C minden évszakban és régióban;
- téli-tavaszi csapadéknövekedés akár 30 %-ot is meghaladóan, nyári-őszi csapadékcsökkenés 20-30%-os mértékben;
- évente 140-150 napos 25 °C feletti napi maximum hőmérséklet.

1. táblázat: Az időjárási rekordok előfordulásának várható gyakorisága 2071 után az 1961-90-es bázisidőszakhoz viszonyítva (Pongrácz és Bartholy, 2007)

Extrém indikátorok	A változás várható mértéke
A 25 °C feletti napi maximumhőmérsékletű napok száma	+39%
A 30 °C feletti napi maximumhőmérsékletű napok száma	+91%
A 35 °C feletti napi maximumhőmérsékletű napok száma	+250%
A 0 °C alatti napi maximumhőmérsékletű napok száma	-75%
A -10 °C alatti napi minimumhőmérsékletű napok száma	-83%
A 0 °C alatti napi minimumhőmérsékletű napok száma	-65%
A 20°C feletti napi minimumhőmérsékletű napok száma	+625%

2.4. A szőlő (*Vitis vinifera*, L.) rügynyugalma, rügyfakadása és virágzása

A szőlőtőke évi biológiai ciklusa a nedvkeringés tavaszi megindulásától a szőlő vegetációs nyugalmanak a befejezéséig tart, s ezek a ciklusok évről évre ismétlődnek. A biológiai ciklus alatt a vegetatív periódust, azaz a tenyészidőszakot értjük, valamint az ezt követő vegetációs nyugalmat. A biológiai ciklus a termőhelyen a biológiai nulla fok feletti hőmérsékleten indul meg. A szakirodalomban a biológiai nulla fokot széles körben +10 °C-ban jelölik meg, de természetesen ez az érték egy durva becslés. A vegetációs periódus a rügyfakadástól a lombhullásig, a vegetációs nyugalom pedig a lombhullástól a következő évi rügyfakadásig tart (Kozma, 1991).

A szőlőtőke vegetációs nyugalmi periódusa lombhullástól a tavaszi nedvkeringés megindulásáig tart. A szőlő szerveinek fiziológiai nyugalmi ideje nem teljesen azonos, a gyökérzetnek például nincs mély fiziológiai nyugalmi ideje. A rügyekre jellemző a legjobban a

szervi fiziológiai nyugalom, s ezt a tulajdonságot a szőlő hosszú evolúciós folyamat során szerezte meg a külső környezet hatására. Ezáltal kedvező körülmények esetén sem fakadnak ki a rügyek a tél folyamán (Kozma, 1991).

A rügynyugalom definíciója még vitatott, mivel ez alapvetően egy változó folyamat: átmenet az alig észlelhető növekedési állapotból az igazi téli nyugalomba, majd a kényszernyugalomba (Chuine és Cour, 1999). A rügynyugalom Perry (1971) szerint egy fiziológiai állapot, melyet rendszerint csökkent növekedési rátájú periódusként definiálnak, kisszámú vagy semmilyen sejtosztódással, és amelyben a pozitív hidegösszegek szükségesek a növekedés és a fejlődés újrakezdéséhez (Perry, 1971). Számos kísérlet bizonyítja, hogy a rügynyugalmat megtörheti a 10 °C alatti pozitív hidegösszeg az ősz és a tél folyamán (Perry, 1971, Hänninen és Backman, 1994; Sarvas, 1974), de az ezt megelőző periódus hatását a rügynyugalomra és a rügyfakadásra korábban nemigen tanulmányozták (Mauget, 1977, Champagnat, 1983). Pedig a rügyfakadást megelőző nyár hőmérsékleti összege is hatással lehet a nyugalmi állapot intenzitására és a rügyfakadás időpontjára (Chuine és Cour, 1999).

A vegetációs nyugalom periódusát a mélynyugalom (*endodormancy*) és a kényszernyugalom (*ecodormancy*) időszakokra bonthatjuk, az elsőben a növény fiziológiailag meghatározott módon éli nyugalmát, a másodikban a még nem megfelelő környezeti tényezők tartják fent ezt az állapotot (Lang, 1987). Tavasszal a fakadó rügyből, mely a szőlő esetében összetett rügy, hajtás fejlődik, majd ennek hónaljában kifejlődik a tenyészidőszak folyamán a következő évi alvó vagy látens rügy. Tavasszal és kora nyáron körülbelül 10 levélkezdemény fejlődik minden rügyben, míg a főrügyekben a virágzatkezdemény is kialakul (Boss et al., 2003). A nyár közepén a rejtett rügyek a feltételes nyugalom fázisába lépnek (*paradormancy*), melyben a rügyfakadást elnyomják bizonyos más növényi szövetekből származó faktorok, elsősorban a tenyészőcsúcsból származó auxin hormon (Lang, 1987; Lavee és May, 1997). Az ősz folyamán csökkenő fotoperiódus és hőmérséklet indukálja a rügyek mélynyugalmát (*endodormancy*), mialatt a rügyfakadást hormonális faktorok gátolják (Lang, 1987, Lavee és May, 1997). Ez Magyarországon általában augusztus 10-e és szeptember eleje között következik be (Kozma, 1991). Ahhoz, hogy a rügyek a nyugalmi ciklus során tovább fejlődjenek, elegendő hideg hőösszegnek kell érnie a rügyeket, ami végül a mélynyugalmi állapot megszűnéséhez vezet (Lavee és May, 1997, Dookazalian, 1999). Ez Magyarországon általában december közepére-végére bekövetkezik. December végétől a szőlőtőke a kényszernyugalmi (*ecodormancy*) szakaszba kerül, és ha a hideg hőösszeg előfeltételei teljesültek, akkor a rügyfakadás kedvező időjárási feltételek mellett már megtörténhet, mivel ekkor a gátló faktorok immár a környezeti feltételek, a túl alacsony hőmérsékletek (Lang, 1987; Or et al., 1999, Kozma, 1991).

A nyugalmi időszak szabályozása egyes (pl. hideg télű vagy trópusi éghajlatú) régiókban nagyon fontos a kereskedelmi szőlőtermesztés és más mérsékletövi gyümölcstermő növények szempontjából (Saure, 1985). Hideg télű területeken a hidegösszegek hamar összegyűlnek, ezáltal a mélynyugalmi állapot korán megszűnik. A tartósan alacsony hőmérséklet fagykárokat okozhat, mely a termésmennyiség csökkenéshez vezethet, valamint a fagyvédelmi módszerek megnövelik a termelés költségeit (Cattiavelli és Bartlet 1992, Kadir és Proebsting, 1994). Ezért ezeken a területeken fagyűrő fajták alkalmazása javasolt, melyek a kedvezőtlen körülmények között is képesek alkalmazkodni és megfelelően fejlődni (Or, 2009).

2. táblázat: A szőlőrügyek nyugalmi periódusának szakaszai és ezek főbb jellemzői (Bényei et al. 1999)

	A szakasz neve	A gátlás			Időszak	A fakadáshoz szükséges idő (h) 25 °C-os vízben.
		megnevezése	kiváltó oka	eredete		
1.	A nyugalmat megelőző fázis	csúcsdominancia, korrelációs gátlás	Auxin (IES)	tenyészőcsúcsok, nyári rügy, levelek	júniustól augusztus első dekádjáig	200
2.	A nyugalomba lépés fázisa	endogén nyugalom	Abszcizinsav (ABS) növekvő koncentrációja	kifejlett levelek	augusztus 10-től szeptember elejéig	200-300
3.	A nyugalom fázisa	endogén nyugalom	Abszcizinsav (ABS) maximális koncentrációja	kifejlett levelek	augusztus végétől november végéig	480-1800
4.	A nyugalomból ébredés fázisa	endogén nyugalom	Abszcizinsav (ABS) csökkenő koncentrációja	kifejlett levelek	október eleje-közepétől decemberig	A fázis elején 1300-1500, a fázis végén 500-600
5.	A nyugalom utáni fázis	exogén nyugalom	alacsony hőmérséklet	időjárás (éghajlat)	októbertől márciusig, áprilisig	0-200

Enyhe télű vidékeken az elegendő mennyiségű hidegösszegek hiánya a fő gátja a kereskedelmi minőségű szőlő előállításának. A hosszú nyugalmi időszak tünetei a megkésett és alacsony százaléku rügyfakadás, a késleltetett virágzási szezon, a rendellenes érés, a csökkent terméshozam, a növekedési erély gyors csökkenése (Dookazalian és Williams, 1995; Lavee és May, 1997; Dookazalian, 1999). Ezeken a területeken a sikeres termeléshez elengedhetetlen a nyugalmi szakasz kémiai vagy fizikai megszakítása (Erez, 1987; Erez és Lavee, 1974).

Az átteelő vagy alvó (látens) rügyeknek a fejlődéstörténet folyamán a környezeti viszonyok függvényében kialakult, s genetikusan meghatározott sajátos fejlődési ciklusa, azon belül nyugalmi periódusa van, s a periódus jól jellemezhető fázisokra tagolódik (2. táblázat).

A nyugalmi periódus hossza fajok és fajták szerint változó. A korán fakadó és érő európai, továbbá a kelet-ázsiai fajok rügyei öntözéses viszonyok között korán, már augusztus elején belépnek a nyugalmi fázisba. Ugyanezeknek a fajoknak a fajtái száraz viszonyok között később kezdik vegetációs nyugalmi fázisukat. A későbbi érésű nyugat-európai és a pontuszi fajták csak augusztus második felében lépnek a mélynyugalmi fázisba (Kozma, 1991).

A rügyek nyugalmi fázisa a korai fakadású és érésű fajtáknál rövidebb, viszont a kései és igen kései érésű fajtáknál jóval hosszabb. A trópusi származású fajok rügyei nem lépnek a nyugalom fázisába, nem vesznek el növekedési és fakadási képességüket, mint a mérsékelt övi fajták. Ez is bizonyítja, hogy a rügynyugalom képessége a hidegebb klímaviszonyokhoz való alkalmazkodás eredménye (Kozma, 1991).

A rügyfakadás a szőlő vegetációs periódusának kezdeti szakasza, ideje több tényezőtől függ, például a szőlőfajok és -fajták sajátosságaitól, környezeti és termesztési viszonyoktól, a tőkék fiziológiai és egészségi állapotától, a rügyek helyzetétől, a tél és a tavasz hőviszonyaitól. Közelítőleg azonban elmondhatjuk, hogy a rügyfakadás akkor indul meg, amikor az adott fajta számára összegyűlik a szükséges hatásos hőösszeg. Ez fajtánként változó érték, sőt klónjaik esetében is vannak eltérések (Chuine et al., 2003).

Amikor a tavaszi nedvkeringés megindul, a szőlő föld feletti részei megtelnek vízzel és a megvágott szőlővesszőn keresztül láthatóvá válik a könnyezési nedv. A rügyek duzzadni, a hajtáskezdemények sejtjei osztódni kezdenek. A megduzzadt rügy pikkelylevelei kinyílnak, megjelenik közöttük a primordiális szerveket védő rügygyapot, majd áthatol azon a hajtáskezdemény csúcsi része, megjelennek az első levélkezdemények, s ezzel befejeződik a rügyfakadás (5. ábra). Ennek ideje Magyarországon április közepe-vége. A szőlő összetett rügyeiből többnyire csak a központi vagy főrügy hajt ki (Kozma, 1991).

A rügyfakadás fokozataival már több kutató is foglalkozott. Bos (1893) növényfenológiai értekezésében meghatározta a rügyfakadás definícióját, amely szerint az a nap, amelyen normál, ráncatlan levelek láthatóak számos helyen, a fákon, de még nem bontakoztak ki teljesen. Hasonló definíciót alkalmaztak a németországi fenológiai megfigyelésekhez (*Deutsche Wetterdienst*, 1991). Az egyik legismertebb rendszer, mely a szőlő összes fenológiai fázisát részletesen leírja, az Eichorn és Lorenz által 1977-ben elkészített 47 fokozatból álló felosztás (3. táblázat).

Az Eichorn-Lorenz-féle felosztás módosított változatát Coombe publikálta 1995-ben. Egyéb ismert rendszerek még a töke fejlődési stádiumai (Baillod és Baggolini, 1993), valamint a BBCH skála (Lorenz et al., 1994).

3. táblázat: A szőlőrügyek fenológiai stádiumai az Eichorn-Lorenz rendszer szerint a rügyfakadás és a virágzás folyamán (Eichorn és Lorenz, 1977)

Fokozat	Fenológiai stádium
EL 01	Téli nyugalmi időszak alatti alvó rügy
EL 02	A nedvkeringés megindult, a rügyek megduzzadnak
EL 03	A rügypikkelyek fokozatosan szétnyílnak és közöttük megjelenik a rügygyapot.
EL 04	A szétnyílt rügypikkelyek között már zöldül a hajtáskezdemény.
EL 05	A levélrozetta megjelenik.
EL 07	Megjelennek az első levelek rozetta alakban.
EL 19	A virágzás kezdete (a pártasapkák kezdenek fellazulni és lehullani)
EL 21	Korai virágzási stádium (a pártasapkák 25 %-a lehullott)
EL 23	Teljes virágzási stádium (a pártasapkák 50 %-a lehullott)
EL 25	Kései virágzási stádium (a pártasapkák 80 %-a lehullott)

A szőlőfajták rügyfakadásának ismeretében meghatározható, hogy egyes termőhelyekre milyen fajtákat, illetve klónjaikat érdemes telepíteni. Egyes kártevők, pl. atkák (szőlőgubacsatkák, takácsatkák és levélatkák) és kórokozók, mint a szőlőlisztharmat (*Uncinula necator* Sch. Burr.) nagy számban telelnek át a rügyekben, és rügyfakadás után a fiatal hajtásokat károsítják. Kellő időben és a rügyfakadás ismeretében végzett, célzott növényvédelemmel az általuk okozott kár jelentősen csökkenthető. Ezért a rügyfakadás időpontjának minél pontosabb becslése növényvédelmi szempontból nézve is kívánatos. A növényvédelemhez szükséges fenológiai stádiumokat Csepregi és Zilai (1988) határozták meg a rügyfakadásra vonatkozóan, a következőképpen:

„A” állapot: a rügy nyugalmi állapota

„B” állapot: a rügyek duzzadnak és a rügygyapot éppen megjelenik

„C” állapot: a rügy megnyúlik, és a vége kizöldül

„D” állapot: az első levelek kibújnak rügyből, de még a rügygyapot összetartja őket (Csepregi és Zilai, 1988).

A szőlő virágzása Magyarországon általában május vége és június közepe között zajlik, mely az elmúlt évtizedek során tapasztalt klímaváltozás és az időjárási anomáliák miatt módosulhat. Az időjárási tényezők közül elsősorban a hőmérséklet és a levegő relatív páratartalma határozza meg a szőlő virágzásának kezdetét. Jelentős eltérések vannak továbbá a *Vitis vinifera* L. és az

észak-amerikai vagy kelet-ázsiai szőlőfajok virágzási ideje, valamint a korai és későn érő fajták között (Bényei et al., 1999).



EL 01



EL 02



EL 03



EL 04



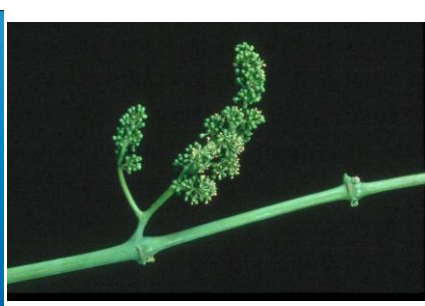
EL 05



EL 07



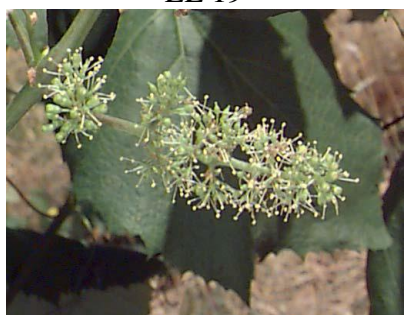
EL 19



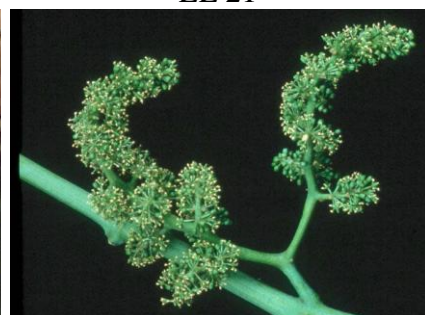
EL 21



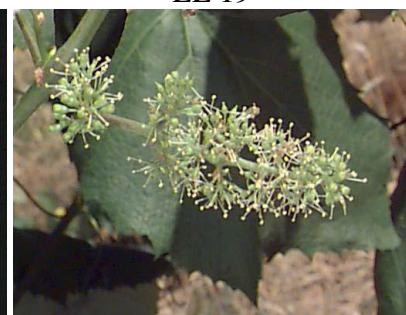
EL 19



EL 23



EL 25



EL 23

5. ábra: A rügyfakadás és virágzás fázisai az Eichorn-Lorenz rendszer szerint (Stafne és Ker, 2009). Grapevine Phenology and Data Collection, Oklahoma State University.

Forrás:

<http://www.grapes.okstate.edu/PDFs/2009/GrapevinePhenologyandDataCollection2009.pdf>

A szőlő virágzásához ideális hőmérséklet 20 és 26 Celsius fok között mozog, kedvezőtlen viszont a nagyon alacsony páratartalom száraz időjárás esetén, illetve a túlzott mennyiségű csapadék is hátrányos. A virágnyílást akkor tekintjük megkezdettnek, amikor a virágok 4-5 %-a kinyílt. A tömeges virágzás (fővirágzás) időpontját pedig arra a napra határozták meg, amikor az adott fajtánál a virágok 60-70 %-a kinyílt (Kozma, 1991; Bényei et al., 1999).

Munkánk során hosszú idősorok adataira, és így a megfigyelést végző szakemberek ítéletére támaszkodtunk. A rügyfakadás időpontját arra a napra jegyezték fel, amikor a rügyek 50%-a kipattant (EL05), a virágzást pedig arra a napra, amikor a teljes virágzás kezdetét észlelték (EL23).

2.5. Matematikai modellek és alkalmazásuk

A múlt század második felében a modellezés az ökológiai, genetikai és fiziológiai törvényszerűségek megismerésével egyidőben, azzal párhuzamosan igen gyorsan fejlődött. A terepi mérőműszerek színvonalának és megbízhatóságának rohamos növekedése jó alapot adott ehhez a fejlődéshez, ámde az egyre bővülő információmennyiség egy-egy modellbe való bevonása az ötvenes-hatvanas évek egyszerű, világos modelljeit a hetvenes-nyolcvanas évekre bonyolulttá és nehézkéssé duzzasztotta. A modellezés elmélete ebben a fázisában új megoldásokat követelt, amihez a számítógépek elterjedése adott lehetőséget és motivációt. Az ökológiai rendszerek elsősorban elméleti célból végzett biológiai-matematikai leírásától, a klasszikus értelemben vett modellezéstől elkezdtek megkülönböztetni a gyakorlati alkalmazás céljából végzett ún. szimulációt. Korábban egy modell minél általánosabb, annál értékesebb volt, egy szimuláció azonban akkor bizonyult jobbnak, ha minél több részletre terjedt ki, azaz minél specifikusabb volt. A szimulációs modellezés első képviselői (de Wit és Keulen, 1972; de Wit és Goudriaan, 1974; Passioura, 1973; de Wit, 1982) a modellezés-tudomány fejlődését új pályára terelték. A nyolcvanas-kilencvenes évek feladata az volt, hogy a túlbonyolított, kezelhetetlen rendszereket megfelelő módon leegyszerűsítsék, és jól működő, megfelelően aprólékos, ámde áttekinthető rendszereket alkossanak (Goudriaan és Zadoks, 1995).

2.5.1. A szimulációs modellek jellemzői

A múlt század végi kezdeti tapasztalatok alapján nyilvánvalóvá vált, hogy nem lehet a szimulációs modelleket egyszerűen „jó” és „rossz” kategóriába sorolni, hanem alkalmazásuk, illetve értékelésük előtt részletesen meg kell határozni (Ladányi, 2006):

- mit kívánunk modellezni (ekkor szükségszerűen kiragadunk egy általunk önkényesen középpontba állított problémakört, jelenség(csoport)ot, és azt mutatjuk be, minden mást bemenő adatnak, kimenő adatnak tekintünk, illetve elhanyagolunk);
- a modellünket hol, milyen körülményekre szeretnénk alkalmazhatóvá tenni;
- milyen célból végezzük a modellezést (tudományos kutatás, oktatás, tanácsadás);
- fiziológiai (biológiai-oksági kapcsolatokat feltáró) vagy statisztikai (mért adatok összefüggéseit leíró modellt választunk-e;
- sztochasztikus (a véletlen eseményektől való függést is ábrázoló) vagy determinisztikus szemléletet képviselünk-e;

- analitikus vagy empirikus modellt alkotunk-e (az előbbinél bizonyos törvényszerűségeket matematikailag írunk le, a hangsúly a modell valóságosnak megfelelő működésén van, az utóbbi esetben a leíró függvény alakja nem illeszkedik tudományos törvényszerűsége, ámde a függvény értékei jól közelítik a megfigyelt értékeket);
- diszkrét vagy folytonos időszemléletű legyen-e a modell, diszkrét modell esetén milyen léptéket válasszunk;
- a modellt leírásra vagy előrejelzésre szeretnénk-e használni (esetleg mindkettőre);
- milyen bemenő adatokra lesz szükségünk, ezek az adatok elérhetőek-e, illetve milyen adatkorrekcióra lesz szükségünk a megfelelő inputok előállításához (le-, illetve felskálázási problémák tisztázása);
- milyen szoftver segítségével, illetve milyen nyelven írjuk a modellt;
- milyen számítógépes támogatottságot igényel a modell futtatása.

A kérdések más-más módon való megválaszolása igen eltérő szimulációs modelleket eredményez. Ennek is köszönhető, hogy az elmúlt közel 30 év alatt a világ számos területén szimulációs modellek tízezrei születtek, egyes helyeken egész iskolák alakultak ki. Európában a leghíresebbek a holland wageningeni modellező iskola, a francia INRA intézet iskolája, illetve a német geisenheimi modellező iskola. Egy jól működő modellt más területen, más feltételekkel való alkalmazása igen nagy körültekintést igényel, erre a modellek megfelelő korrigálásával számos példát ismerünk. A szűk keresztmetszetet az esetek nagy részében nem is a modell struktúrája jelenti, hanem a szükséges bemenő adatok típusának különbözősége, elérhetősége, avagy teljes hiánya. A szimulációs modellezés ez okból részben a kutatók „lokális” problémához rendelt feladata lett.

2.5.2. A modellezés főbb lépései

- A szimulációs modellezés első lépésében a fent felsorolt kérdéseket kell tisztáznunk, azaz a céljainkat világosan meg kell határoznunk. A modell megalkotása után ez alapján végezhetjük el a modell értékelését.
- Az általunk kiemelt ökológiai–biológiai összefüggéseket matematikailag megfogalmazzuk. Ezután következhet a modell értékelése.
- Az értékelés során ellenőrizzük, hogy a modell matematikai–ökológiai–biológiai összefüggései önmagukban egymásnak megfelelnek-e (úgy „viselkedik-e” a modell, ahogy azt az ökológiai–biológiai törvények „előírják”, nincs-e benne ellentmondás);
- Ezután az elméleti modellt futtatható alakra hozzuk valamely szoftver vagy programozási nyelv alkalmazásával, és igazoljuk a célok között meghatározott érvényességi körben, hogy a futó modell elvileg helyesen működik.

- A rendelkezésünkre álló tapasztalati (kísérleti, megfigyelt stb.) adatok egy részével, mint bemenő adattal futtatjuk a modellt, s az eredményt összehasonlítjuk a bemenő adatokhoz tartozó tapasztalati adatokkal (validálás). Nagyobb modellek esetén szükség lehet a komplex modell némileg önálló egységekre való felbontására, és az egyes részmodellek külön-külön való validálására.
- A validálás során valamely függvénnyel meghatározott hibát a paraméterek megfelelő módon és mértékben való változtatásával minimálisra, illetve adott tűréshatáron alulira csökkentjük, azaz meghatározzuk az optimális paramétereket, vagy azok egy családját (kalibrálás); az előrejelzésre szánt modellezésnél az alacsony hibahatár különös hangsúlyt kap. (A kalibráláshoz és a validáláshoz más-más adatcsaládot használunk, pl. különböző évek adatait. A kalibráláshoz – megfelelő kontrollal – generált bemenő adatok is használhatóak (Wolf et al., 1995). A más célra, más körülményekre már futó modellek saját célra és környezetre való adaptációja is a kalibrálással kezdődik.
- A bizonytalansági tényezők detektálása: ökológiai modelleknél különösen is fontos figyelembe vennünk a bemenő (pl. időjárási, talaj minőségi) adatok bizonytalanságát. Megvizsgáljuk, hogy a bemenő adatok bizonytalansága a kimenő adatokban milyen bizonytalanságot eredményez. Ha a kimenő adatok bizonytalansága nagyon megnövekszik, akkor megkeressük ennek okát. Ha a bemenő adatok között magas a korreláció (hőmérséklet, csapadék, hőösszeg, stb.), akkor az a kimenő adatok bizonytalanságát növeli. Ilyenkor szükség lehet a bemenő adatok információjának tömörítésére (faktoranalízis).
- Érzékenységi vizsgálat: megvizsgáljuk, hogyan reagál a modell a bemenő paraméterek finom változtatására. Ezzel részben pontosabban kijelölhetjük a modell alkalmazhatósági területét, részben pedig kiszűrhetjük azokat a paramétereket, amelyek változására a modell nem érzékeny. A hangsúlytalan bemenő paraméterek ugyanis torzítják az optimális paraméterértékeket. Ha az ilyen paramétereket el tudjuk hagyni a modelltől, vagy (akár több ízben, különböző értékeken) rögzíthetjük azokat, akkor a validálást újra és újra el kell végezni egy feltehetően jobb eredmény reményében. A modell egyes bemenő adatokra való nagyfokú érzékenysége sok esetben elvi magyarázatot találunk.

2.5.3. A klímamodellek

A klímamodellek alapvető eszközök az éghajlati változások megértéséhez, melyek lehetővé teszik a lényeges légköri, óceonográfiai, krizoszférikus és földfelszíni adatok szintézisét, előrejelzéseket nyújtva a természetes és antropogén klímaváltozásról. A klímamodellek bonyolult, egymással szoros összefüggésben álló fizikai folyamatokat írnak le nagyszámú matematikai formulával, és így modellezik többek között a légkör és az óceán

mozgását, hőmérsékletét, sűrűségét, a levegő nyomását, páratartalmát, a víz körforgását, felhők és ciklonok képződését stb. A Föld felszínére egy képzeletbeli rácshálózatot illesztve a számításokat egy-egy rácspontra vonatkozóan végzik el. Attól függően, hogy milyen célra szeretnénk alkalmazni, ezek a modellek szolgálhatják a rövid- vagy hosszú távú előrejelzést, vagy akár az éghajlat 20-50 vagy 100 év múlva várható változásának leírását is. A modellek pontossága függ attól, hogy milyen egyszerűsítéseket alkalmaznak a fizikai folyamatok leírásánál, a mérőállomások milyen sűrűn fedik le a vizsgált területet, milyen változékonyak a domborzati viszonyok, milyen sűrű rácspontokon futtatják a modelleket stb. Ha pedig a klímaváltozást leíró modellekről beszélünk, akkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül az emberi tevékenység hatásait sem.

Az éghajlat előrejelezhetőségének és a klímaváltozás antropogén tényezőinek kutatására 1980-ban alapított Földi Éghajlatkutató Program intézménye (*WCRP – World Climate Research Programme* - <http://www.wcrp-climate.org/>) és a Meteorológiai Világszervezet (*WMO – World Meteorological Organization* - <http://www.wmo.int/pages/>) Időjárásutató Programja (*WWRP – World Weather Research Programme*) – 2008-ban összehívott egy szakértői csoportot, hogy felülvizsgálják a jelenlegi modellezés állapotát és javasoljanak stratégiát egy egységes időjárási és éghajlati előrejelzésre, napjainktól az elkövetkező évszázadokra. A csoport végső következtetése az volt, hogy a jelenlegi klímamodellek generációjának kivetítése nem elégséges ahhoz, hogy pontos és megbízható előrejelzéseket adjon a regionális éghajlati változásokról, beleértve a szélsőséges események statisztikáit és az erős időjárási hatásokat, melyek szükségesek a regionális és lokális stratégiák átültetéséhez. Egy új modellezési rendszert terveztek, amely képes előre jelezni mind a belső változékonyságot, mind a külső erőhatások változásait, valamint megjósolja a felszíni hőmérséklet-változásokat a korábbinál lényegesen nagyobb pontossággal, több dekádon keresztül, globálisan és több régióban (WMO, 2009).

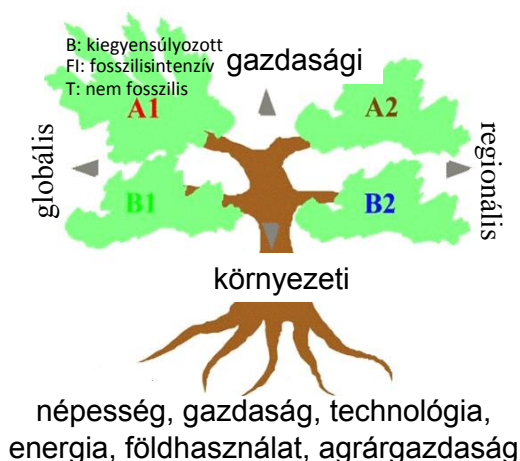
A globális klímamodellek a fizikai törvényszerűségeken túl a klimatikus viszonyokat nagymértékben befolyásoló gazdasági és társadalmi folyamatok jellemzésére szolgáló ún. alapszcenáriók ('forgatókönyvek') feltételrendszerére épülnek. A kutatók négy alapszcenáriót dolgoztak ki, ezek a következők (6. ábra):

A1: globális gazdasági szcenárió – a gazdasági-társadalmi problémákra elsősorban globális és rövidtávon is gazdaságos megoldások születnek. Ez a legsúlyosabb következményekkel járó változat, de sajnos egyelőre ez a legvalószínűbb. Ezért ezt további három részre bontották (A1F1 – fosszilis intenzív, A1B – egyensúlyban van a fosszilis üzemanyagok használata és a megújuló energiaforrásokra épülő technológiák kivitelezése, A1T – nem-fosszilis energiaforrások használata);

A2: gazdasági regionális Szenárió – a gazdasági-társadalmi problémákra elsősorban regionális és rövidtávon is gazdaságos megoldások születnek;

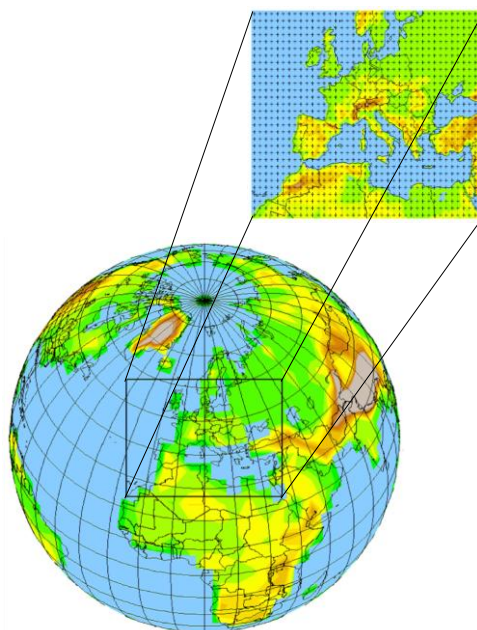
B1: globális környezeti – a gazdasági-társadalmi problémákra elsősorban globális és rövidtávon nem feltétlenül gazdaságos, a környezet védelmét előtérbe helyező megoldások születnek;

B2: regionális környezeti Szenárió – a gazdasági-társadalmi problémákra elsősorban regionális és rövidtávon nem feltétlenül gazdaságos, a környezet védelmét előtérbe helyező megoldások születnek. Ez a legkevésebb valószínű forgatókönyv, realitása igen kétséges (IPCC, 2007).



6. ábra: SRES éghajlatváltozási forgatókönyvek (forrás: IPCC, 2007)

A globális klímamodellek jellemzően 100 km (vagy annál durvább) felbontásúak. Az A1, B1 és az A2, B2 Szenáriópárok a globalizációs folyamatok felgyorsulása, illetve a régiókénti fejlődés mentén prognosztizálják a jövőt. Az A1, A2 Szenáriók esetén a gyors gazdasági fejlődés, míg a B1, B2 esetben a környezettudatos technológiai fejlesztések az elsőbbség (Harnos et al., 2008, 6. ábra). Ennek következtében a kibocsátás (s egyben a klímaváltozás mértéke) szempontjából az A1 a leginkább pesszimista és a B2 a leginkább optimista forgatókönyv. Az A1 forgatókönyv három alcsoportja (A1T, A1B, A1F1) közül a leggyakrabban az A1B emissziós Szenáriót alkalmazzák. Ez egy olyan jövőt prognosztizál, amelyben a népességszám 2050-ig gyors ütemben növekszik, eléri a körülbelül 9 milliárdos értéket, majd csökkenni kezd. Az évek során új, hatékony technológiák kerülnek bevezetésre, és a különféle társadalmak között egyre több kulturális egymásra hatás érvényesül, ennek következtében csökkennek a különböző földrajzi régiók közötti eltérések. Továbbá feltételezi a fosszilis és nem fosszilis energiaforrásokra támaszkodó energiatermelő rendszerek technológiai fejlődését. Az A1B forgatókönyv tehát egy mérsékelt optimista és egy mérsékelt pesszimista jövőkép ötvözeteként jött létre (IPCC, 2001, Harnos et al., 2008).



7. ábra: A globális klímamodellek regionális leskálázása (forrás: WMO)

Finomabb térbeli eredmények elérésének érdekében nagyobb felbontású, ún. regionális modellek is használatosak. A regionális modellekhez globális modellek szolgáltatják a futáshoz szükséges kezdeti- és peremfeltételeket. A regionális modell a durvább felbontású globális klímamodellbe beágyazva, egy kisebb régióra, finomabb felbontás mellett végzi el a számításokat, ezáltal regionális szintű információkat szolgáltat a felhasználónak (7. ábra). A RegCM3.1-gyel a beágyazásos módszert alkalmazták a regionális A1B éghajlati jövőkép elkészítéséhez az ELTE Meteorológiai Tanszékén (Bartholy et al., 2007, 2009 és 2010), ahol 2005 óta folynak RegCM-en alapuló kutatások. A módosított RegCM3.1 (Torma et al., 2011) modell futtatásához az ECHAM5 (Roeckner et al., 2003) globális éghajlati modell biztosította a kezdeti- és peremfeltételeket. Az adatbázisban elérhető adatok horizontális felbontása 10 km.

Bár a rácspontok sűrítésével előállított regionális klímamodellek bizonytalansága az idők során nagymértékben csökkent, sajnos még mindig elég magas maradt. Ez mégsem elég ok arra, hogy ne használjuk fel a jövőbeli éghajlatunkról ily módon nyert információt.

2.5.4. A fenológiai modellek

Az 1970-es évek óta felismerték, hogy a fenológia kiemelkedő szerepet játszik az ökoszisztémák produktivitásának modellezésében (Lieth, 1971). A szakirodalomban főleg az erdészeti kutatásokban találkozhatunk fenológiai modellekkel, gyümölcsfákra az ilyen jellegű kutatások még gyerekcipőben járnak. A fák rügyfakadásának idejét előrejelző modelleket az erdészetben már csaknem két évtizede széles körben alkalmazzák, hogy feltárják a globális felmelegedésnek a fák fenológiájára vonatkozó hatását (Hänninen et al., 1993; Kramer, 1994b; Hänninen, 1995; Kramer, 1995; Hänninen et al., 1996; Hänninen, 1996). Fenológiai modelleket alkalmaznak a fásszárúak szárazföldi szénkörforgalomban betöltött szerepének leírására is

(Lieth, 1971; Kramer et al., 1996; Kramer és Mohren, 1996). A fenológiai modellekben a hőmérséklet elismerten a legfontosabb szabályozó változó, mely meghatározza a rügyfakadás, valamint a virágzás időzítését.

A fenológiai modellekre szükség van az ökoszisztémák környezeti szolgáltatásának becsléséhez, előrejelzéséhez és a szükséges helyreállítást célzó stratégiák kidolgozásához is (Lieth, 1971; Kramer és Mohren, 1996; Kramer et al., 1996). Fenológiai modellek segítségével becsülhető a fagykár-kockázat a melegedő éghajlaton (Cannell és Smith, 1986; Murray et al., 1989, 1994; Prentice et al., 1991; Hänninen et al., 1993; Kramer, 1994 a, 1995; Hänninen, 1996), valamint alkalmazásukkal pontos döntéstámogató eszközök fejleszthetők ki a növénytermesztők és az újraerdősítési programok számára.

A fenológiai modellek másik fontos alkalmazási területe a fajok elterjedésének térbeli-időbeli előrejelzése az éghajlatváltozás fényében (Chuine és Beaubien, 2001). A növényeknek a környezeti feltételekhez történő alkalmazkodása erősen függ a fejlődés ütemezésétől az éghajlat szezonális változásai során. Ezért az éghajlat egyik fő, az adaptív kapacitást nagymértékben befolyásoló vonása, hogy a fenológián keresztül meghatározza a populáció éves szaporodási sikerét, ezáltal a fajok alkalmazkodóképességét és az előfordulás valószínűségét bizonyos éghajlati feltételek között (Morin és Chuine, 2005).

A 21. századra történő fajspecifikus előrejelzések néhány alapvető és alkalmazott tudományos kérdés tekintetében sarkalatos tényezőkké váltak. Az egyre megbízhatóbb fenológiai előrejelzések mind jobban növelik az ökoszisztéma-szolgáltatás és a légköri gázcsere prognózisok pontosságát, ezáltal a jövőbeli éghajlatra való visszacsatolt hatásuk predikcióit; segítségükkel jobban megértjük a populációdinamikai törvényszerűségeket többfajú interakciós rendszerekben (különösen növények és állatok között); segítenek a termeszőőknek kiválasztani azokat a fajtákat, amelyek fokozottabban alkalmazkodóképesek az új éghajlati feltételekhez (Cleland et al., 2007).

A fenofázisok kezdőpontjának előrejelzésére alkalmazható fenológiai modelleknek három fő típusát különböztetjük meg: elméleti modellek, statisztikai modellek és folyamat-alapú modellek (Chuine et al., 2003).

- Az elméleti modellek a leveleknek a gazdaságtudományokban kifejlesztett költség-haszon modellekkel kifejezhető produkciós folyamatainak alapulnak, mégpedig úgy, hogy a fák leveleinek fejlődését szimulálják, optimalizálva a biomaszanyereséget.
- A statisztikai modellek összekapcsolják a fenológiai események és a klimatikus tényezők tapasztalati megfigyeléseit számos matematikai függvény segítségével (Schwartz, 2003; Sparks és Tryjanowski, 2005).

- A folyamatalapú modellek formailag írnak le ismert vagy feltételezett ok-okozati kapcsolatokat biológiai folyamatok és néhány meghatározó környezeti faktor között.

Folyamatalapú és statisztikai fenológiai modelleket használtak a múlt éghajlati változásainak rekonstruálásához történelmi fenológiai idősorokat felhasználva, például az 1370 óta Franciaországban feljegyzett, világviszonylatban is páratlan értékű szőlő szüreti adatokra is (Chuine et al., 2004).

Hőösszegegen alapuló fenológiai modellek

A rügyfakadás időpontjára vonatkozó fenológiai modellek azon az általánosan elfogadott feltevésen alapulnak, hogy a szőlő rügyfakadását a nyugalomban ért hideghatást követően elsősorban a növényt ért hatásos hőmennyiség határozza meg (Carbonneau et al., 1992, Jones, 2003, Jones et al., 2005). A szakirodalomban számos szerző foglalkozik fenológiai modellezéssel különböző fajtákra és termesztési feltételekre. Szinte minden modellben közös, hogy egy adott időponttól kezdődően egy adott bázishőmérséklet (sok esetben 10°C) feletti hőösszegeket akkumulálnak egy kritikus érték eléréséig (Moncur et al., 1989). A léghőmérsékletből kiinduló modellek közül ismerünk lineáris és logaritmikus akkumulálódást feltételezőket is (Oliveira 1998, Riou, 1994). Nem mindegy az sem, hogy a léghőmérsékletet napi léptékkel összegezzük vagy óránkéntivel (Cortázar-Atauri et al., 2005). Ez utóbbihoz a vizsgált időszak minden napjára ismerni vagy becsülni kell a napfelkelte, illetve naplemente időpontját is. Ez után dönthetünk arról, hogy háromszög-típusú, exponenciális vagy sinusos közelítést alkalmazunk-e. Sok esetben azonban ezek a modellek a túlzott finomítást követően korántsem teljesítik az elvárt pontosságot a nagyszámú szükséges paraméterbecslés miatt (Cortázar-Atauri et al., 2009). Fontos szempont az is, hogy az akkumulálást mely időponttól kezdjük. A szakirodalomban a legelterjedtebb ezt január elsejére választani (Riou, 1994; Bindi et al., 1997a, b).

Az első hőösszegszámításokon alapuló, fenológiai terminushoz kötött osztályozást Amerine és Winkler fejlesztette ki a Kaliforniai Egyetemen 1944-ben (2.6.1. fejezet, 7. táblázat). A Winkler-skála hőösszegzési módszerként ismert, a szőlőtermesztő régiók éghajlatának osztályozására használatos (Amerine és Winkler, 1944). Eszerint ha a régiókat a tenyészidőszak alatt (április 1-től október 31-ig) naponta, °C-ban mért, a 10°C bázishőmérsékletet meghaladó hőösszegek (*growing degree days*) alapján definiáljuk, eredményül öt régiót kapunk, amelyek a hidegtől a meleg éghajlatig terjedő, szőlőtermesztésre alkalmas területeket és a legjobb eredménnyel termeszthető szőlőfajtákat tartalmazzák (Jones, 2007).

Az 1950-es években már Baggolini (1952) is foglalkozott hőösszegszámításon alapuló modellel, de az igazi áttörés csak a 90-es évek vége felé történt. Ezt intenzív tudományos és

szimulációs munka követte a növények éghajlati hatásokra adott fenológiai válaszainak vizsgálatával (Hänninen, 1990, 1991, 1995, 1996; Hänninen et al., 1993).

Az ún. *Growing Degree Day (GDD)* modell a klasszikus hőösszeg-eg gondoláson alapul (Bonhomme, 2000; Saloni, 2002), azaz az akkumulált napi átlaghőmérsékletet számolják ($T_{\text{átlag}}$) a bázishőmérséklet ($T_{\text{bázis}}$) felett, január elsejétől kiindulva. A rügyfakadás akkor történik meg, amikor a modell elér egy kritikus értéket.

Riou (1994) modellje gyakorlatilag Pouget (1968; 1988) modelljének javított változata. Itt a napi léptékű hőösszegszámítás helyett óránkénti összegzést alkalmaznak, amit a napi minimum- és maximum-hőmérsékletekből számítanak, feltételezve egy szinuszos hőmérsékleti választ nappalra és egy parabolikus választ az éjszakai időszakra. A nappalhosszúságot Sellers (1965) asztronómiai formulájával számítják ki. A rügyfakadás akkor történik meg, amikor az óránként összegezett hőmennyiségek elérik a kritikus értéket.

A folyamatalapú modellek már a kényszernyugalmi időszak során is leírják a növényben lezajló folyamatokat, és összekapcsolják azokat a később, a mélynyugalmi állapot megtörését követően, a külső faktorok (általában a hőmérséklet) hatására történő fejlődési- sejt-növekedési folyamatokkal. Chuine és Cour (1999) eredményei ugyanis azt mutatják, hogy a mélynyugalom során akkumulálódott hideg hőösszegek gyorsítják az életfolyamatok beindulását, ha egyszer a mélynyugalmi állapot megtört. Más szóval általában a mélynyugalom alatt nagyobb mennyiségű hidegösszeg akkumulálódását követően a kényszernyugalomban kevesebb hőösszeg is elegendő a rügyfakadáshoz. Ezt igazolják a különböző kísérleti eredmények, melyeket különböző fajokról kaptak (Nienstaedt, 1966; Farmer, 1968; Nelson és Lavender, 1979; Mauget, 1983; Heide, 1993; Hänninen és Backmann, 1994; Myking és Heide, 1995). Ez az egyik oka annak, hogy a hideghatást is figyelembe vevő hőösszegmodellek általában olyan területeken alkalmazhatók nagy sikerrel, ahol minden évben számíthatunk megfelelő hideghatásra, és ez a hideghatás nem túlságosan nagy, illetve nem túlságosan elhúzódó. Tipikusan ilyen például a Kárpát-medence vidéke.

Az ún. Brin-modellt két, gyümölcsfákhoz használt modell kombinációjából származtatják (Liennard, 2002; Cortázar-Atauri et al., 2005): a mélynyugalmi periódust Bidabe (1965 a, b) hideghatás-modellje (*Cold Action model*), a kényszernyugalmi periódust pedig Richardson és munkatársai (1974, 1975) módszerével előállított óránkénti hőösszegzéssel (*growing degree hours* – GDH) számolták ki. A rügyfakadás ideje akkor következik be, amikor az óránkénti hőösszegzés a kritikus összeget eléri, amit a mélynyugalom megszűnésétől számítanak. A mélynyugalom megszűnése akkor történik meg, amikor a hideg hőösszegegységek elérnek egy kritikus összeget. A hideg hőösszegek akkumulációja augusztus vagy szeptember elsejével indul, ami számos tanulmányon alapul (Alleweldt, 1963; Nigond, 1967; Champagnol, 1984; Pouget,

1963, 1988), melyek azt bizonyítják, hogy a rügyek augusztus elsejét követően kerülnek mélynyugalomba, művelésmódtól függetlenül. Tegyük hozzá, hogy a meleg, illetve forró nyári periódusnak az akkumulációra nincs befolyásoló hatása az északi féltekén (Cortázar-Atauri, 2009), ezért terjedt el a szeptember elsejétől való akkumulációs eljárás is, ami így lényegében azonos az augusztus elsején indulóval.

Néhány modell csak a kényszernyugalmi időszak hőösszegeit veszi figyelembe, mint például a *Thermal Time* modell (Cannell és Smith, 1983), de nevezik *Spring Warming* modellnek is (Hunter és Lechowicz, 1992). A mélynyugalom és a kényszernyugalom hőösszegeit is figyelembe veszi a *Parallel* modell (Landsberg, 1974; Hänninen, 1990; Kramer, 1994b), a *Sequential* modell (Sarvas, 1974; Hänninen, 1990; Kramer, 1994 b), és az *Alternating* modell (Murrey et al., 1989).

Az újabb, folyamatalapú modellek főleg a kényszernyugalom és a mélynyugalom fázisa folyamán a hőmérsékletre adott válasz típusában különböznek (Chuine et al., 2003).

Chuine és munkatársai (1999) rügyfakadási modelleket teszteltek abból a célból, hogy kiválasszák azokat, amelyek a megfigyeléseket a legjobban alátámasztják, valamint, hogy meghatározzanak új, előrejelzésre alkalmazható modelleket. A fenológiai modellezéshez négy alapvetően szükséges lépést fogalmaztak meg: (1) a modell meghatározása, (2) az adatgyűjtés, (3) a modell beállítása az adatokhoz és (4) a modell hipotézisének tesztelése.

Adattípus szerinti fenológiai modelltípusok

A szakirodalom feldolgozása során a modellezéshez használt fenológiai adatok típusa szerint négy csoportot különítettünk el:

1. Megfigyelés a természetben vagy ültetett populációkban (Cannell és Smith, 1983; Nizinski és Saugier, 1988; Hunter és Lechowicz, 1992; Kramer, 1994 a, b; Häkkinen et al., 1995);
2. Klónok megfigyelése különböző környezetben - fenológiai kertek (Schnelle és Volkert, 1974; Kramer, 1995);
3. Üvegház kísérletek (Perry és Wang, 1960; Nelson és Lavander, 1979; Maugét, 1983; Murray et al., 1989; Hänninen et al., 1993; Heide, 1993; Cecih et al., 1994; Hänninen, 1996; Myking és Heide, 1995);
4. Pollen emisszió mérése a légkörben, ami jelzi a populációk virágzásának idejét (Boyer, 1973; Richard, 1985; Andersen, 1991; Frenguelli et al., 1992; Chuine et al., 1998).

Fenológiai modellek a klímaváltozás hatásának kutatásában

A fenológiai modelleknek a klímaváltozás hatásainak kutatásában való alkalmazásai az 1980-as években láttak először napvilágot.

Chuine és munkatársai (1999) nyolc modell, különböző fajokra végzett összehasonlító vizsgálata után arra a következtetésre jutottak, hogy nincs olyan egyszerű modell, mely minden faj rügyfakadását és virágzását pontosan előrejelzi. Ez azt jelenti, hogy minden lehetséges modellt tesztelni kell minden fajra. A különböző fajok különbözőképpen válaszolhatnak az éghajlati melegedésre, és így változtatják a versenyképességüket (Kramer, 1994 a b). Mindazonáltal a legjobb lehetséges előrejelző modell jellemzői a következők:

(1) a kritikus kényszernyugalmi hőösszeg és a mélynyugalmi hőösszeg egymással negatív exponenciális kapcsolatban van,

(2) a rügyfejlődésre gyakorolt hőmérsékleti hatás szimulálásához a kényszernyugalmi és mélynyugalmi hőösszeg-függvények használata alkalmasabb (Hänninen, 1990) az egyszerű hőösszeg és hidegösszeg számítások helyett és végül

(3) a kényszernyugalmi hőösszeg a kényszernyugalom kezdetétől hatékony és nem a mélynyugalom kezdetétől.

Az utóbbi évtizedben a klímaváltozás hatásainak kutatása céljából napvilágot látott különböző fenológiai modellek térbeli és időbeli összehasonlító vizsgálatait Cortázar-Atauri és munkatársai (2009) végezték el.

2.6. A klímaváltozásnak a szőlőtermesztésre gyakorolt hatásai

2.6.1. *Klimatikus indikátorok*

A szőlőtermesztésben a termőhelyek jellemzésére és a szőlő igényeinek kifejezésére többféle klimatikus indikátort, illetve ezek kombinációját alkalmazzák. Ezeket az indikátorokat előszeretettel használják az évtizedes adatsorokkal rendelkező vizsgálatoknál egyrészt az éghajlat változásának meghatározásához, bizonyításához, másrészt az egyes terroárok jellemzésére is.

Az indikátoranalízis során az egyes időjárási paraméterek függvényeiként olyan mesterséges időjárási paramétereket definiálunk, melyek közvetlenül kapcsolhatók a növényi válaszadás karakteréhez. Az indikátorok értékeinek részletes időbeni és térbeli eloszlásának elemzésével az indikátorok által magyarázott növényi válaszadás lényegesen pontosabban írható le. A klimatikus indikátorok analízise ezen felül a klímaváltozás hatásvizsgálatának módszertanában is jelentős szerepet tölt be. Ha ugyanis megfelelő, a klímaváltozás által leginkább érintett (specifikus) indikátorokból álló halmazt állítunk elő, akkor ezek további megfigyelésével az éghajlatváltozásnak az adott területen fellépő tünetei nyomon követhetőek. Ha pedig a jövőre vonatkozó klímamodellek regionális leskalázásából nyert adatokból is előállítjuk ezeket az indikátorokat, akkor nélkülözhetetlen információhoz jutunk a jövőben várható változásokról (Carter et al., 2007). Az ilyen jellegű információkból a jövőbeni termesztetőségi feltételekre, illetve a kockázati tényezőkre következtethetünk.

Az indikátoranalízis egyik legfontosabb feltétele, hogy viszonylag hosszú idősorok álljanak rendelkezésre. Az elemzés sikerét döntően befolyásolja az adatok minősége is. Számos szerző alkalmazza ezt a módszert a szakterületének megfelelő specifikus indikátorok bevezetésével (Bootsma et al., 2005 a, b). Indikátorok szántóföldi, erdészeti és gyümölcs növényekre éppúgy használhatók, mint rovarokra vagy gerinces állatokra (Erdélyi, 2009, Erdélyi et al., 2008, 2009, Koocheki et al., 2006, Salinger et al., 2005, Diós et al., 2009).

Mivel a szőlőfajták az optimális minőségi-mennyiségi elvárásoknak megfelelően jobbra egy viszonylag szűk területen, jellemző éghajlati körülmények között termesztetők, a klimatikus indikátorok változásai a termés minőségi-mennyiségi, illetve a terméssel kapcsolatos gazdasági kockázat alapját képezik. Jóllehet, sok még a bizonytalanság a jövő éghajlatváltozásában, szükséges becsülnünk az éghajlat hatásait néhány széles körben elfogadott éghajlati indikátorral. A továbbiakban a teljesség igénye nélkül bemutatom a szakirodalomban fellelhető klimatikus indikátorok közül a legfontosabbnak ítélt

- 13 hőmérsékleti indikátort (Huglin-index, Winkler-index, biológiailag hatásos hőösszeg, átlaghőmérséklet januárban, júliusban, a tenyészidőszakban, illetve az érésidő alatt, átlagos maximum- és minimumhőmérséklet a tenyészidőszakban, átlagos maximumhőmérséklet a szüretidő alatt, téli minimumhőmérséklet, hűvös éjszaka index, kontinentalitás [$^{\circ}\text{C}$]);
- 16 extrémális indikátort (extrém meleg, meleg, nyári napok száma, fagyos, jeges napok száma télen, szőlő fagyindex és súlyos fagyindex, tavaszi, őszi fagyos napok száma, Gladstones-féle fagyindex, Wolf-Boyer-féle fagyindex, napi hőmérsékletingadozás júliusban, áprilisban, a szüretidő alatt, Zorer-féle hőingás, valamint Riberau-Gayon-Peynaud Index), továbbá
- 7 csapadékindikátort (éves, nyári, téli, a tenyészidőszakra, a virágzásra, illetve az érésidőre vonatkozó csapadékmennyiség [mm], a tenyészidőszak csapadékos napjainak száma [nap]).

A szakirodalmi gyűjtés-feldolgozás után az 4. táblázatban a hőmérsékleti, a 9. táblázatban az extrémális, a 10. táblázatban pedig a csapadékkal kapcsolatos indikátorokat foglaltam össze. A hivatkozásokat a táblázatban az indexek neve mellett adom meg, továbbá feltüntetem az angol nyelvben használatos elnevezésüket, rövidítésüket, valamint a mértékegységüket. Meghatározom az indikátorok általunk használt számításának módját is.

A számítási mód megadásának azért is van jelentősége, mert ugyanazon a néven elterjedt klimatikus indikátorok számítási módja egyes esetekben különbözhet abban az értelemben, hogy azt napi vagy havi adatokból számítják. Munkám során minden esetben a pontosabb, napi adatokból számolt indikátorokat állítottam elő, azaz a képletekben szereplő T_{\min} , T_{\max} , $T_{\text{átlag}}$ értékek napi minimum-, maximum- és átlaghőmérsékleteket jelentenek.

Magyarországi viszonyok között a szőlészeti szakemberek által leggyakrabban alkalmazott jelzőszámok a tenyészidőszak hatásos hőösszege és az Huglin-féle heliotermikus index. A tenyészidőszak hatásos hőösszegének meghatározásához tudni szükséges a tenyészidőszak hosszát napokban mérve. Erre többféle módszer ismert, melyekre részletesebben a 3.6 fejezetben tértek ki. A szőlőfajták hőösszegigényük alapján csoportosíthatóak (5. táblázat).

Hőmérsékleti indikátorok

4. táblázat: A szőlőtermesztésben alkalmazott hőmérsékleti indikátorok

Hőmérsékleti indikátorok, jelölések, mértékegységek, hivatkozások	Meghatározása
Heliotermikus- vagy Huglin-index (<i>HI</i> , [°C], Huglin, 1978, 1986)	$HI = \sum_{\text{Apr.1.}}^{\text{Szept.30.}} \frac{[\max(0; (T_{\max} - 10)) + \max(0; (T_{\text{átlag}} - 10))]}{2} * K$ <p>K=1,05 Magyarország szélességi fokán</p>
Winkler-index (<i>WI</i> , [°C]) (Amerine és Winkler, 1944, Winkler et al, 1974, Riou, 1994)	$WI = \sum_{\text{Apr.1.}}^{\text{Okt.31.}} \max[(T_{\text{átlag}} - 10); 0]$
Biológiailag hatásos hőösszeg (<i>Biologically Effective Day Degrees - BEDD</i> , [°C], Gladstones, 1992, 2000)	$BEDD = \sum_{\text{Apr.1.}}^{\text{Okt.31.}} \max[\min(T_{\text{átlag}}; 19) - 10; 0]$
Júliusi átlaghőmérséklet (<i>Mean July Temperature - MJuT</i> , [°C], Dry és Smart, 1988)	$MJuT = \text{Átlag } (T_{\text{átlag}})_{\text{Július1-31.}}$
Januári átlaghőmérséklet (<i>Mean January Temperature - MJaT</i> , [°C])	$MJaT = \text{Átlag } (T_{\text{átlag}})_{\text{Január1-31.}}$
Tenyészidőszak átlaghőmérséklete (<i>Growing Season Average Temperature - GSAT</i> , [°C], Jones és Goodrich, 2008)	$GSAT = \text{Átlag } (T_{\text{átlag}})_{\text{Apr.1-Okt.31.}}$
Tenyészidőszak átlagos maximum-hőmérséklete (<i>Growing Season Average Maximum Temperature - GSATX</i> , [°C], Jones és Goodrich, 2008)	$GSATX = \text{Átlag } (T_{\max})_{\text{Apr.1-Okt.31.}}$
Tenyészidőszak átlagos minimum-hőmérséklete (<i>Growing Season Average Minimum Temperature - GSATN</i> , [°C], Jones és Goodrich, 2008)	$GSATN = \text{Átlag } (T_{\min})_{\text{Apr.1-Okt.31.}}$
Szüretidei átlagos maximumhőmérséklet (<i>Harvest Maximum Temperature - HMX</i> , [°C], Webb et al., 2005, Happ, 1999)	$HMX = \text{Átlag } (T_{\max})_{\text{Jún.1.-Szept.30.}}$
Téli minimumhőmérséklet (<i>Winter Minimum Temperature - WMN</i> , [°C], Webb et al., 2005, Happ, 1999, Suthurst et al., 2000)	$WMN = \text{Min } (T_{\min})_{\text{Dec.1-Feb.28.}}$
Érésidei átlaghőmérséklet (<i>Ripening Average Temperature - RAT</i> , [°C], Jones és Goodrich, 2008)	$RAT = \text{Átlag } (T_{\text{átlag}})_{\text{Aug.15-Okt.15.}}$
Hideg éjszaka index (<i>Cool Night Index - CNI</i> , [°C], Tonietto és Carbonneau, 2004)	$CNI = \text{Átlag } (T_{\min})_{\text{Szept.1-30.}}$
Kontinentalitás (<i>Continentality - CO</i> , [°C], Gladstones, 1992)	$CO = MJuT - MJanT$

5. táblázat: Szőlőfajták csoportosítása a hatásos hőösszegigényük alapján a teljes érésig (Botos és Hajdu, 2004)

Hatásos hőösszeg	Érési kategóriák
690–850°C	Nagyon korai érésű fajták
850–1150°C	Korai érésű fajták
1150–1350°C	Közepes érésű fajták
1350–1600°C	Kései érésű fajták
1600°C felett	Nagyon kései érésű fajták

Az Huglin-index (*HI*) a 40-50° szélességi körök között változó fotoperiódust, valamint a napi középhőmérsékletek és a napi maximális hőmérsékletek együttes hatását is figyelembe veszi (Kozma, 1991). Az Huglin-index értékek szerint termőhelytípusok osztályait definiálhatjuk (6. táblázat).

$$BEDD = \sum_{\text{Apr.1.}}^{\text{Okt.31.}} \max[\min(T_{\text{átlag}}; 19) - 10; 0]$$

6. táblázat: Az Huglin-index értékek szerint csoportosított termőhelytípusok (Tonietto és Carbonneau, 2004)

Huglin-index [°C]	Osztály neve
$HI \leq 1500$	Nagyon hideg
$1500 < HI \leq 1800$	Hideg
$1800 < HI \leq 2100$	Mérséklet
$2100 < HI \leq 2400$	Meleg mérséklet
$2400 < HI \leq 3000$	Melegtől a nagyon melegig
$3000 < HI$	Forró

A Winkler-index (*WI*) szerint a szőlőtermesztő régiókat is osztályozhatjuk. Winkler és munkatársai (1974) a földrajzi területeket öt éghajlati régióra osztották (7. táblázat).

7. táblázat: A Winkler-index értékek szerint csoportosított termőhelytípusok (Amerine és Winkler, 1944, Winkler et al., 1974)

Winkler-index [°C]	Régiók
$HI \leq 1390$	I. Hűvös
$1391 < HI \leq 1670$	II. Mérsékelt
$1671 < HI \leq 1940$	III. Meleg mérsékelt
$1941 < HI \leq 2220$	IV. Meleg
$2220 < HI$	V. Forró

A biológiailag hatásos hőösszeg (*BEDD*) az egyszerű, bázishőmérséklet feletti hőértékeket akumuláló hőösszegtől annyiban különbözik, hogy figyelembe vesz egy ún. felső bázishőmérsékletet is, egy olyan küszöbértéket, mely felett a növény már feltehetőleg nem képes a teljes hőösszeget hasznosítani (Gladstones, 2000).

A júliusi középhőmérséklet (*MJuT*) hatással lehet a bogyó cukor- és savtartalmának változására. A fajták érési sorrendjétől függően július hónapban befejeződik a zsendülés utolsó ciklusa, és megkezdődik az érés, azaz a cukorfelhalmozódás időszaka. Az érést a hűvös, csapadékos időjárás hátráltatja, a beérés minőségét csökkenti; míg a napos, meleg időjárás siettet a folyamatot, a beérés minőségét pedig fokozza (Kozma, 1991).

A januári középhőmérséklet (*MJaT*) a kényszernyugalmi időszak kezdetéről ad információt. Ismeretes ugyanis, hogy a rügyek csak a kedvezőtlen, hideg, fagyos időjárás miatt maradnak nyugalomban (Kozma, 1991).

A tenyészidőszak átlagos (*GSAT*), maximum- (*GSATX*) és minimumhőmérséklete (*GSATN*) a növény reprodukív életciklusában meghatározza a fenológiai fázisok dinamikáját.

A szüretet megelőző időszakban, június 1-től szeptember 30-ig mérik az ún. szüretidei maximumhőmérsékletek átlagát (*HMX*), mely a felmelegedéssel különös jelentőségű lehet, hiszen a növényt ért hőstresszről ad információt.

A téli minimumhőmérséklet-indikátor (*WMN*) december és február között a tél hőviszonyairól ad információt, ami a szőlő növekedésére, fejlődésére, a rügyfakadás időpontjára is hatással van, valamint a téli fagykockázat számításának egyik alapja.

Az érésidei középhőmérséklet-indikátor (*RAT*) az augusztus 15-e és október 15-e közötti átlaghőmérsékleteket összegzi. Az érési időszak alatt a levegő hőmérséklete meghatározó szerepet játszik az aroma és színanyagok kialakulásában, és kiemelkedő jelentőségű a bor karakterének formálásában (Jackson és Lombard, 1993).

A nappali hőmérséklet befolyásolja a színeződést, de a hűvös éjszakai hőmérsékleti feltételek még erőteljesebben hatnak rá (Singleton és Esau, 1969; Kliewer és Torres, 1972; Kliewer, 1973; Tomana et al., 1979; Fregoni és Pezzutto, 2000). A szőlő érési periódusában számított átlagos minimumhőmérséklettel (*Cool Night Index – CNI*) következtetni lehet egy-egy régió potenciális jellegzetességeire a bor másodlagos anyagcseretermékeire (polifenolokra, aromákra, színanyagokra) vonatkozóan (Tonietto és Carbonneau, 2004). A hideg éjszaka index értékei alapján létrehozott osztályokat az 8. táblázatban láthatjuk.

8. táblázat: Hideg éjszaka index értékei alapján létrehozott osztályok (Tonietto és Carbonneau, 2004)

CNI [°C]		Besorolás
CNI<12	Hideg éjszakák	CNI+2
12<CNI<14	Hűvös éjszakák	CNI+1
14<CNI<18	Meleg éjszakák	CNI-1
18<CNI	Forró éjszakák	CNI-2

A kontinentális hatás mérésére fejlesztette ki Gladstones a kontinentalitás indikátort (*CO*), ami a júliusi és a januári középhőmérséklet különbsége.

Extremális indikátorok

Az extrémális indikátorok (9. táblázat) közül a 35 °C feletti maximális hőmérsékletű *extrém meleg* napok száma (*NEHD*), a 30 °C feletti maximális hőmérsékletű *meleg* napok száma (*NHD*) és a 25 °C feletti maximális hőmérsékletű *nyári* napok száma (*NSD*) a növényt ért hőstressz mértékéről nyújt információt. A klímaváltozás hatásának vizsgálatokor kiemelten fontos

megvizsgálni, hogy a múltban hogyan változtak ezek az értékek, illetve a jövőben emelkedésüket vagy csökkenésüket várhatjuk-e.

A fagyos napok száma (*NFD*) a 0 °C alatti minimumhőmérsékletű napokat adja meg, míg a jeges napok száma (*NID*) a -10 °C alatti napokét. A szőlő különböző súlyosságú fagykockázatának szempontjából különösen fontos a -8 °C, illetve a -15 °C alatti minimumhőmérsékletű napok száma, ezeket a szőlő fagyindex (*F8D*), illetve a szőlő súlyos fagyindex (*FS15D*) tartalmazza. Az *NFD* értéket a tavaszi, valamint az őszi fagyos napok számával összehasonlítva tájékozódhatunk arról, hogy ez utóbbiak milyen arányban vannak az éves értékhez képest. A jeges napok számából a téli fagykockázatra következtethetünk. Ha az *NID* értékek szignifikánsan csökkennek, akkor a fagykockázat is csökken, ami természetesen nem zárja ki a kis valószínűséggel előforduló, ám nagy károkat okozó események megjelenésének lehetőségét.

A tavaszi fagyos napok számának megadásakor (*NSFD*) azokat a napokat vesszük figyelembe március 1-je és május 31-e között, melyeken a minimumhőmérséklet kisebb, mint 0 °C. A 0 °C és -3 °C közötti lehűlés ugyanis súlyosan károsítja az éppen kifakadt rügyeket, vagy már az intenzíven növekvő hajtásokat a rajtuk fejlődő virágzatokkal együtt (Hajdu és Borbásné Saskői, 2009).

Az őszi fagyos napok száma (*NFFD*) a szeptember elseje és november 30-a közötti 0°C alatti minimumhőmérsékletű napokat jelenti. A mérsékelt égövön, ahol kontinentális klíma uralkodik, gyakran korán beköszöntenek a fagyok. Ezek az ún. kora őszi fagyok lombhullás előtt érkeznek, lerövidítve a természetes vegetációt. Ekkor a középkései és kései érésű fajták tőkéin még érnek a szőlőfürtök és a szőlővesszők (Hajdu és Borbásné Saskői, 2009).

A tavaszi fagyindex meghatározására két indikátort ismertettünk. A Gladstones-féle tavaszi fagyindex (SFI_{Glad}) esetében az áprilisi átlagos maximumhőmérsékletek és átlagos minimumhőmérsékletek átlagából az ugyanebben a hónapban mért minimális hőmérsékletet vonjuk ki, míg a Wolf-Boyer féle tavaszi fagyindexben (SFI_{WB}) a minimumhőmérsékletek átlagát vonjuk ki. Az indikátorok szerkezetének oka, hogy nagyobb felmelegedés esetén enyhébb fagy is hasonló károkat tud okozni, mint hűvösebb időszakban egy súlyosabb fagy. Nagyobb SFI_{Glad} , illetve SFI_{WB} értékek nagyobb fagykockázatot indikálnak.

9. táblázat: A szőlőtermesztésben alkalmazott extrémális indikátorok

Extrém indikátorok, jelölések, mértékegységek, hivatkozások	Meghatározása
Extrém meleg napok száma (<i>Number of Extremely Hot Days - NEHD</i> , [nap], ápr. 1-okt. 31.)	Extrém meleg napok: $T_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$
Meleg napok száma (<i>Number of Hot Days - NHD</i> , [nap], ápr. 1-okt. 31.)	Meleg napok: $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$
Nyári napok száma (<i>Number of Summer Days - NSD</i> , [nap], ápr. 1- okt. 31.)	Nyári napok: $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$
Fagyos napok száma (<i>Number of Frost Days - NFD</i> , [nap])	Fagyos napok száma nov. 1- okt. 31.: $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$
Jeges napok száma (<i>Number of Icy Days - NID</i> , [nap])	Jeges napok száma nov. 1- okt. 31.: $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$
Szőlő fagyindex (<i>Vitis Frost Risk Days, F8D</i> , [nap])	Szőlő fagyindex nov. 1- okt. 31.: $T_{\min} < -8^{\circ}\text{C}$
Szőlő súlyos fagyindex (<i>Vitis Serious Frost Risk Days, FS15D</i> , [nap])	Szőlő súlyos fagyindex nov. 1- okt. 31.: $T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$
Tavaszi fagyos napok száma (<i>Number of Spring Frost Days - NSFD</i> , [nap], márc. 1- máj. 31.)	Március elseje és május 31-e közötti olyan napok száma, amikor a minimumhőmérséklet $< 0^{\circ}\text{C}$
Őszi fagyos napok száma (<i>Number of Fall Frost Days - NFFD</i> , [nap], szept.1- nov. 30.)	Szeptember elseje és november 30-a közötti olyan napok száma, amikor a minimumhőmérséklet $< 0^{\circ}\text{C}$
Gladstons-féle tavaszi fagyindex (<i>Spring Frost Index - SFI_{Glad}</i> , [$^{\circ}\text{C}$], Gladstones, 2000)	$SFI_{Glad, \text{Ápr.}} = \frac{\text{Átlag } T_{\max} + \text{Átlag } T_{\min}}{2} - \min_{\text{Ápr.}} T_{\min}$
Wolf-Boyer féle tavaszi fagyindex (<i>Spring Frost Index - SFI_{WB}</i> , [$^{\circ}\text{C}$], Wolf and Boyer, 2003)	$SFI_{WB, \text{Ápr.}} = \frac{\text{Átlag } T_{\max} + \text{Átlag } T_{\min}}{2} - \text{Átlag } (T_{\min})_{\text{Ápr.}}$
Júliusi hőmérsékleti terjedelem (<i>Diurnal Range - DR</i> , [$^{\circ}\text{C}$], Hong et al., 1992, Katz, 1988)	$DR = T_{\max, \text{Júl.}} - T_{\min, \text{Júl.}}$
Áprilisi átlagos napi hőingás (<i>Mean April Daily Range - MADR</i> , [$^{\circ}\text{C}$], Smart és Dry, 1980)	$MADR = \text{Átlag}_{\text{Ápr.}} (T_{\max} - T_{\min})$
Szüreti átlagos napi hőingás (<i>Mean Harvest Daily Range - MHDR</i> , [$^{\circ}\text{C}$], Smart és Dry, 1980)	$MHDR = \text{Átlag}_{\text{Aug.15-Okt.15.}} (T_{\max} - T_{\min})$
Érésidei napi hőingás összege (<i>Sum of Daily Temperature Excursion - ET</i> , [$^{\circ}\text{C}$], Zorer, 2008)	$ET = \sum_{\text{Jún.1.}}^{\text{Okt.31.}} (T_{\max} - T_{\min})$
Ribéreau-Gayon-Peynaud Index (<i>RGP</i> , Jones és Davis, 2000 a b; Ribéreau-Gayon és Guimberteau, 1996 a)	$RGP = \sum_{i=\text{Ápr.1.}}^{\text{Okt.31.}} \max[(T_{\text{átlag},i} - 10); 0] - \text{Csapadék}_i$

A hőmérsékleti terjedelem (*DR*) július hónap során a havi maximum- és minimumhőmérséklet közötti különbséget méri, vagyis értékeiből a havi hőmérsékletingadozásra következtethetünk. Túlságosan magas hőingás nagyobb stresszel jár a növény számára, túlságosan kicsi pedig az éjszakai lehűlés kielégítetlen mértékére utalhat.

Az áprilisi átlagos napi hőingás (*MADR*) a rügyfakadás idején, a szüretidei átlagos napi hőingás (*MHDR*) pedig a szüretet megelőző, illetve a szüret idején létrejövő hőmérsékletingadozásról ad információt.

Az érésidei napi hőmérsékletingadozás összege (*ET*) a június 1-je és október 31-e közötti napi maximum- és minimumhőmérsékletek közötti különbségeket kumulálja, és így az érés és a szüret ideje alatti hőmérsékletingadozásról tájékoztat.

A Riberau-Gayon-Peynaud indexet (*RGP*), melyet más néven becsült evapotranspirációs indexnek is neveznek, Bordeauxban használják a bor sav-cukor összetételének előzetes becslésére (Ribereau-Gayon et. al., 1975, 1976, Peynaud és Ribereau-Gayon, 1971). Jones és Davis (2000 a b), valamint Jones és Storchman (2001) számos fajta esetében megmutatták, hogy a becsült evapotranspirációs index értékével szoros korrelációban áll a gyümölcs szüreti cukor- és savtartalma.

Csapadék indikátorok

Az éves csapadékmennyiség (*AR*) egy átlagos, közelítő értéket ad, mely alapján meghatározható, hogy az adott termőhelyen elegendő csapadék hull-e a szőlő számára egy évben. Azonban ha arra vagyunk kíváncsiak, hogy nyáron, télen, a tenyészidőszakban, vagy akár a virágzás és az érés alatt mennyi csapadék jut a szőlőnek, akkor a nyári csapadékmennyiséget (*SR*), a téli csapadékmennyiséget (*WR*), a tenyészidőszak csapadékmennyiségét (*GSR*), a virágzás ideje alatti csapadékmennyiséget (*BPR*) és az érésidő alatti csapadékmennyiséget (*RPR*) is számításba kell venni. A tenyészidőszak csapadékos napjainak száma (*GSRD*) szintén alapvető információt nyújt egy-egy termőhely lehetséges agroökológiai potenciáljához. A környezet páratartalma hat az asszimiláció mértékére, a cukor- és savképződésre, a bogyó tömegének alakulására. A túl sok nedvesség kitolja az érés idejét, a kevés nedvesség viszont akadályozza a fotoszintézist, csökkenti a cukor áramlását a bogyó felé, ami akadályozza az érést és a bogyó méretének gyarapodását (Kozma, 1991).

Az itt felsorolt éghajlati indikátorokon kívül a szakirodalomban még számos indikátort lelhetünk fel, és találkozhatunk azok alkalmazásaival. Ilyenek például a Branas-féle heliotermikus index (1946), a Dunkel-Kozma-Major-féle (1981) radiotermikus index, a csapadék-hőviszony index, a hidrotermikus koefficiens, a bioklimatikus index stb. (Kozma, 1991). Ezek a klimatikus indikátorok azonban olyan paramétereket is felhasználnak, melyeket a

regionális klímamodellek napi becslései nem tartalmazznak, így a klímaváltozás hatásainak kutatásában kevésbé alkalmazhatóak, s emiatt közlésüktől el is tekintünk.

10. táblázat: A szőlőtermesztésben alkalmazott csapadék indikátorok

Csapadék indikátorok, jelölések, mértékegységek, hivatkozások	Meghatározása
Éves csapadékmennyiség (<i>Annual rainfall - AR</i> , [mm], van Bruggen and Semenov, 1999, Kellett et al., 2005)	Január 1-től december 31-ig lehullott csapadék mennyisége mm-ben
Nyári csapadékmennyiség (<i>Summer rainfall - SR</i> , [mm], Nicholas et al. 1994)	Június, július hónapokban hullott csapadék mennyisége mm-ben
Téli csapadék (<i>Winter Precipitation - WR</i> , [mm])	November elsejétől március 31-ig hullott csapadék mennyisége mm-ben
Tenyészydőszak csapadéka (<i>Growing Season Precipitation - GSR</i> , [mm], Sabatelli és Stendardi, 1981, Salinari et al., 2006)	Április elsejétől október 31-ig hullott összes csapadék mennyisége mm-ben
Virágzáskori csapadék (<i>Bloom Period Precipitation - BPR</i> , [mm])	Május 15-e és június 15-e között lehullott csapadék mennyisége mm-ben
Érésidő alatti csapadék (<i>Ripening Period Precipitation - RPR</i> , [mm], Allen C. G., 2005)	Augusztus 15-e és október 15-e között lehullott csapadék mennyisége mm-ben
A tenészydőszak csapadékos napjainak száma (<i>Number of Growing Season Rain Days - GSRD</i> , [nap], Salinari et al., 2006)	Április elsejétől október 31-ig az összes csapadékos nap száma

2.6.2. Megfigyelések, prognózisok a világ különböző tájairól

Számos európai szőlőtermesztő régióban évszázadok óta feljegyezték a hőmérsékleti megfigyelésekkel együtt az ezektől nagyban függő szüreti adatokat. Ezek az adatok a regionális hőmérsékleti anomáliák egyik leghosszabb idősorát nyújthatják kronológiai bizonytalanságok nélkül. Franciaországban, Burgundia borvidékein a szüreti időpontokat gondosan regisztrálták a plébániákon és a községi archívumokban a korai 13. század óta. Chuine és munkatársai (2004) egy javított és frissített szüreti adatsort készítettek a burgundiai borvidékről az 1370 és 2003 közötti értékeket feldolgozva, rekonstruálva a Kelet-Franciaországban előfordult tavaszi-nyári hőmérsékleti anomáliákat. A historikus megfigyelésekre egy folyamatalapú fenológiai modellt használtak. A vizsgálatot a Pinot noir fajtára végezték el, amely Burgundia kimelt fontosságú fajtája, és legalább a 14. század óta folyamatosan termesztik ezen a borvidéken. A vizsgálat eredményeként több meleg periódust is meghatároztak a több mint 630 éves időintervallum alatt. Például az 1520-as években, valamint az 1630-as és 1680-as évek közötti periódus melegebb volt, mint a 20. század vége. Az 1680-as évek magas hőmérsékleti eseményeit egy lehűlés követte, ami az 1750-es években kulminálódott. Példátlan esemény a 2003-as év nyarán bekövetkezett, bizonyított anomália. Ez 5,86°C fokkal melegebb volt, mint a referencia-időszak (1961-1990) átlaga, a következő legmagasabb hőmérsékletű anomália a teljes perióduson 4,10°C volt, 1523-ban (Chuine et al., 2004).

Az utóbbi évtizedek melegedésének mértéke erősen eltér a régiók között. A világ 27 legjelentősebb borvidékeinek hőmérsékleti adatait elemezve Jones és munkatársai (2005 a), azt tapasztalták, hogy az elmúlt 50 évben átlagosan 1,3°C fokkal emelkedett a tenyészidőszakok hőmérséklete. Nagyobb felmelegedés volt az USA nyugati részén és Európában, kisebb a felmelegedés Chilében, Dél-Afrikában és Ausztráliában. 2,5°C foknál nagyobb átlagos hőmérséklet-emelkedés következett be az Ibériai-félszigeten, Dél-Franciaországban, valamint Washington állam egyes részein és Kaliforniában.

A Globális Historikus Éghajlati Hálózat (*GHCM - Global Historical Climatology Network*) archív adatait, a jövő éghajlatainak modellszimulációit (HadCM3 A2 scenárió esetén) és az évjáratok értékelését felhasználva Jones és munkatársai (2005) négy pontban fogalmazták meg következtetéseiket a világ minőségi bortermelése és a klímaváltozás vonatkozásában:

1. 1950-től 1999-ig a vegetációs időszak átlagos hőmérséklet-növekedése a világ legjelentősebb borvidékein átlagosan mintegy 1,26 °C .
2. Míg a lehető legjobb minőségre való törekvések kétségtelenül hozzájárultak a jobb szőlészeti és borászati gyakorlathoz, a régiók többségében olyan éghajlati változásokat figyeltek meg, melyek az évjáratok minőségi arányait jelentősen befolyásolták. Az évjáráthatás 10-60 %-a magyarázható a vegetációs időszak hőmérséklet-változásaival. Az ennek legjobban kitett területek a hideg éghajlati övben találhatóak, elsősorban a németországi Mosel és Rajna völgyében.
3. 12 bortermelő vidék vegetációs időszakának hőmérsékleti paraméterei már meghaladják az optimális értékeket, ami már negatív évjáráthatással jár. Emellett számos más borvidék éghajlata az optimum felé közelít, egyre jobb kilátást nyújtva a régióknak.
4. A HadCM3 éghajlati modell a 2021-2050-es periódusra a legkiválóbb borvidékek hőmérsékleti paramétereire átlagosan 1,24 °C-os melegedést prognosztizál az 1951-2000-es időszakhoz képest. Míg a 20. század megfigyelt melegedése főleg a minőségi bortermelésnek volt előnyös világszerte, a jövőbeli éghajlatváltozás hatása erősen heterogén lesz fajták és régiók esetében. Néhány régióban a melegedés meghaladhatja a fajtaspecifikus optimumhőmérséklet küszöbét, így a kiegyensúlyozott gyümölcsérés a jelenlegi bortermelési módok mellett a későbbiekben nem feltétlenül lesz biztosítható, ami nagy kihívást jelent majd a hagyományos minőségi bortermelők számára (Jones et al., 2005).

Jones és munkatársai (2005) a szőlő fenológiájának változását és az éghajlatváltozással összefüggő kapcsolatát is vizsgálták kilenc európai ültetvényben. 1952 és 2004 közötti időszakból származó fenológiai idősorok felhasználásával összefoglalták a megfigyelt fenológiai jellegzetességeket, valamint a változás irányát számos fajta és régió esetében Franciaországban (Elzász, Reims, Burgundia, Bordeaux), Olaszországban (Conegliano), Spanyolországban

(Valladolid, Pontevedra), Németországban (Geisenheim) és Szlovákiában (Dolné Plachtince). A fenológiai jellemzők és trendek elemzéséhez egyszerű leíró statisztikákat és lineáris trendszámításokat használtak. Eredményeik:

- a fenológiai események szignifikánsan korábbi előfordulása (8-16 nappal);
- rövidebb intervallumok az egyes események között (4-14 nappal) a legtöbb régióban;
- a változások jellemzően nagyobbak a minimum-hőmérsékletekben, mint a maximum-hőmérsékletekben;
- 1,7°C fokos átlaghőmérséklet-emelkedés a tenyészidőszakban, közel 300 egységnyi hatásos hőösszeg és Huglin-index érték növekedés az elmúlt 50 évben;
- a változások egyértelműen befolyásolják a szőlő fenológiai ciklusát.

Cahill és munkatársai (2007) Kaliforniában a borszőlőfajták termésmennyiségét és -minőségét vizsgálták a klímaváltozásnak a szőlészeti-borászati ágazatra vonatkozó lehetséges hatásainak a leírására, valamint az alkalmazkodási stratégiák rangsorolására. Saját fejlesztésű modelleket használtak historikus éghajlati és termésmennyiségi adatokra, majd ezeket alkalmazták klímamodellekre és különböző éghajlati scénáriókra, hogy megbecsüljék a jövőbeli kaliforniai borszőlő-hozamokat. Arra a következtetésre jutottak, hogy a térségükre előrevetített hőmérséklet-emelkedés miatt az elkövetkező évszázad során számos terület lekerülhet a jelenleg optimális klimatikus feltételekkel rendelkező régiók listájáról, ami az eddig megszokott minőségi bortermelést helyi lehetőségeit megkérdőjelezi.

Ausztráliában a szőlészeti-borászati ágazat a leggyorsabban fejlődő vidéki iparág, több mint 5 milliárd dollár éves bruttó bevétellel, melynek több mint fele export. Az előrejelzések szerint 2030-ra 0,3 és 1,7°C fok közötti éves átlaghőmérséklet-emelkedés várható a térség számos szőlőtermesztő vidékén. 2070-re az éves átlagos hőmérséklet-emelkedés már 0,8 és 5,2°C között lesz. Az előrejelzett hőmérséklet-emelkedés nem lesz egységes az Ausztrál kontinensen sem. Nagyobb melegedés lesz a kontinens központi régióiban és kisebb a partközeli területeken. Webb és munkatársai (2005) a hőmérséklet-emelkedés hatását vizsgálták ausztráliai szőlőültetvényekben regionális klímamodellek alapján. A tanulmány fő célja az volt, hogy a hőmérséklet és a szőlőminőség, valamint -mennyiség közötti kapcsolatot vizsgálják. Elemzéseik szerint a növekvő hőmérsékletnek negatív hatása lesz a szőlő minőségére, de a hozam növekedni fog. Az összefüggést regressziós modellekkel igazolták az összes termesztett prémium fajtára, bemutatva a fajták sajátos hőmérséklet-érzékenységét, végül adott melegedést feltételezve azonosították a szőlőtermesztésre a jövőben alkalmas régiókat.

Új-Zélandon az IPCC 2007-es jelentése 2050-re a levegő átlaghőmérsékletének 1-2 °C fokos emelkedését prognosztizálja, és egyre szélsőségesebb éghajlati események bekövetkezése várható. Az ország keleti felére az átlagosnál gyakoribb és hosszabb szárazságot becsülnek. Az

elmúlt 75 éven keresztül Marlborough tartomány borvidékein az éves átlagos hőmérséklet 12,4°C fokról 13,3°C-ra emelkedett. Ha ez a trend tovább folytatódik, komoly hatása lesz a szőlőtermesztésre, különösen a régió vízhiányos részein. A kevesebb csapadék további beruházási igényeket támaszt a hiányos vízforrással rendelkező régiókban (Greven et al., 2007).

Kínában 2004-ben 450 000 hektáronon termesztettek szőlőt. Ebből a kiváló minőségű szőlőt termő területek jóval kisebb területet foglalnak el. Li és munkatársai (2007) Kína 14 szőlőtermesztő régióját választották ki, és országos meteorológiai adatok elemzésére alapozva az elmúlt 45 évre vonatkozóan indikátorokként vizsgálták a fagymentes napokat, a takarási vonalat (azt a határvonalat, ahol a szőlőt már takarni szükséges, mivel télen a hőmérséklet minimuma -15°C alá süllyed), a tenyészidőszak átlagos hőmérsékletét és a tenyészidőszak hatásos akkumulált hőösszegét. Ezek az adatok jól tükrözték a globális felmelegedés hatását Kína szőlőtermesztésére. Munkájuk során az alábbi következtetésekre jutottak:

5. Az elmúlt 45 évben, különösen az 1980-as évek után a fagymentes napok száma észrevehetően nőtt, a szőlő tenyészidőszaka meghosszabbodott, a fagykár valószínűsége csökkent. A takarási vonal észak felé húzódott, és a takarást igénylő területek összezsugorodtak.
6. A fenti indikátorok eloszlása a régiókban igen különbözőképpen változott Kína változatos terepviszonyai miatt. A fagymentes napok száma a sík területeken (pl. alföld és fennsík) szignifikánsan emelkedtek, ám még jelentősebb változás tapasztalható azokon a területeken, ahol a talajszint hirtelen emelkedik.
7. Az elkövetkező 50 évre készült jelentésük szerint Kína legtöbb területén termesztethető lesz a szőlő, kivéve néhány területet Észak-Kínában.
8. Mivel Kína a kontinentális monszun éghajlati típusba tartozik, nyáron a hőmérséklet magasabb, mint ugyanennek a földrajzi szélességnek a többi területén. Így a szőlőtermesztés alkalmasságának eldöntéséhez az átlaghőmérsékletet és a hatásos hőösszeget alkalmazták mint indexeket. Még ha a szőlőtermesztés követelményei meg is felelnek az átlaghőmérséklet és a hatásos hőösszeg kritériumainak, először a fagymentes napok számát kell figyelembe venni, hogy a szőlőtermesztés alkalmassága bizonyítható legyen (Li et al., 2007).

2.6.3. Hazai tapasztalatok és kilátások

Magyarországon Kőszeg városa rendelkezik egyedülállóan hosszú szőlőfenológiai feljegyzésekkel. A Szőlő Jövésnek Könyvébe 1740 óta minden év Szent György napján bevezetik a fakadó szőlő fenológiai stádiumát, azaz egy kézzel festett képet készítenek a hajnalban szedett kőszegi szőlőhajtások április 24-ei állapotáról. Mivel azonban nem a rügyfakadás konkrét időpontja van feljegyezve, így a hagyományos matematikai modellek számára ilyen formában ezek az adatok sajnos nem használhatóak fel.

Hajdu Edit és munkatársai 45 éves meteorológiai és rügyfakadási adatokat gyűjtöttek össze 1962 és 2006 között, majd értékelték abból a célból, hogy a szőlőre és környezetére ható éghajlatot, időjárást és annak jellemzőit bemutassák. Kecskeméten az egykori FVM Szőlészeti és Borászati Kutatóintézetében, Katonatelepen és Miklóstelepen dr. Fűri József vezetésével 1962-ben állították fel az Európában is szabványos meteorológiai észlelőkeretet, melyben léghőmérsékletet, talaj hőmérsékletet 2-50 cm mélységig, a szélirányt és a szél erősségét, a lehullott téli és nyári csapadék formáját és mennyiségét, a levegő nedvességét, valamint a napsugárzást mérték. Következtetéseik feltehetően nemcsak a Kecskeméten és környékén található szőlőültetvényekre, hanem mindazokra a magyar borvidékekre vonatkozhatnak, ahol kontinentális klíma uralkodik. Ezeken a borvidékeken az abiotikus stresszhatások fokozottan jelentkeztek az 1990-es évektől, melyeket a mérési adatok is alátámasztanak. Abiotikus stresszhatásoknak nevezzük a tavaszi fagyokat, a száraz aszályos nyarakat, az egyszerre lezúduló nagy mennyiségű csapadékot, a következtében kialakuló talajeróziót, áradásokat és belvizeket. Ennek következményei lehetnek a korábbra tolódó rügyfakadás, a tavaszi fagykárak, a virágok hiányos termékenyülése, aszályos nyarakon a hősokk és napperzselés. A túl sok csapadék a szőlő betegségeit, a csapadékhiány a rovarok felszaporodását, károsítását és a szőlő rendellenes tápanyag-gazdálkodását fokozta. Az időjárási elemek és a szőlőnövény közötti kapcsolatot nagymértékben befolyásolta a fajta és a művelésmód (Hajdu és Borbásné Saskói, 2009).

Az utóbbi években egyre gyakrabban tapasztalhatjuk azt, hogy a szőlő hajtásai a májusi melegben a megszokottnál gyorsabban fejlődnek. A virágok az intenzív hajtásnövekedés eredményeként a megszokottnál több nappal korábban nyílhatnak. A többnyire kedvező körülmények hatására lerövidül a virágnyílás időszaka; javulnak a megporzás és a megtermékenyülés feltételei (a jobb fényviszonyok egyébként a rügyek termékenységet is fokozzák). Nemcsak a virágzás, a termésérés ideje is korábbra tevődik át. Az átlaghőmérséklet emelkedésével javulhat a beérési mustfok. A nyári hónapok középhőmérsékletének 1°C-kal való emelkedése a must cukortartalmában literenként 20 - 30 gramm többletet, savtartalmában 2-3 ezrelék csökkenést jelenthet. A meleg időben intenzívvé válik a színanyagok képződése és a szabad aminosavak lekötődése (Kozma, 1991; Zanathy, 2008).

Magyarországon a tenyészidőszakban lehulló 500-600 mm átlagos évi csapadékmennyiség elegendő a szőlőnek (Bényei et al., 1999). A csapadék évi összegben csak kevéssel csökken, de az éven belüli megoszlása igen előnytelenül alakul. A jövőben várhatóan nyáron és ősszel, amikor a természet amúgy is kiszárad, a csapadék tovább csökken, s ezt a téli-tavaszi többlet csak részben ellensúlyozza. Az egyes szőlőfajták szárazságtűrő képessége különböző, így eltérő mennyiségi és minőségi teljesítménnyel reagálnak a vízhiányos körülményekre. A csapadék főként nyári csökkenéséből, a napfénytartam és a hőmérséklet emelkedéséből egyértelműen

következik az aszályok gyakoriságának növekedése (Teszlák et al., 2009). Egy korábbi számítás szerint (Mika, 1988) az 1881 és 1980 közötti időszak adatai alapján már 0,5 °C globális melegedéshez a 30%-os talajnedvesség-küszöb alá eső hónapok számának csaknem 60%-os megnövekedése tartozott. Ezt az is előidézi, hogy a kevesebb csapadék úgy áll elő, hogy jóval ritkábban fordul elő csapadék, viszont a csapadékos napok átlagos hozama egy kicsit növekszik. Csakhogy a rövid idő alatt hulló nagy csapadék egy része elfolyik, nem hasznosul (Teszlák et al., 2009).

A nyári aszály következtében a növény növekedése leáll, kisebb fűrt- és bogyótömeg várható. A szőlő várható termőképességének értékelésekor számításba kell venni a túl erős napsugárzás, a hosszan tartó hőség, és a levegő alacsony páratartalmának káros hatásait is (Hajdu és Borbásné Saskói, 2009). Hazánkban a több napfény és hő hatására magasabb alkoholtartalmú, színanyagban gazdagabb vörösborok készíthetők. Megnő azonban az esélye annak, hogy egyes fehérborszőlő-fajták terméséből jellegtelen, savban szegény, a kellénél nagyobb alkoholtartalmú, de illat- és zamatanyagban szegényebb borok készülnek. Ezért jelentősen átalakulhat a fajtaszerkezet: a csemegeaszőlő- és kései érésű borszőlőfajták nagyobb szerepet kaphatnak, és nőhet a vörösbort adó fajták aránya (Zanathy, 2008).

Vélhetőleg azok a szőlőfajták adnak majd kiemelkedő teljesítményt, melyek jól bírják a szárazságot (Cabernet sauvignon, Karát, Kármin, Kövidinka, Sauvignon blanc, Zengő) és a fagyot (Bianca, Cabernet franc, Chardonnay, Rajnai rizling, Duna gyöngye, Czerszegi fűszeres, Generosa, Zalagyöngye) (Bényei et al., 1999; Hajdu és Borbásné Saskói, 2009). Várható a szőlőültetvények gyorsabb előregedése, várható legmagasabb életkoruk csökkenése is. A melegebb és szárazabb éghajlat a termesztéstechnológia megváltoztatását is szükségessé teszi: É-D irányú sorvezetés, magasabb tőszám, kisebb fűrtterhelés, alacsonyabb művelésmód, talajtakarás. Fokozott figyelmet kell fordítani a vízellátottságra, a termésbiztonság növelése érdekében érdemes az öntözőrendszer kiépítése, a gépesítettséget az ediginél magasabb színvonalúra indokolt emelni (Harnos et al., 2008).

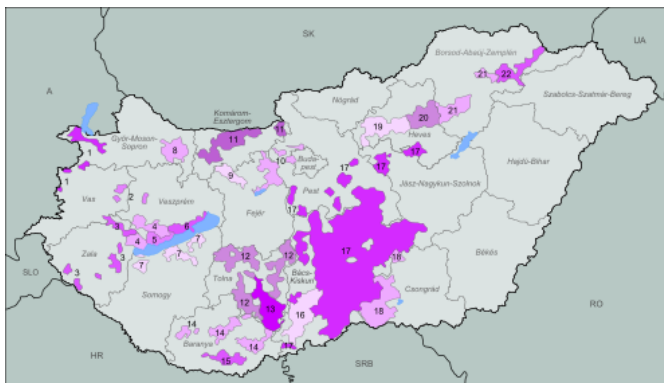
A szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbá válásával mind több kárt okoznak majd a termésben a heves esőzések, szélviharok és jégesők. A korábbi érés miatt az eddigieket felülmúló darázskártétellel kell számolnunk. Eddig nem tapasztalt növényvédelmi problémákkal is szembe kell néznünk. A legnagyobb nehézséget minden bizonnyal a déli szőlőtermesztő országok szőlőkárosítóinak a megjelenése jelenti majd (Zanathy, 2008). Példa erre a *Scaphoideus titanus* kabócafaj hazai megjelenése. A kabóca közvetlen károsítása nem jelentős, viszont súlyos gazdasági kárt okoz a szőlő aranyszínű sárgasága (Flavescence dorée) fitoplazma terjesztésével, melynek specifikus vektora ez a kabócafaj (Zsolnai, 2006).

3. ANYAG ÉS MÓDSZEREK

3.1. A kísérleti adatok felvételezésének helyszínei

A modellezéshez felhasznált adatok két helyről származnak. A helvéciai adatsort Pernesz György, a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (korábban Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal) -továbbiakban NÉBIH- Szőlő-Gyümölcs Fajtakísérleti Osztályának vezetője ajánlotta fel, azzal a céllal, hogy a kísérleti állomás fajtakísérleteiből származó adatokat esetleges fenológiai változások kimutatására felhasználjuk. Az adatok kiértékelése után célunk volt eredményeinket megerősíteni más ültetvényekből származó hosszabb adatsorokkal is. Így jutottunk hozzá a Kecskemétriől származó adatokhoz, melyet Dr. Hajdu Edit bocsájtott a rendelkezésünkre.

Mindkét adatsorunk a Duna Borrégióon belül a Kunsági borvidékről származik (8. ábra). A Duna Borrégió Magyarország legnagyobb szőlő- és bortermelő tájegysége, melyet az Alföldi termőtájon található Csongrádi-, Hajós-Bajai és Kunsági Borvidékek Hegyközségi Tanácsai alapították 2002. év elején. A régió a három borvidék hegyközségi tanácsainak konzultív szerve. Területileg Magyarország középső részén, a Duna és Tisza folyók által meghatározottan, három borvidék, a Csongrádi-, a Hajós-Bajai valamint a Kunsági borvidék területét foglalja magában. A régió öt megye – Bács-Kiskun, Csongrád, Heves, Jász-Nagykun-Szolnok és Pest megye – és négy statisztikai régió dél-alföldi, észak-alföldi, észak-magyarországi és a központi – területét érinti több-kevesebb mértékben.



8. ábra: Magyarország borvidékei, a 17-es számú a Kunsági borvidék
([http://hu.wikipedia.org/wiki/Bor_\(ital\)](http://hu.wikipedia.org/wiki/Bor_(ital)))

A Duna Borrégió területére jellemző az immunis meszes homoktalaj, változó minőségű altalajjal, de jelentős területen található lösz, öntéstalaj és a gödöllői dombság déli nyúlványainak kötött talaja is. Az immunis homoktalajon zömében saját gyökéren él a szőlő.

A termelt szőlők fajtaösszetételében meghatározó, mintegy 70 % a fehérbor-szőlő fajták aránya, 25 % a vörösbort adó fajtáké, de ez borvidékenként jelentősen eltér. A maradék öt százalékot a csemegeszőlő fajták teszik ki. Több mint 70 a termesztett szőlőfajták száma,

ugyanakkor a terület 77 %-át 15 olyan fajta foglalja el, melynek a termőterülete meghaladja az 500 hektárt, de például Kékfrankos szőlőt több mint 3500 hektáron szüretelnek. Az említett 15 fajta nagyobbik része hungarikum (Borvidéki értesítő, 2003).

Az adatok forrásául szolgáló helvéciai és kecskeméti szőlőültetvények a dél-alföldi régióban, a Kunsági borvidék Kecskemét-Kiskunfélegyháza körzetéhez tartoznak. A Kunsági borvidékre a dunai eredetű, meszes homokjellemző. Az eredetileg kialakult mezőségi és réti talajokat többnyire lepelhomok takarja. Gyakoriak a sülevényes, humuszban szegény, homokbuckás területek. A talajvízszint általában magas (2-5 m).

A 2000-2004 között felvételezett adatok a Nemzeti Élelmiszerbiztonsági Hivatal Helvéciai Kísérleti Állomásáról származik.

A kecskeméti kísérlet adatok felvételezésének helyszíne a Budapesti Corvinus Egyetem Szőlészeti és Borászati Intézetének Kecskeméti Kutatóállomása, Katonatelepen. A termőhelyi kataszter szerinti besorolás II/2 osztály/193./8. számú felvételezési egység. Az ültetvény tengerszint feletti magassága 122 m. A terület kitétsége: síkvidék.

3.1.1. A kísérleti ültetvény talajadottságai

Helvécia

NÉBIH Kísérleti Telephelye Helvécián található, a dél-alföldi régióban. Helvécia a Duna borrégióon belül a Kunsági borvidék része. Termőföldje homokos, alacsony, 0,34 %-os humusztartalommal (Pernes, 2004). Arany-féle kötöttségi értéke 27. Gyengén lúgos kémhatású, pH 7,7-7,8.

Kecskemét

A kecskeméti termőhely talajtípusa humuszos homok, a talajképző közet alluviális és glaciális üledék. Szénsavas meszet tartalmaz. A talaj fizikai félesége homok. Nagy víznyelésű, gyenge vízraktározó és víztartó talaj. Talajvíz a növény által elérhető közelségben nincs. Humusztartalom 50-100 t/ha. A termőréteg vastagsága kisebb, mint 100 cm. A talaj homogénnek tekinthető, 60-70 %-ban egyöntetű. Defláció veszély nincs.

3.1.2. A kísérleti ültetvények jellemzése

Helvécia

A vizsgálat alanyául szolgáló parcellákat eredetileg alapfajták és klónjaik összehasonlítására, értékelésére hozták létre. Ennek megfelelően, minden parcella 4 db 150 m hosszú sorból áll. Minden sor 6 részre van bontva, melyben 6 darab, lehetőleg egy fajtakörbe tartozó alapfajta és ennek klónjai vannak eltelepítve összehasonlítás céljából oly módon, hogy sorrendjüket a 4 sorban keverve alakították ki. Tehát ugyanarra szakaszra nem kerül újra ugyanaz a fajta vagy

klón. Minden fajtából illetve klónból 25-25 tőke található minden sorban. A sortávolság 3 m, a tőtávolság 1 m, így a tenyészterület $3\text{m}^2/\text{tőke}$.

A sorok É-D irányúak. Az egysíkú tamberendezést fa végoszlopokkal és 100 cm magas kartartó huzalokkal létesítették. A tőkék kordonművelésűek, egy 100 cm magasságú tőketörzsből és egy vízszintesen rögzített tőkekarból állnak. A metszésmód cserecsapos váltómetszés. Minden fajtát és klónt ugyanarra az alanyra oltották, hogy a kísérlet eredményeit ne befolyásolja, nevezetesen a Teleki 5C alanyra.

Kecskemét

A vizsgált ültetvény parcelláiban a sorok hossza 180 m, az ültetvény sűrűsége 10 tőke/parcella. A sortávolság 3 m, a tőtávolság 1,2 m, így a tőkék tenyészterülete $3,6\text{ m}^2$. A sorok vezetése ÉNY – DK irányú. A tamberendezést fa végoszlopokkal és fakaróhoz rögzített rozsdamentes acélhuzalokkal létesítették. A végoszlopok hossza 2,8 m, ebből 70 cm a talajba süllyesztettek. A tamberendezés magassága 2,1 m. A tőkék magas kordonművelésűek, 120 cm-es törzsmagassággal. 2000-ig a kordonkarokon Sylvoz metszést, 2001-től ernyőművelést alkalmaztak, szálvesszős metszésmóddal, két szálvessző meghagyásával. Az ültetvény homok területen van, ahol nincs filoxéravész, ezért saját gyökerű szaporítóanyaggal történt a fajták telepítése.

3.1.3. A kísérleti ültetvények kezeltsége

Helvécia

Az vizsgált ültetvényt 1997-ben telepítették. A telepítés évében a területet szerves trágyával töltötték fel. Az ültetvény ezen felül tápanyagpótlást nem kapott. A sorközt kultivátorozással tartják gyommentesen, a soralját kapálással és/vagy vegyszeres gyomirtással kezelik. A növényvédelmet tervszerűen végzik, lisztharmat és peronoszpóra ellen csak járványveszélyes időben kellett védekezni. A betakarítás kézi szedéssel, ládával történik.

Kecskemét

A vizsgált ültetvényeket 1987-ben telepítették. A tápanyagutánpótlás talaj-és levélanalízis alapján történik. Ezt kiegészíti a növényvédelmi permetezéssel egyidőben kijuttatott Wuxal lombtrágya. A fitotechnikai műveletek közül évi három törzstisztítást, egy hajtásválogatást, két csonkázást és háromszor hajtásigazítást végeznek.

Gyomirtást évente öt alkalommal végezne tárcsázással, a korábbi években a tárcsázást kétszeri talajmarózás is kiegészítette. A sorok gyomirtását 1995-ig kézzel végezték, 1996-tól viszont vegyszeres gyomirtást alkalmaznak. A kísérleti ültetvényeket átlagosan évente nyolc permetezésben részesítik, kombináltan a gombabetegségekkel és kártevőkkel. A különlegesen járványos években, pl. 1995-ben, a permetezések száma 12 volt.

A betakarítás a gépi és kézi szüret kimbinációja, vagyis a szüreti munkákat kézzel végézik, a leszüretelt termést géppel szállítják a feldolgozóba.

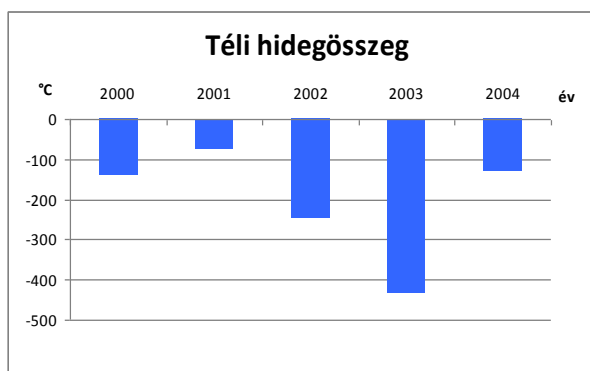
3.2. A vizsgálat ideje, az évjáratok jellemzése

A meteorológiai adatok az Országos Meteorológiai Szolgálat Kecskeméttől 15 km-re lévő, 1973 óta működő K-pusztai mérőállomásáról (48° 58' N, 19° 33' E, 126 m) származnak. A mérőhely tagja a Meteorológiai Világszervezet és az EMEP hálózatának, kalibrálása és karbantartása a vonatkozó WMO ajánlások szerint történik. A mérőhely típusa: QLC-50 automata meteorológiai állomás, 10 percenkénti adatközléssel (hőmérséklet, szélirány, -sebesség, légnedvesség, csapadékösszeg).

Helvécia 1999 ősztől 2004 őszéig

A helvéciai fenológiai adatok 2000 és 2004 között lettek feljegyezve. Az öt évjárat meteorológiai jellemzéséhez a Helvéciahoz legközelebb álló OMSz mérőállomás adatait használtuk fel.

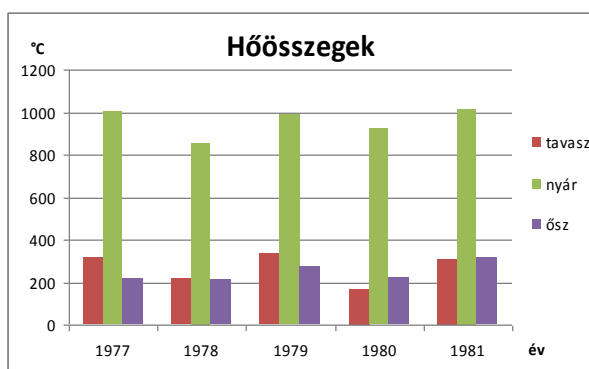
A 2000 és 2004 között mért hőmérsékleti és csapadék adatok alapján a következők állapíthatók meg. A téli hidegösszegek alapján (9. ábra) a leghidegebb tél 2002-2003-ban volt (433 °C fagypont alatti átlaghőmérséklet-összeeggel), s ebben az évben köszöntött be legkorábban az első fagyos éjszaka (2003.10.16.). A második helyen a 2001-2002-es év áll 247 °C fagypont alatti hidegösszeeggel, de a legkésőbb érkező fagyos napokkal (2002. 12. 08-10). Az 1999-2000-es és 2003-2004-es évek hidegösszeg értékei közel azonosak (138,5 °C és 129,5 °C), az első 0 °C alatti hőmérsékletet 2000-ben október 21-én, 2004-ben november 15-én mérték. A 2000-2001-es év a legenyhébb telet produkálta (téli hidegösszeg 74,5 °C).



9. ábra: A fagypont alatti átlaghőmérséklet-összegek Helvéciaán 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004 telén

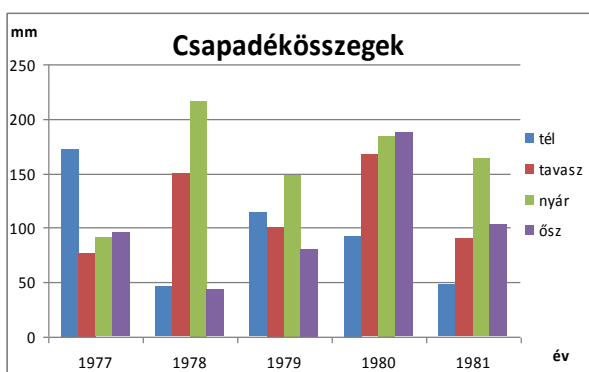
A legmelegebb nyarak 2003-ban (1161 °C nyári hőösszeg), 2002-ben (1087 °C nyári hőösszeg), illetve 2001-ben (990,5 °C nyári hőösszeg) voltak a 10°C feletti átlaghőmérséklet-összegek alapján (10. ábra). Tehát a leghidegebb tél és a legmelegebb nyár egyazon évjáratához, a 2003-ashoz kapcsolódik. Ezeket az éveket követi a 2004-es év 902 °C nyári hőösszeeggel, végül a

leghűvösebb nyár a 2000-es volt, mintegy feleakkora hőösszeggel (534,5 °C), mint a 2002-es és 2003-as évek.



10. ábra: A +10 Celsius fok fölötti átlaghőmérséklet-összegek Helvécián a 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 évek vegetációs periódusai alatt, évszakonként (tavasz: márc.-máj.; nyár: jún.-aug.; ősz: szept.-nov.)

Az öt év csapadékvizszonyait tekintve a leghűvösebb nyár során, azaz 2000-ben esett a legkevesebb csapadék (284,51 mm) Bács-Kiskun megye területén. Ennek nagyobb része (221,36 mm) a téli és a tavaszi hónapokban hullott, míg nyáron összesen 35 mm-t mértek. 2001 viszont a második legcsapadékosabb év lett, 572,54 mm-rel, majd ismét visszaesett a csapadékmennyiség, 2002-ben már csak 353,69 mm volt. 2003-ban az éves csapadék mennyisége ebben a megyében 460,63 mm volt, 2004-ben pedig 583,6 mm-rel a legmagasabb értéket mérték az öt év tekintetében (11. ábra).



11. ábra: Éves csapadékösszegek évszakos felbontásban Helvécián 2000 és 2004 között (tél: dec.-febr.; tavasz: márc.-máj.; nyár: jún.-aug.; ősz: szept.-nov.)

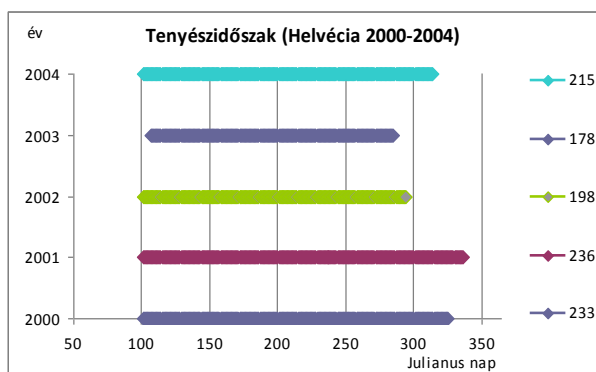
A tenyészidőszakszámítást többféle módon végezhetjük, erre a 3.5 fejezetben még visszatérünk. Itt most a szőlészetben alkalmazott interpolációs módszerrel meghatározott tenyészidőszak számítási módszer (Csepregi, 1997) eredményeit közlöm. A tenyészidőszakokat összehasonlítva megállapítható, hogy Helvécián a két leghosszabb tenyészidővel a 2000-es (233 nap) és 2001-es évek (236 nap) rendelkeznek (11. táblázat, 12. ábra). Ez jóval több, mint a Magyarországon sokévi átlagban mért 185-200 nap. A 2002-es év 198 napos tenyészidőszaka átlagosnak tekinthető. A 2003-as év 178 napos értéke hazai viszonylatban már átlagon alulinak

mondható. A 2004-es év ismét átlagon felüli, 215 napos tenyészidővel. Az öt év átlaga 212 nap, ami a hosszú tenyészidejű kései fajták igényeit is kielégítik (Bényei et al., 1999).

11. táblázat: A tenyészidőszakok hossza napokban, valamint a tenyészidőszakok kezdete és vége Helvécián 2000-2004-ig

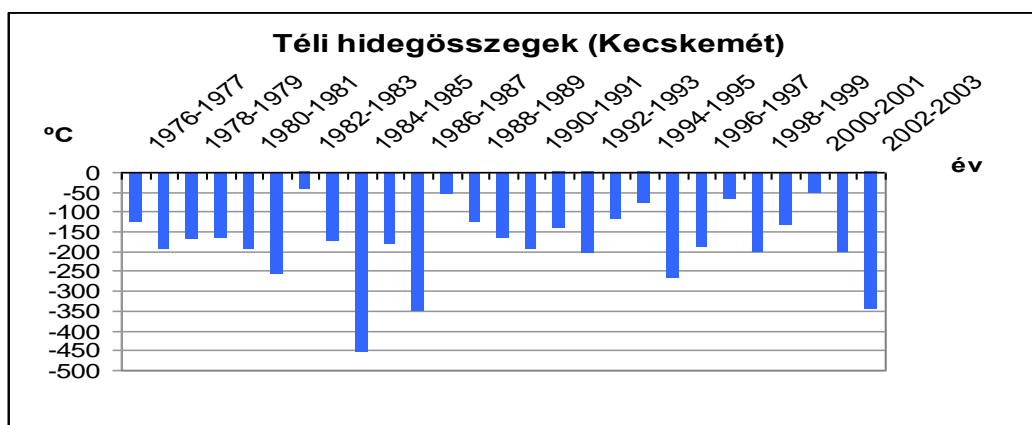
év	hossza (nap)	kezdet	Julianus nap	vége	Julianus nap
2000	233	2000. március 31.	91	2000. november 14.	324
2001	236	2001. április 10.	100	2001. december 01.	336
2002	198	2002. április 05.	95	2002. október 20.	293
2003	178	2003. április 16.	106	2003. október 10.	284
2004	215	2004. április 07.	98	2004. november 03.	313

A 12. ábraán a tenyészidőszakok egymáshoz viszonyított hosszúságait ábrázoltam. Láthatóak a kezdő és végső időpontok változásaiból fakadó eltérések is.

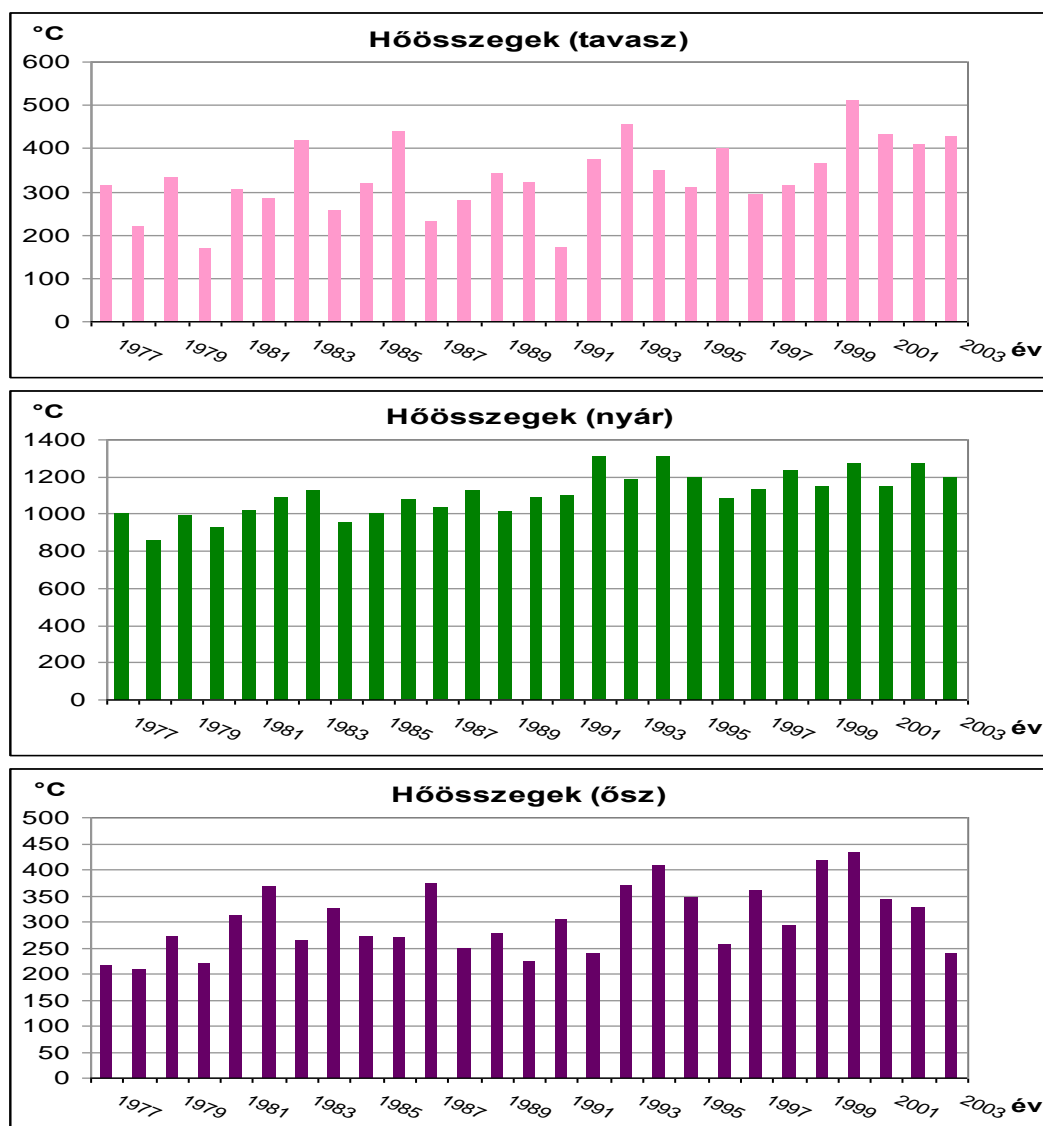


12. ábra: A tenyészidőszakok hossza Helvécián 2000-2004-ig interpolációs módszerrel számítva
Kecskemét 1976 ősztől 2003 ősziig

A kecskeméti fenológiai adatok 1977-től 2003-ig terjednek. Ezeket az éveket is megvizsgáltuk meteorológiai szempontból, amihez a kecskeméti kutatóintézet mérőállomásának adatait használtuk fel.



13. ábra: A fagypont alatti átlaghőmérséklet-összegek Kecskeméten 1976 ősztől 2003 tavaszáig éves felbontásban



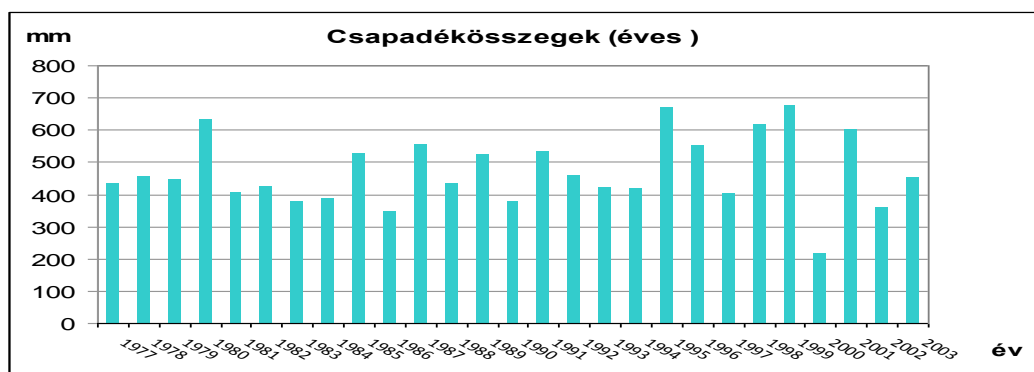
14. ábra: Kecskeméten mért hőösszeg adatok 1977 és 2003 között évszakos felbontásban

A 13. ábra mutatja, hogy a feldolgozott időszak alatt a leghidegebb tél 1984-1985 telén köszöntött be, $-452,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ hidegösszeggel. Ezt követte az 1986-1987-es tél $-349,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, illetve 2002-2003 telén $348,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hidegösszeggel. A legenyhébb telek 1982-1983, 1987-1988 és 2000-2001 telén voltak, amely teleken összesen $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli hidegösszeg gyűlt össze.

Ha a hőösszeg adatok grafikonjára pillantunk (14. ábra), jól látható, hogy 1992-től a hőösszeg értékek megemelkedtek, s ez egybevág a nemzetközi tapasztalatokkal is, miszerint az átlaghőmérséklet-emelkedés az 1990-es évektől jól észrevehető. A legmelegebb nyarakon – 1992-ben, 1994-ben, 1998-ban, 2000-ben és 2002-ben több mint $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőösszeg gyűlt össze június 1-je és augusztus 31-e között. A leghűvösebb nyár 1978 nyarán volt, amikor csupán $857,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőösszeg gyűlt össze.

A hőösszegek emelkedésének tendenciája nemcsak a nyári, hanem a tavaszi és az őszi időszakban is megfigyelhető a 70-es évek végétől az ezredfordulóig, és ezek a tendenciák szignifikánsak (tavasz: $p < 0,05$; nyár: $p < 0,001$; ősz: $p < 0,05$).

A kecskeméti éves csapadékmennyiség összegei láthatóak a 15. ábrán 1977 és 2003 között. Magyarországon az éves csapadékmennyiség sokéves átlagban 500-800 mm (Bényei et al., 1999). A 27 év alatt összesen négy évben (1980, 1995, 1998 és 1999) esett 600 mm feletti csapadékmennyiség. 500 és 600 mm között hullott csapadék 6 év során, 1985-ben, 1987-ben, 1989-ben, 1991-ben, 1996-ban és 2001-ben. A fennmaradó 16 évben átlag alatti csapadékmennyiséget mértek. A legaszályosabb év 2000-ben volt, amikor összesen 219 mm-t csapadék esett egész évben.

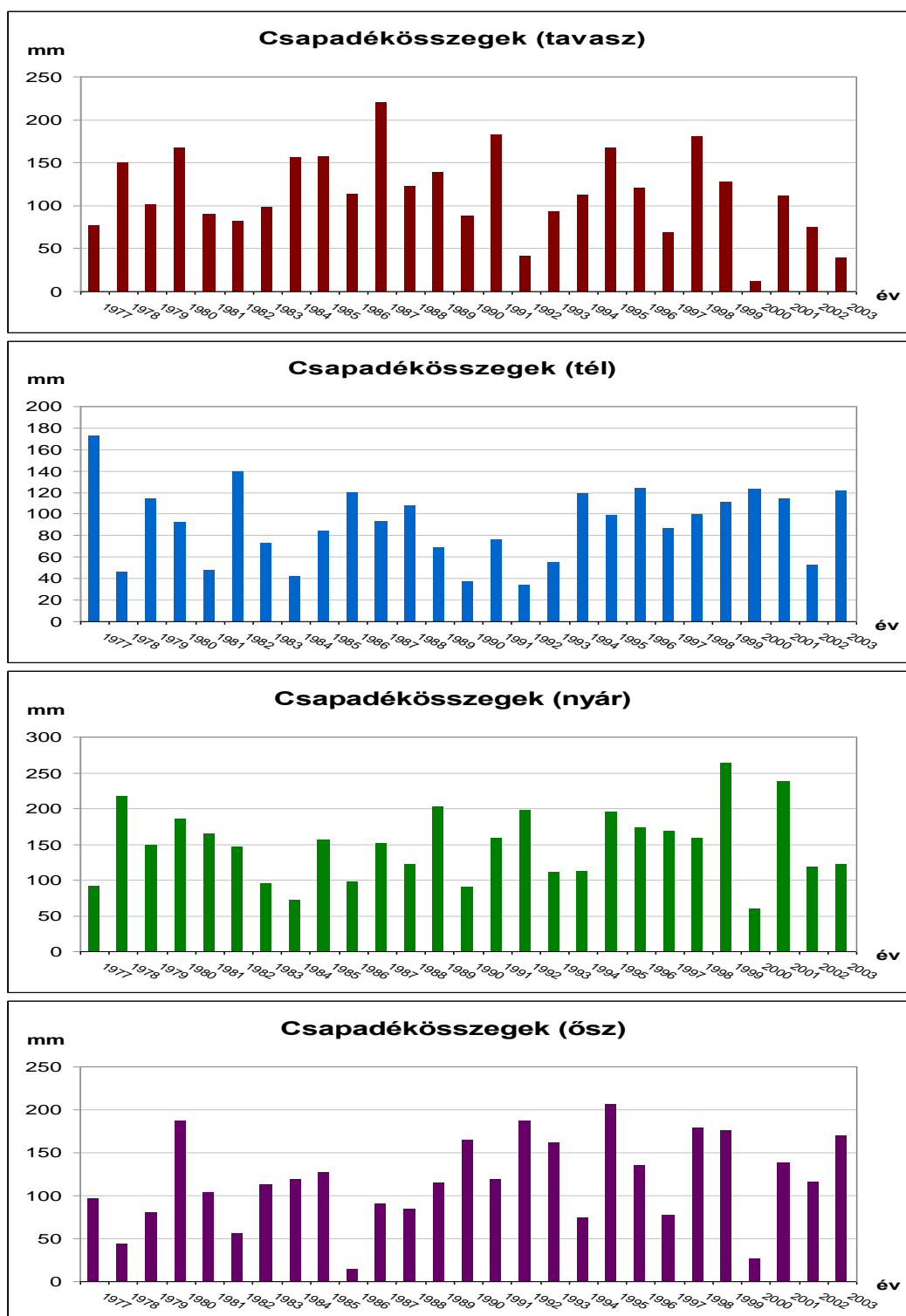


15. ábra: Kecskeméten mért éves csapadékmennyiségek 1977 és 2003 között

A csapadékmennyiségek éves összegét évszakos felbontásban is ábrázoltam, mely a 16. ábrán látható. Általánosságban elmondható, hogy az egyes évek adatait nézve a csapadékmennyiség szempontjából nem történt szignifikáns változás a vizsgált 27 év alatt sem éves, sem évszakos szinten, a szignifikancia szint minden esetben 0,1 felett van.

Meghatároztam a tenyészidőszakok hosszait a vizsgált 27 évben, kétféle módszerrel. Mivel a statisztikai összehasonlítás biztosabbnak tekinti az interpolációs tenyészidőszak számítási módszert a szőlő esetében, így csak ennek az eredményeit közlöm (12. táblázat). A módszerek leírását a 3.6 fejezetben közlöm.

A szőlő tenyészideje Magyarországon sokéves átlagban 185-200 nap között alakul (Bényei et al., 1999). Az átlagos tenyészidőszak hosszúság a kecskeméti termőhelyen 27 év átlagában 200 nap, interpolációs módszerrel számolva. A legrövidebb tenyészidőszakok 1977-ben (178 nap), 1982-ben (169 nap) és 1998-ban (160 nap) voltak. A korai érésű fajták termesztésének alapfeltétele a 150 napos periódus, a kései érésű fajták 185-200 napos vegetációs periódust igényelnek (Bényei et al., 1999). 11 évben átlagon felüli, azaz 200 nap fölött volt a tenyészidőszak napjainak száma. A leghosszabb tenyészidővel 267 nappal a 2000-es év rendelkezett, amely évben a számítások szerint március 27-től december 21-ig tartott a vegetációs periódus.

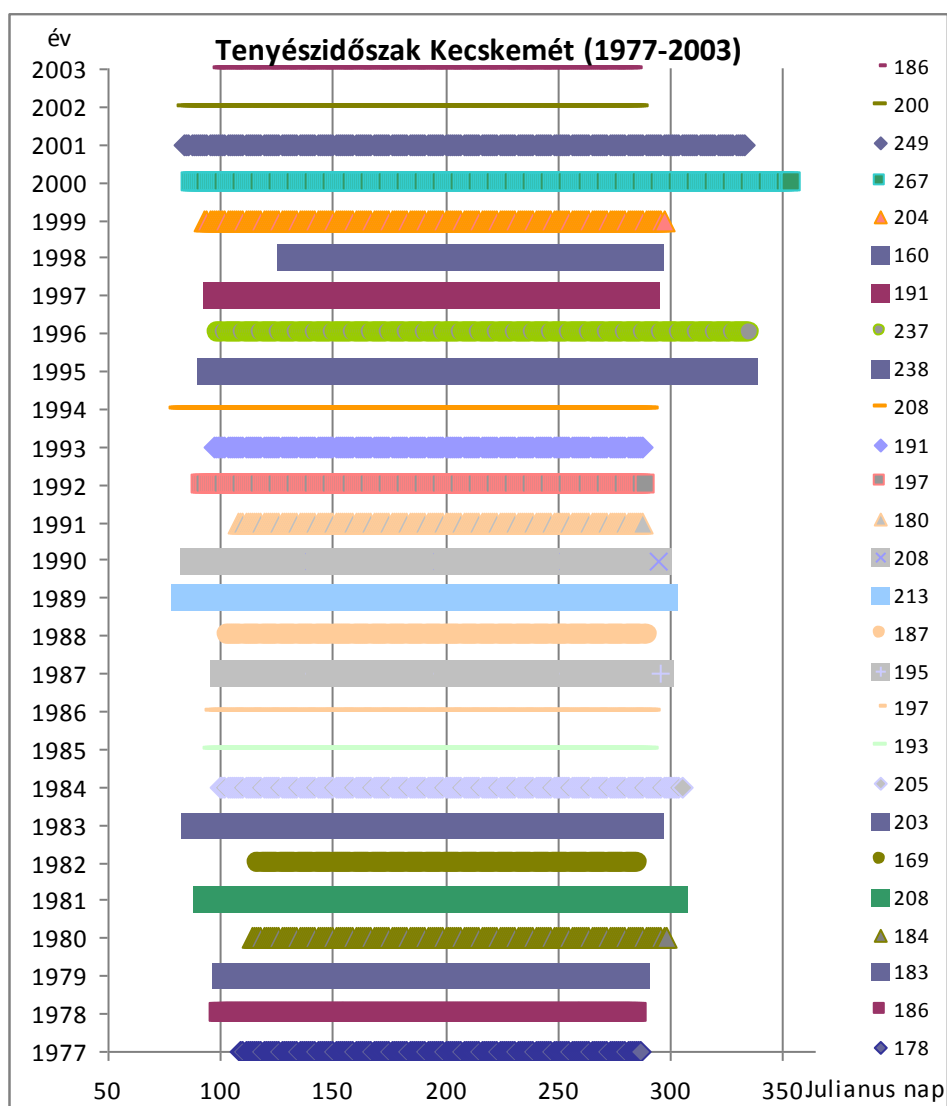


16. ábra: A csapadékmennyiségek évszakos felbontásban Kecskeméten

12. táblázat: A tenyésztidőszakok hossza napokban, valamint a tenyésztidőszakok kezdete és vége Kecskeméten 1977-2003-ig

év	hossza (nap)	kezdet	Julianus nap	vége	Julianus nap
1977	178	1977. április 19.	109	1977. november 05.	287
1978	186	1978. április 10.	100	1978. október 23.	286
1979	183	1979. április 12.	102	1979. október 12.	285
1980	184	1980. április 23.	114	1980. október 24.	298
1981	208	1981. április 04.	94	1981. október 29.	302
1982	169	1982. április 27.	117	1982. október 23.	286
1983	203	1983. március 29.	88	1983. október 18.	291
1984	205	1984. április 09.	100	1984. október 31.	305
1985	193	1985. április 07.	97	1985. október 17.	290
1986	197	1986. április 04.	94	1986. október 18.	291
1987	195	1987. április 11.	101	1987. szeptember 23.	296
1988	187	1988. április 12.	103	1988. október 16.	290
1989	213	1989. március 25.	84	1989. október 24.	297
1990	208	1990. március 28.	87	1990. október 22.	295
1991	180	1991. április 18.	108	1991. október 15.	288
1992	197	1992. április 01.	92	1992. október 15.	289
1993	191	1993. április 07.	97	1993. november 06.	288
1994	208	1994. március 23.	82	1994. október 17.	290
1995	238	1995. április 05.	95	1995. december 01.	333
1996	237	1996. április 08.	99	1996. december 03.	336
1997	191	1997. április 08.	98	1997. október 16.	289
1998	160	1998. május 11.	131	1998. november 14.	291
1999	204	1999. április 03.	93	1999. október 24.	297
2000	267	2000. március 27.	87	2000. december 21.	354
2001	249	2001. március 25.	84	2001. december 01.	333
2002	200	2002. március 27.	86	2002. október 23.	286
2003	186	2003. április 07.	97	2003. október 10.	283

A 17. ábra a kecskeméti termőhely tenyésztidőszakainak hosszait mutatja egymáshoz viszonyítva, a kezdő és záró időpontok eltolódását is láttatva a különböző években.



17. ábra: A tenyészeitőszakok hossza az interpolációs módszerrel számítva

3.3. A vizsgálat anyaga

Helvécia

Első tanulmányunkat a helvéciai adatokból 5 fehérborszőlő-fajtára (Chardonnay, Rajnai rizling, Hárslevelű, Pinot blanc és Szürkebarát), valamint ezek klónjaira végeztük. Részletes összesítésük a 13. táblázatban látható.

Kecskemét

A hosszabb időtartamú kecskeméti adatsorokból a Kékfrankos, a Hárslevelű, a Szürkebarát, a Rajnai rizling és a Generosa fajtákat választottuk ki (13. táblázat).

Rendszertani szempontból a hét fajta közül öt a nyugati változatsoportozhoz (*convarietas occidentalis*) tartozik, a Hárslevelű két klónja egyedül képviseli a pontuszi változatsoportot (*convarietas pontica*), hetedik fajta pedig a Kecskemét-Miklóstelepen nemesített intraspecifikus hibrid, a Generosa.

13. táblázat: A vizsgálatba bevont fajták és klónjaik összefoglaló táblázata

<i>Fajta</i>	<i>Klón (kód)</i>	<i>Eredet</i>	<i>Érési idő</i>	<i>Felvételezés helye</i>	<i>Felvételezés ideje</i>	<i>Hiányzó évek</i>
Chardonnay		<i>convar. occidentalis</i>	korai	Helvécia	2000-2004	-
	Chardonnay 75	<i>convar. occidentalis</i>	korai	Helvécia	2000-2004	-
	Chardonnay 96	<i>convar. occidentalis</i>	korai	Helvécia	2000-2004	-
Szürkebarát		<i>convar. occidentalis</i>	korai	Kecskemét	1977-2003	1980, 1987, 1988, 1993-1997
	Szürkebarát 34	<i>convar. occidentalis</i>	korai	Helvécia	2000-2004	-
	Szürkebarát 52	<i>convar. occidentalis</i>	korai	Helvécia	2000-2004	-
Kékfrankos			közepes	Kecskemét	1977-2003	1980, 1987, 1993-1997
	Pinot blanc 54	<i>convar. occidentalis</i>	közepes	Helvécia	2000-2004	-
	Pinot blanc 55	<i>convar. occidentalis</i>	közepes	Helvécia	2000-2004	-
	Pinot blanc D55	<i>convar. occidentalis</i>	közepes	Helvécia	2000-2004	-
Generosa		<i>intraspecifikus hibrid</i>	kései	Kecskemét	1977-2003	1980, 1987, 1988, 1992-1997
Hárslevelű		<i>convar. pontica</i>	kései	Kecskemét	1977-2003	1980, 1987, 1993-1997
	Hárslevelű P.41	<i>convar. pontica</i>	kései	Helvécia	2000-2004	-
	Hárslevelű K.9	<i>convar. pontica</i>	kései	Helvécia	2000-2004	-
	Rajnai rizling 239	<i>convar. occidentalis</i>	kései	Helvécia	2000-2004	-
	Rajnai rizling 378	<i>convar. occidentalis</i>	kései	Helvécia	2000-2004	-
	Rajnai rizling 391	<i>convar. occidentalis</i>	kései	Helvécia	2000-2004	-
	Rajnai rizling 49	<i>convar. occidentalis</i>	kései	Helvécia	2000-2004	-
Rajnai rizling		<i>convar. occidentalis</i>	kései	Kecskemét	1977-2003	1978-1980, 1993-1997

3.3.1. A vizsgált fajták jellemzése

Őshonos fajták

Hárslevelű: egyesek itáliai, mások szláv nyelvterületről származónak vélik, de a legnagyobb valószínűséggel természetes beporzással és termékenyüléssel létrejövő magyar fajta. Az elfogadott rendszerezés szerint *convarietas pontica*, *subconvarietas balcanica*, *provarietas microcarpa*, *subprovarietas zemplenica*. Széles körben ismert és termesztett fajta, főként Tokaj-Hegyalján, az Egri borvidéken, Mátraalján, a Villányi borvidék Siklósi körzetében termesztik. Tőkéje erős növekedésű. Termése egyedülállóan nagy, hossza elérheti a 300-500 mm-t, fűrtátlagtömege 180-200 g körül alakul. Bogyója kicsi, gömbölyű, zöldessárga színű. Hosszú tenyészidejű, október elején, közepén érő fajta. Viszonylagos fagyűrőképesége közepes vagy

az alatti. A szárazságra érzékeny, jó vízgazdálkodású területekre kell ültetni. Rothadásra érzékeny, mely kedvező évjáratokban nemes rothadásba megy át, aszúsodik (Bényei és Lőrincz, 2005). Bora jól felismerhető, fajtajelleges, hársméz illatú, finom savtartalmú, testes. Aszúbor készítésére alkalmas (Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu). Vizsgált klónjai: Hárslevelű P.41, Hárslevelű K.9.

Honosított fajták

Chardonnay: francia eredetű fajta, minőségi fehérborszőlő-fajta. A világ minden borszőlőtermesztő országában ismerik, termesztik, így világfajtának tekinthető (Csepregi, 1997). A természetes rendszer szerint *convarietas occidentalis*, *subconvarietas gallica*, *provarietas microcarpa*, *subprovarietas* „Noirien” eredetű (Bényei és Lőrincz, 2005). A legújabb DNS analízis eredménye szerint a Pinot noir × Heunisch weiss spontán keresztezése által jött létre (Sefc et al., 1997, Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu, 2011). Korai érésű, szeptember közepétől szüretelhető. Erős növekedésű, közepes termőképességű, fagyűrő képessége a közepesnél valamivel jobb, a szárazabb viszonyokat is elviseli, jó adaptációs képességekkel rendelkezik. Rothadásra hajlamos. Termése kicsi, hengeres, középtömött fürtű, jellegzetes ízű bogyókkal. Bora fajtajelleges, különleges zamatú, testes, széleskörűen felhasználható. Kitűnő pezsgőalap lehet, de kiváló minőségi bor, sőt különleges minőségű, akár természetes csemegebor is készíthető belőle (Bényei és Lőrincz, 2005). Vizsgált klónjai: Chardonnay 75 és Chardonnay 96.

Pinot blanc: Franciaországból származik, ahol régóta termesztik. A természetes fajtarendszerezés szerint *convarietas occidentalis*, *subconvarietas gallica*, *provarietas microcarpa*, *subprovarietas* „Noirien”. Franciaországban ismert és elterjedt fajta. Nálunk a két világháború közötti fajtaleírásokban szerepel, de az 1970-es évek közepéig alig telepítették. Nagyobb érdeklődés az elmúlt másfél évtizedben nyilvánult meg iránta. Minőségi fehérborszőlő fajta. Tőkéje középérős növekedésű, fürtje kicsi, hengeres vagy vállas, tömött. Bogyói kicsik, gömbölyűek, vékony, sárgászöld héjúak. Korai tenyészidejű fajta, szeptember első felében érik, de rendszerint a hónap második felében, vagy még később szüretelik. Rügyei termékenyek, jó téltűrésűek (Bényei és Lőrincz, 2005). Fürtje gyakran madárkás a virágok hiányos termékenyülése miatt. Bogyói rothadnak. Gombabetegségekre, elsősorban a lisztharmatra érzékeny. Zöldmunka-igényes. Kellemes zamatú, finom illatú fehérbort adó fajta (Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu). Vizsgált klónjai Pinot blanc 54, Pinot blanc 55, Pinot blanc D55.

Rajnai rizling: a Rajna folyó vidékéről származó igen régi fajta, melyet feltételezések szerint már a rómaiak is termesztettek. A természetes rendszerezés szerint a *convarietas occidentalis*, *subconvarietas gallica*, *provarietas microcarpa*-ba sorolható. Németországban uralkodó fajtának számít, főleg Elzászban, de termesztik az összes európai országban. Magyarországon régóta ismert fajta, leromlása miatt háttérbe szorult, de újabb klónok kiválasztásával ismét

megnövekedett a termesztési területe. Minőségi fehérborszőlő-fajta. Hosszú tenyészidejű, későn, október elején érő fajta. A tiszta *vinifera* fajták közül a téli hideget legjobban tűrő fajta, ezért az alföldi borvidékek takarás nélküli szőlőtermesztésének megbecsült fajtája (Bényei és Lőrincz, 2005). Virágzás idején azonban a lehülésre érzékeny. Hidegben kedvezőtlen a virágok termékenyülése, a fürtök gyakran madárcásak. Aszályra igen érzékeny. Termése kisméretű, hengeres, tömött fürtű, sárgászöld bogyókkal. Lisztharmatra érzékeny. Bora szőlővirág emlékeztető, finom illatú és jellegzetes zamatú. Savai finomak, elegánsak. Jó évjáratokban nagy minőségű fehérbort ad (Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu). A vizsgálatunkban szereplő klónjai: Rajnai rizling 239, Rajnai rizling 378, Rajnai rizling 391, Rajnai rizling 49.

Szürkebarát: nagyon régi, francia eredetű fajta. A természetes fajtarendszerezés szerint *convarietas occidentalis*, *subconvarietas gallica*, *provarietas microcarpa*, *subprovarietas „Noirien”*. Concultát alkotnak a Pinot blanc-nal, a Pinot noir-ral (Bényei és Lőrincz, 2005). Világfajta, mivel minden környezetben határozott karakterű, fajtajelleges bort ad. Értéke mindenekelőtt finom savtartalmának megtartásában rejlik (Csepregi, 1997). Magyarországon a Balatonfelvidéken és a Badacsonyi borvidéken vált híressé. Az elmúlt néhány évtizedben az ország más borvidékeire is telepítették és kiváló termést szüretelnek róla. Rövid tenyészidejű fajta, szeptember első felében érik (Bényei és Lőrincz, 2005). Termése kis, hengeres, nagyon tömött fürtű, a bogyók héja kékespiros, pontozott, hamvas. Jó fagytűrő képességű, bogyói rothadásra kissé érzékenyek. Bora enyhén narancsos színű, illatos, jellegzetes ízű, tüzés, rendkívül finom savú fehérbor. Magas cukortartalmú termésből különleges minőségű bor készíthető (Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu). Vizsgált klónjai: Szürkebarát 34, Szürkebarát 52.

Kékfrankos: eredete bizonytalan, de Németh (1970) szerint a *convarietas orientalis subconvarietas caspica* változat alcsoportba tartozik. Leginkább Magyarországon terjedt el. Az összes vörösbort termelő vidéken megtalálható, sőt a legtöbb helyen meghatározó jelentőségű fajta. Első a vörösborszőlők területi rangsorában. Számos értékes tulajdonsága miatt a jövőben is ígéretes fajta marad (Bényei és Lőrincz, 2005). Kecskeméti vizsgálatok alapján -19 °C –ig télálló (Hajdu és Borbásné Saskói, 2009). Erős növekedésű, viszonylag jó termőképességű, értékes fajta. Rendszerint megbízhatóan terem, s a legrosszabb évjáratokban is elfogadható minőséget ad (Bényei és Lőrincz, 2005). A középérésű fajta. Október elején érik. Rügyei jó tél- és fagytűrők. A szárazságot is jól tűri. Tápanyagban gazdag, jó vízgazdálkodású területen jobb minőségű termést ad. Bora fajtajelleges, kellemes zamatú, testes, fanyar, kissé savas (Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu). Színanyag tartalma még gyengébb évjáratokban is kielégítő. Különösen neves a Soproni Kékfrankos, de alkotórészét, vázát képezi a Bikavérnek is (Bényei és Lőrincz, 2005).

Eurázsiai intraspecifikus fajták

Generosa: a fajtát Hajdu Edit és munkatársai emelték ki és értékelték abból a magoncpopulációból, amelyet Bíró Károly az Ezerjó és a Piros tramini keresztezéséből állított elő 1951-ben. Fajtahibrid. Tőkéje erős növekedésű, jó termőképességű. Fürtje középnagy, bogyói húspirosak, húruk lédús, színtelen. Szeptember végén, október elején érő fajta. Fitotechnikája egyszerű, könnyű metszeni, kevés zöldmunkát igényel (Bényei és Lőrincz, 2005). Homokos és kötött talajon egyrón jól terem (Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu). Kiemelkedően jó a fagy- és téltűrése, nem vagy alig rothad. Peronoszpórára igen, a lisztharmatra kevésbé fogékony (Bényei és Lőrincz, 2005). Bora Tramini jellegű, szőlvirág illatú,, savai Ezerjóéhoz hasonlóak, harmonikus fehérbor (Bisztray et al., 2011, szerk. Hajdu).

3.4. Fenológiai adatok

Vizsgálatainkhoz a Helvécián és Kecskeméten felvételezett rügyfakadási és fővirágzási időpontokat használtuk fel. A rügyfakadás kezdő időpontjai mindkét termőhelyen akkor lettek feljegyezve, amikor az állomány egyedeinek 50 %-nál a becslések alapján megtörtént a rügyfakadás. A szőlő virágzásakor a virágnyílást akkor tekintjük megkezdettnek, amikor a virágok 4-5 %-a kinyílt. A tömeges virágzás (fővirágzás) időpontját pedig arra a napra határozták meg, amikor az adott fajtánál a virágok 60-70 %-a kinyílt.

A rügyfakadási és fővirágzási időpontok Helvécián 2000 és 2004 között lettek feljegyezve, ami egy teljes öt éves adatsort jelent mind az öt fajta esetében. Kecskemét-Katonatelepen 1977 és 2003 között felvételezett adatokból összesen 20 év adatsora áll rendelkezésünkre 1977 és 1979, 1981 és 1986, 1988 és 1992, valamint 1998 és 2003 között a Kékfrankos és a Hárslevelű fajták esetében. Ez egy 27 éves időintervallumot fed le az 1980-as, 1987-es és az 1993-tól 1997-ig tartó hiányzó évekkel. A Szürkebarát esetében 19 évet tudunk vizsgálni, ahol az előző hiányzó évekhez még hozzáadódott az 1988-as év is. A Rajnai rizling és a Generosa esetében 18 év rügyfakadási és fővirágzási adat állt rendelkezésünkre, de úgy gondoltuk ennyi év adatsora elegendő lesz a modellezéses vizsgálatokhoz. A hiányzó éveket a mindegyik fajta esetében a 13. foglalja össze.

3.5. Tenészydő számítási módszerek

Az optimum törvénye szerint a hőmérsékletnek a növényre gyakorolt hatását fenológiai fázisonként Gauss-, vagy ahhoz hasonló görbével jellemezhetjük. A görbe csúcsa a növényre optimálisan ható hőmérséklet felett helyezkedik el, a görbe alacsony értékei pedig a növény fejlődését fékező vagy a káros hőmérsékletek felett fekszenek. Eszerint a hőösszegek módszere az ellentétes biológiai hatású értékek valamely módon definiált összegzése. A különböző hőösszeg-modellek legfőbb jellemzője éppen az, hogy milyen módon definiálják a hatásgörbét,

valamint az összegezést (Chuine, 2000; Chuine et al., 2003).

A hőösszeget kezdetben a meteorológiai 0°C-tól kiindulva számították. Újabban az ún. hatásos hőösszeggel jellemzik a vegetációs lehetőségeket. Eszerint a hőösszeget úgy számoljuk ki, hogy a vegetációs időszak középhőmérsékletét megszorozzuk a vegetációs idő napjainak számával (Kozma, 1991; Bényei et al., 1999).

A hőösszegek kiszámításának másik módja az, hogy az előbbi módon kiszámított hőösszezből levonjuk a vegetációs idő alatti a +10°C-on (biológiai 0°-on) aluli hőmérsékletek összegét, tekintettel arra, hogy az alacsony hőmérséklet nem segíti, illetve gátolja a vegetációt. Ezt hatásos hőösszegnek nevezik (Kozma, 1991).

A vegetációs időt napokban megadva nemzetközileg a tavaszi napi +10°C-os (biológiai 0°) középhőmérséklet beállításától az őszi +10°C középhőmérsékletű napok megszűnéséig számítják. Hogy a fenti fogalmakat pontosan miként (napi, havi hőmérsékletekből) definiálják, attól függően a hőösszegszámítási módszerek, illetve a tenyészidőszak vagy vegetációs periódus hosszának meghatározása is különbözhet. Egy, a hőösszegszámítás további módosításával kapott módszer, melyet a szőlőtermesztésben gyakran alkalmaznak, az ún. interpolációs módszer (Bényei et al., 1999).

A tenyészidőszak-számításokat minden évre elvégeztem kétféle módszerrel, a két helyszínen. Először a 2000 és 2004 közötti időtartamra számoltam ki, a megyei átlaghőmérséklettel, majd 1977 és 2003 között a kecskeméti mérésekkel.

I. módszer: a tenyészidőszak kezdete az az első nap, amikor az átlaghőmérséklet 10 °C felett van, és ami után már nem lesz 10 °C alatt őszi. A tenyészidőszak vége az a nap, amikor utoljára van megszakítás nélkül 10 °C felett az átlaghőmérséklet (Kozma, 1991).

II. módszer (interpolációs módszer): A tenyészidőszak első napját úgy számoljuk ki, hogy vesszük a március és az április hónapok középhőmérsékleteit, majd az áprilisi középhőmérsékletből kivonjuk a márciusi középhőmérséklet értékét és osztjuk 31-gyel. Ekkor megkapjuk a d_1 értéket, amit n_1 -szer hozzáadunk a márciusi átlaghőmérséklethez, míg az először át nem lépi a 10 °C fokos értéket. Az n_1 értéket hozzáadjuk a március 15-éhez, így megkapjuk a tenyészidőszak első napját (Csepregi, 1997, 14. táblázat).

14. táblázat: A tenyészidőszak kezdetének, végének és hosszának számítása az interpolációs módszerrel (Csepregi, 1997)

Vegetációs időszak kezdetének $V_1[dátum]$ számítása	Vegetációs időszak végének $V_2[dátum]$ számítása
$d_1[°C] = \frac{T_{\text{átl.ápr.}} - T_{\text{átl.márc.}}}{31}$	$d_2[°C] = \frac{T_{\text{átl.szept.}} - T_{\text{átl.okt.}}}{30}$
$n_1 = \min\{z : T_{\text{átl.márc.}} + z * d_1 > 10°C\}$	$n_2 = \min\{z : T_{\text{átl.szept.}} - z * d_2 < 10°C\}$
$V_1[dátum] = \text{márc.15.} + n_1$	$V_2[dátum] = \text{szept.15.} + (n_2 - 1)$
Tenyészidőszak hossza: $L[nap] = V_2 - V_1 + 1$	

Jelmagyarázat:

$d_1[°C]$ és $d_2[°C]$ az interpolációnál alkalmazott egységnyi hőmérséklet-emelkedés, illetve -csökkenés;
 $T_{\text{átl.márc.}}$, $T_{\text{átl.ápr.}}$, $T_{\text{átl.szept.}}$, $T_{\text{átl.okt.}}$ a márciusi, áprilisi, szeptemberi, illetve októberi napi középhőmérsékletek átlagai [$°C$];
 n_1 , n_2 és z természetes számok;
 $V_1[dátum]$ és $V_2[dátum]$ a tenyészidőszak első, illetve utolsó napja;
 $L[nap]$ a tenyészidőszak hossza.

A tenyészidőszak utolsó napját az előbbihez hasonló módon számítjuk ki. Ebben az esetben a szeptemberi és az októberi átlaghőmérséklet különbségét vesszük, majd elosztjuk harminccal, mivel ennyi nap telik el szeptembertől októberig. Ekkor megkapjuk a $d_2[°C]$ értéket. Ezt n_2 -ször kivonjuk a szeptemberi középhőmérséklet értékéből, míg a középhőmérséklet először $10\text{ }°C$ alá nem süllyed. Az $(n_2 - 1)$ értékét a végén hozzáadjuk szeptember 15-höz és a kapott dátum a tenyészidőszak utolsó napjának tekinthető.

3.6. Az alkalmazott fenológiai modellek

3.6.1. Egyszerű hőösszeg modell a rügyfakadás idejének becslésére

Munkánk során igyekeztünk olyan egyszerű modellt építeni, amely a lehető legpontosabban közelíti a Helvécián termesztett fehérszőlő fajták közül a 2000-2004-es időszakban fenológiai felvételezésre került 15 fajta rügyfakadásának időpontját. Az adatok szűkösségét figyelembe véve a napi léptékű lineáris modellt választottuk.

A megfigyelt adatokból kiszámoltuk minden fajtára ($i = 1, 2, \dots, 15$) a napi középhőmérsékletnek (a k . napit jelöli $T_{k_átl.}$) az (alsó) bázishőmérséklet ($T_{bázis}$) feletti részét egy adott naptól (kezdőnap: D_{start}) kumulálva a megfigyelt rügyfakadásig ($D_{ij, mf}^{rf}$), minden évre ($j = 2000, 2001, \dots, 2004$).

$$GDD_{ij}^{rf} = \sum_{k=D_{start}}^{D_{ij, mf}^{rf}} \max[(T_{k_atl} - T_{bázis}); 0]$$

(*GDD – growing degree days*) Ezután kiszámoltuk erre az öt évre vonatkozó fajtánkénti átlagot, és ezt az értéket fajtánkénti kritikus hőösszegnek neveztük el:

$$GDD_{i, krit}^{rf} = \underset{j}{\text{Átlag}}(GDD_{i, j}^{rf})$$

A szőlő (*Vitis vinifera* L.) esetében széles körben elfogadott (alsó) bázis hőmérséklet 10 °C (Jones, 2003, Jones et al., 2005). Mivel azonban ez a bázishőmérséklet jó becslés ugyan, ám önkényesnek mondható, modellezésre nem kifejezetten alkalmas, mert sok hibát generál. Ezért úgy döntöttünk, hogy a modellezéskor a bázishőmérsékletet változó paraméternek tekintjük, és azt optimalizálással becsüljük.

A modellt úgy állítottuk fel, hogy ha az egy évben a kezdőnaptól kezdve a bázishőmérséklet feletti hőmérsékleteket kumulálva eléri a fajtánkénti kritikus értéket, akkor arra a fajtára a modell a rügyfakadást jelezzé.

A becslés hibáját a modell által becsült napnak ($D_{ij, mod}^{rf}$) a megfigyelt időponttól ($D_{ij, mf}^{rf}$) való (napban mért) átlagos eltérés-négyzetösszeg négyzetgyökeként definiáltuk (standard hiba):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i \sum_j (D_{ij, mf}^{rf} - D_{ij, mod}^{rf})^2},$$

ahol N a fajták és évek szorzatát jelzi.

A bázishőmérsékletre és a kezdőnapra minimalizáltuk a becslés hibáját.

3.6.2. Egyszerű hőösszeg modell a fővirágzás kezdetének idejére

A növények fejlődése, virágzása az enyhülő időjárás függvényében történik, amelyet a rügyfakadáshoz hasonlóan egy akkumulált hőmérsékleti összeggel definiálhatunk egy bizonyos küszöb eléréséig. Most is, mint az előzőekben, a naponkénti hőösszeg-növekedés mértékét (*GDD*) használjuk, kiszámítva egy bizonyos időszak alatt az átlagos napi hőmérséklet és a küszöb hőmérséklet (alsó bázishőmérséklet) közötti eltérések összegét egy induló naptól, jelen esetben a modell által becsült rügyfakadás-kezdetől.

A bázishőmérséklet becslését a fővirágzás indulási időpontjának becslésekor is optimalizálással külön elvégeztük. A fővirágzás kezdeti időpontjának becsléséhez Gladstones (1992) javaslatára egy felső bázishőmérsékletet is bevezettünk, és akkumuláltuk az alsó bázishőmérséklet feletti, ám a felső bázishőmérsékletet meg nem haladó átlagos napi hőmérsékleteket. Hasonlóan a rügyfakadáshoz, a virágníylás becslésénél is a napi léptékű lineáris modellt választottuk.

Egyszerű modellünkkel megbecsülhetjük a vizsgált fajták, illetve klónjaik tömeges virágzásának idejét. A rügyfakadás időpontjának becsléséhez hasonlóan kiszámítottuk minden fajtára ($i=1, 2, \dots, 15$) és minden évre ($j=2000, 2001, \dots, 2004$) a megfigyelt adatokból akkumulált napi hatásos ($T_{alsóbázis}^{vir}$ feletti és $T_{felsőbázis}^{vir}$ alatti) átlaghőmérsékleteket a modell által előre jelzett rügyfakadási naptól ($D_{ij, mod}^{rf}$) a megfigyelt fővirágzás kezdetig ($D_{ij, mf}^{vir}$).

$$GDD_{i,j}^{vir} = \sum_{D_{i,j, mod}^{rf}}^{D_{i,j, mf}^{vir}} \max \left[\left(\min(T_{k_átl.}, T_{felsőbázis}^{vir}) - T_{alsóbázis}^{vir} \right), 0 \right]$$

Ezután kiszámítottuk az öt évre vonatkozó fajtánkénti átlagot, és ezt az értéket a fővirágzáshoz szükséges fajtánkénti kritikus hőösszegnek neveztük el.

$$GDD_{i,krit}^{vir} = \underset{j}{\text{Átlag}} (GDD_{i,j}^{vir}).$$

3.6.3. Hideghatást is figyelembe vevő fenológiai modell

A hideghatást is figyelembe vevő hőösszegeken alapuló modellünk sokkal kifinomultabb, mint a GDD modell, mivel ez kezeli a mélynyugalmi időszak alatti a növényt érő hőmérsékleti hatásokat is (Chaine, 2000). Ez a modell a (hideg) hőösszegek akkumulációját a megelőző év szeptember elsejétől kezdi. Ez esetben a szeptember elsejei választás nem mondható önkényesnek, mert a hideghatást leíró függvény tulajdonságaiból adódóan, a hideghatás ekkor még biztosan nem kezdődik meg, értéke zérus. A szeptember elsejét inkább úgy érdemes tekinteni, mint egy olyan időpontot, amely biztosan megelőzi azt a napot, amikor az akkumulálódás megindul, azaz a függvény értéke zérustól eltérő lesz. A mélynyugalom megtörése mellett a hideg hőösszegeknek van egy rügynövekedést gyorsító hatása is. Ha több hideghatás éri a növényt, kevesebb hőösszeg szükséges a rügyfakadás bekövetkezéséig (Nelson és Lavender, 1979; Cannell és Smith, 1983; Murray et al., 1989; Kramer, 1994b; Chaine et al., 1999). Megkülönböztetünk tehát mélynyugalmi (*chilling effect* – CH) és kényszernyugalmi (*forcing effect* – F) hatásokat, majd ezeket dimenzió nélkül definiáljuk:

$$CH_j = \sum_{Sept.1.}^{t_j} \frac{1}{1 + \exp \left(a(T_{átlag_i,j} - T_{bázis,HiH})^2 + b(T_{átlag_i,j} - T_{bázis,HiH}) \right)}$$

$$F_j = \sum_{t_j}^{rügyfakadás} \frac{1}{1 + \exp \left(c(T_{átlag_i,j} - T_{bázis,HöH}) \right)}$$

ahol a , b , pozitív, c negatív tapasztalati paraméterek, $T_{átlag_i,j}$ jelenti a napi átlagos hőmérsékletet minden évben j és napon i , a $T_{bázis,HiH}$ és $T_{bázis,HöH}$ a bázis hőmérsékletek mélynyugalmi és kényszernyugalmi paraméterei, t_j az az időpont, amikor a kívánt kritikus mélynyugalmi hideghatás (CH_{krit}) bekövetkezik egy adott évben j . Ennél a pontnál a modell

jelzi a mélynyugalom végét és a hőösszeg akkumuláció F_j elindul. A rügyfakadást akkor jelzi a modell, amikor a szükséges hatásos hőösszeg GDD_{u_krit} összegyűlik.

A hideghatás és a kényszernyugalmi függvények segédfüggvényeit

$$f_{CH}(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(a(x - T_{bázis,HiH})^2 + b(x - T_{bázis,HiH})\right)}, \text{ illetve}$$

$$f_F(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right)}$$

alakban felírva (x a napi átlaghőmérsékletet jelöli) és felhasználva, hogy

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \exp\left(a(x - T_{bázis,HiH})^2 + b(x - T_{bázis,HiH})\right) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \exp\left(a(x - T_{bázis,HiH})^2 + b(x - T_{bázis,HiH})\right) = +\infty,$$

valamint $\lim_{x \rightarrow -\infty} \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right) = 0$ és $\lim_{x \rightarrow +\infty} \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right) = +\infty$, látható, hogy

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} f_{CH} = \lim_{x \rightarrow -\infty} f_{CH} = 0 \text{ és } \lim_{x \rightarrow -\infty} f_F = 0 \text{ és } \lim_{x \rightarrow +\infty} f_F = 1. \text{ Látható továbbá, hogy } f_{CH} \text{ és } f_F$$

értékkészlete is a $]0,1[$ nyílt intervallum.

Az f_{CH} függvényt deriváljuk:

$$f'_{CH}(x) = -(2a(x - T_{bázis,HiH}) + b) \frac{\exp\left(a(x - T_{bázis,HiH})^2 + b(x - T_{bázis,HiH})\right)}{\left[1 + \exp\left(a(x - T_{bázis,HiH})^2 + b(x - T_{bázis,HiH})\right)\right]^2}.$$

$f'_{CH}(x) = 0$, ha $2a(x - T_{bázis,HiH}) + b = 0$, hiszen a deriváltfüggvény többi tagja mindig pozitív. f'_{CH} előjelét megvizsgálva látható, hogy a függvénynek maximuma van az

$x = \frac{-b}{2a} + T_{bázis,HiH}$ pontban. A hideghatás f_{CH} segédfüggvényének alakja tehát egy olyan

egypúpú görbe, amelynek maximuma az $x = \frac{-b}{2a} + T_{bázis,HiH}$ °C-ban mért értékében van, a függvény pozitív és negatív végtelenben vett határértéke pedig zérus.

Az f_F függvényt kétszer deriváljuk, a második deriváltat $1 + \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right)$ -val egyszerűsítjük:

$$f'_F(x) = \frac{-c \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right)}{\left[1 + \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right)\right]^2}$$

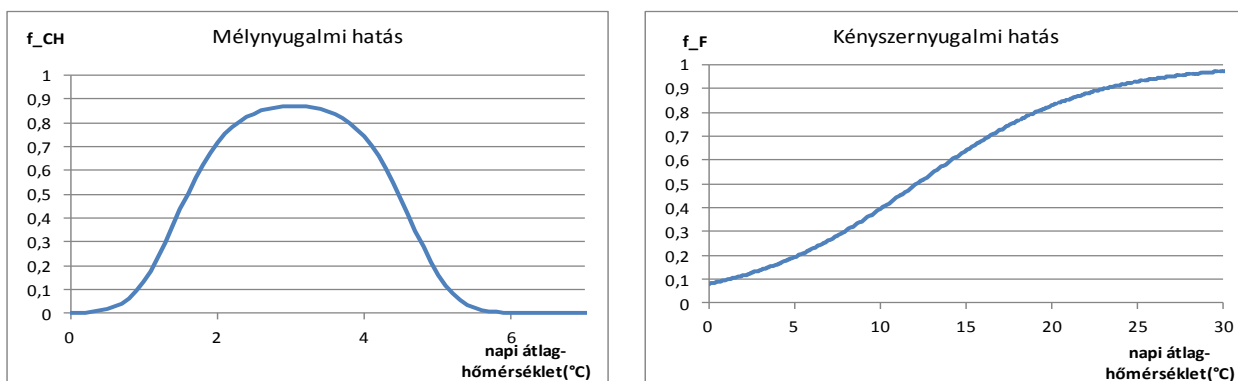
$$f''_F(x) = \frac{-c^2 \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right) \left[1 + \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right)\right] + 2c^2 \exp\left(2c(x - T_{bázis,HöH})\right)}{\left[1 + \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right)\right]^3}.$$

f'_F mindig pozitív, tehát ez a függvény monoton nő, nincs szélsőértéke. $f''_F = 0$, ha

$$c^2 \exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right) \left[\exp\left(c(x - T_{bázis,HöH})\right) - 1\right] = 0, \text{ azaz ha } x = T_{bázis,HöH}. \text{ } x < T_{bázis,HöH} \text{ esetén } f''_F$$

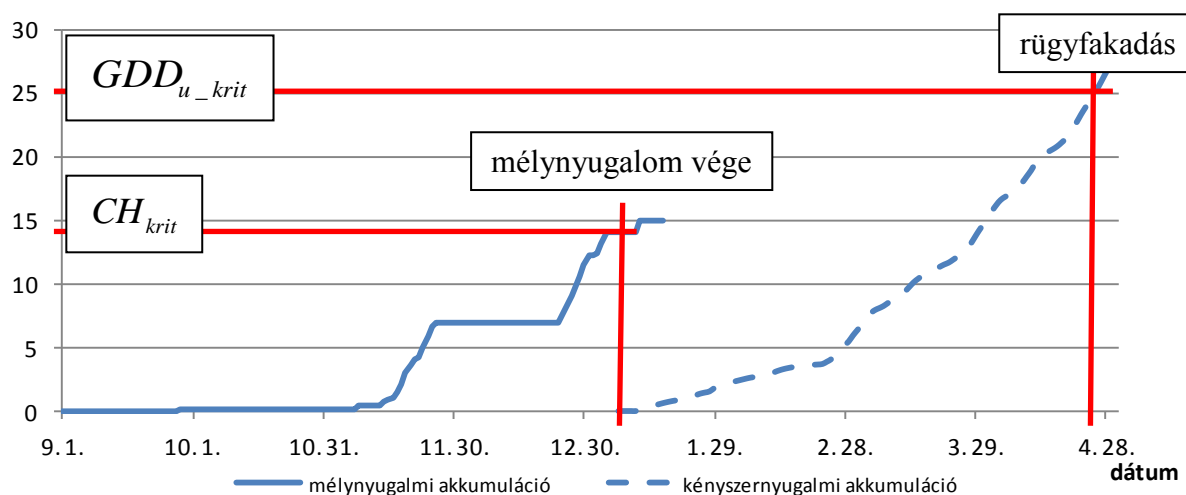
pozitív, $x > T_{bázis,HöH}$ esetén f''_F negatív. A kényszernyugalmi f_F segédfüggvény alakja tehát

egy szigmoid típusú görbe, monoton növekedő, a plusz végtelenben 1, a mínusz végtelenben zérus határértékkel, melynek az $x = T_{bázis,HöH}$ pontban inflexiós pontja van (18. ábra).



18. ábra: A mélynugalmi és a kényszernugalmi időszak hőhatásait leíró f_{CH} és f_F függvények jelleggörbéi

A mélynugalmi és kényszernugalmi hőösszegek akkumulációja látható a 19. ábrán, egy véletlenszerűen kiválasztott év adataival. A vízszintes vonalak jelölik a mélynugalmi hideghatás akkumulációs kritikus hőösszeget (CH_{krit}), valamint a kényszernugalom alatt tovább akkumulálódott hatásos kritikus hőösszeget (GDD_{u_krit}). A függőleges vonalak a mélynugalmi időszak végének és a rügyfakadás modell által jelzett időpontjait jelzik.



19. ábra: Az f_{CH} -val és f_F -fel jelölt mélynugalmi és kényszernugalmi hatások CH -val és F -fel jelölt akkumulációja egy véletlenszerűen kiválasztott évben

Illeszkedés és validálás

A rendelkezésre álló adatsort véletlenszerűen két egyenlő részre osztottuk. Az egyik csoportba tartozó éveket kalibráláshoz használtuk, míg a maradékokat validáláshoz.

A modell hibáját ($RMSE$ – *root mean square error*) a megfigyelt ($RF_{megfigyelt}$) és a modell által becsült rügyfakadási időpontok (RF_{modell}) közötti különbségek átlagának négyzetösszeg gyökeként határoztuk meg napokban,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_j (BB_{megfigyelt} - BB_{modell})^2}$$

ahol N az évek számát jelenti. Az optimalizáláshoz használt *Palisade's Risk Evolver* program az ún. innovatív genetikai algoritmuson (*GA technology*) alapul, amely egy több ezer iterációval futtatott sztochasztikus keresési technika. A módszer nagy előnye, hogy a klasszikus optimalizációs eljárásokkal ellentétben nem reked meg egy lokális minimumhelyen, e helyett a teljes értelmezési tartományon keres, ami lehetővé teszi, hogy globális minimumhelyre találjon rá (Weise, 2009).

A UM modell esetében is minimalizáltuk a hibát ($RMSE$) az innovatív genetikai algoritmussal hét paraméter – a , b , c , $T_{bázis,HiH}$, $T_{bázis,Hőő}$, CH_{krit} és $GDD_{u_{krit}}$ – optimalizálásával a paraméter térben.

3.7. Statisztikai módszerek

3.7.1. *T-próbák*

A várható értékre vonatkozó paraméteres próbák közül a rügyfakadási időpontok összevetése páros t -próbával történt.

Páros t -próbát akkor alkalmazunk, ha a két véletlen mintánk (X és Y) nem független, hanem ellenkezőleg: valamely szempont szerint elemeik párosíthatóak. A próba során arra keressük a választ, hogy a két véletlen, nem független minta alapján elfogadható-e az a feltételezésünk, hogy a vizsgált két alapsokaság várható értéke megegyezik. A hipotézisek felírása, a feltételek ellenőrzése, a próbastatisztika számítása hasonlóan történik, mint a kétmintás t -próba esetében. A döntést a szignifikanciaszint alapján hozzuk meg (Harnos és Ladányi, 2005).

3.7.2. *Varianciaanalízis*

A megfigyelt és a becsült, illetve előrejelzett rügyfakadás változásait a különböző években, valamint a klimatikus indikátorok összehasonlítását egytényezős varianciaanalízissel végeztük. A varianciaanalízist (*ANOVA – Analysis of Variance*) akkor alkalmazzák, ha több normális eloszlású alapsokaság várható értékét kívánjuk összehasonlítani. A kérdés az, hogy az alapsokaság egy bizonyos tulajdonságának mért értéke a különféle csoportokban azonos-e. Az egytényezős ANOVA modellje:

$$X_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}, \text{ ahol}$$

X_{ij} a vizsgált valószínűségi változót

μ a közös várható értéket

α_i az i -edik csoport hatását

ε_{ij} a normális eloszlású, zérus várható értékű hibatagot jelöli.

A normalitás feltételét Kolmogorov-Smirnov- vagy Saphiro-Wilk-teszttel ellenőrizzük, a szóráshomogenitást pedig Levene-teszttel (Harnos és Ladányi, 2005).

4. EREDMÉNYEK

4.1. A klimatikus indikátorok számítási eredményei

4.1.1. A klimatikus indikátorok változásai 1977 és 2003 között Kecskeméten

A Kecskemétre vonatkozó, 1977 és 2003 közötti napi megfigyelésekből származó meteorológiai adatok felhasználásával előállítottam a 2.6.1 fejezetben bemutatott 36 klímaindikátort. Az indikátorok átlagait, az adatsorokra illesztett egyenesek meredekségét és az illesztés determinációs együtthatóját, valamint ezek szignifikanciáját tartalmazza a 15. táblázat.

15. táblázat: 1977 és 2003 között Kecskeméten mért éghajlati indikátorok és lineáris trendjük statisztikai jellemzői

Indikátorok	átlag	R ²	meredekség
<i>Huglin-index (HI) [°C]</i>	2193,43	0,73***	20,73
<i>Winkler-index (WI) [°C]</i>	1709,18	0,76***	19,59
<i>Biológiailag hatásos hőösszeg (BEDD) [°C]</i>	1333,15	0,68***	46,56
<i>Júliusi átlaghőm. (MJuT) [°C]</i>	22,79	0,52***	0,12
<i>Januári átlaghőm. (MJaT) [°C]</i>	-0,79	0,26ns	0,08
<i>Tenyészedő átlaghőm. (GSAT) [°C]</i>	17,68	0,73***	0,09
<i>Tenyészedő átlagos max. hőmérséklete (GSATX) [°C]</i>	22,87	0,69***	0,10
<i>Tenyészedő átlagos min. hőmérséklete (GSATN) [°C]</i>	10,52	0,32ns	0,03
<i>Szüretidő max. hőmérsékletek átlaga (HMX) [°C]</i>	26,05	0,62***	0,11
<i>Téli min. hőm. (WMN) [°C]</i>	-16,79	0,10ns	0,05
<i>Érésidő átl. hőm. (RAT) [°C]</i>	17,41	0,62***	0,09
<i>Hideg éjszaka index (CNI) [°C]</i>	10,28	0,06ns	-0,01
<i>Kontinentalitás (CO) [°C]</i>	23,58	0,11ns	0,03
<i>Extrém meleg napok száma (NEHD) [nap]</i>	4,00	0,50**	0,30
<i>Meleg napok száma (NHD) [nap]</i>	29,15	0,72***	1,34
<i>Nyári napok száma (NSD) [nap]</i>	85,08	0,65***	1,52
<i>Fagyos napok száma (NFD) [nap]</i>	62,31	0,30ns	0,53
<i>Jeges napok száma (NID) [nap]</i>	8,19	0,05ns	-0,06
<i>Szőlő fagyindex (F8D) [nap]</i>	12,35	-0,05ns	-0,06
<i>Szőlő súlyos fagyindex (FS15D) [nap]</i>	2,46	-0,09ns	-0,05
<i>Tavaszi fagyos napok száma (NSFD) [nap]</i>	14,81	0,41*	0,34
<i>Őszi fagyos napok száma (NFFD) [nap]</i>	15,38	0,05ns	0,04
<i>Gladstones féle tavaszi fagyindex (SFI_Glad) [°C]</i>	12,77	0,69***	0,20
<i>Wolf-Boyer féle tavaszi fagyindex (SFI_WB) [°C]</i>	5,82	0,53**	0,04
<i>Júliusi hőmérsékleti terjedelem (DR) [°C]</i>	24,97	0,58**	0,20
<i>Áprilisi átlagos napi hőingás (MADR) [°C]</i>	11,65	0,53**	0,08
<i>Szüreti átlagos napi hőingás (MHDR) [°C]</i>	12,48	0,24ns	0,04
<i>Érésidei napi hőingás összege (ET) [°C]</i>	1918,93	0,48*	10,21
<i>Riberau-Gayon-Peynaud Index (RGP) [°C]</i>	2031,86	0,58ns	18,63
<i>Éves csapadékmennyiség (AR) [mm]</i>	473,98	0,22ns	2,94
<i>Nyári csapadékmennyiség (SR) [mm]</i>	108,07	0,13ns	0,68
<i>Téli csapadékmennyiség (WR) [mm]</i>	159,63	0,01ns	0,06
<i>Tenyészedő csapadékmennyiség (GSR) [mm]</i>	316,69	0,28ns	2,89
<i>Virágzáskori csapadékmennyiség (BPR) [mm]</i>	60,77	0,04ns	-0,20
<i>Érésidő csapadékmennyiség (RPR) [mm]</i>	79,43	0,30ns	1,47
<i>Tenyészedő csapadékos napjainak sz. (GSRD) [nap]</i>	59,85	0,14ns	-0,18

*p<0,05; **p<0,01; p<0,001 ns: nem szignifikáns

A megfigyelt 27 év alatt (1977-2003) szignifikáns emelkedés következett be p<0,001 szinten minden hőmérsékleti indikátor esetén, kivéve a januári átlaghőmérsékletet (MJaT), a

tenyészidőszak átlagos minimum-hőmérsékletét (*GSATN*), a téli minimum-hőmérsékletet (*WMN*), a hideg éjszaka indexet (*CNI*) és a kontinentalitást (*CO*).

Szintén szignifikáns növekedést mutat az extrém meleg (*NEHD*), a meleg (*NHD*) és a nyári (*NSD*) napok száma, míg a fagyos napok száma (*NFD*), a jeges napok száma (*NID*), a szőlő fagyindex (*F8D*) és a szőlő súlyos fagyindex (*FSI5D*) nem változott szignifikánsan a térségben a megfigyelt időszakban. Szignifikánsan növekedett a tavaszi (*NSFD*) és őszi fagyos (*NFFD*) napok száma.

Érdemes felfigyelni arra, hogy a Gladstones-féle (*SFI_{Glad}*) és a Wolf-Boyer-féle (*SFI_{Glad}*) fagyindexek, valamint a július havi hőmérséklet terjedelme (*DR*), az áprilisi átlagos napi hőingás (*MADR*), valamint az érésidei napi hőmérséklet-ingadozás összege (*ET*) is szignifikáns növekedést mutatott, ami a változékony hőmérsékleteknek tudható be.

Nem történt azonban szignifikáns változás a csapadékindikátorok esetében.

4.1.2. A klimatikus indikátorok a RegCM3.1 regionális klímamodell becslései alapján, összevetve a megfigyelt adatokkal

A klímaindikátorok értékeinek számítását a RegCM3.1 regionális klímamodell becsléseire támaszkodva is elvégeztem. Arra kerestem a választ, hogy milyen változást prognosztizál a modell a 2021-2050-es és a 2071-2100-as időszakokra az IPCC által rögzített, világszerte elfogadott és az összehasonlításokhoz használt 1961-1990-es referencia-időszakot figyelembe véve (New et al., 1999).

A megfigyelt és a jövőben várható hőmérsékleti, extrémális, illetve csapadékindikátorok fent említett idősorokra vett átlagértékeit és szórásait találhatjuk a 16. a 17. és a 18. táblázatban.

Hőmérsékleti indikátorok

Magyarországi viszonyok között az Huglin-féle heliotermikus index (*HI*) érték sok éves átlagban mintegy 1900-2100 °C között változik (Kozma, 1991). A Kecskeméten mért napi közép- és maximumhőmérséklet-adatokból számított értékek jól tükrözik ezt az átlagértéket 1985-ig. Az 1986-os évtől láthatóvá válik az indikátorértékek emelkedése, 1997 és 2003 között pedig már 2200 °C fölé maradt, a növekedés szignifikáns ($p < 0,001$). A vizsgált 27 év átlagos Huglin-index értéke 2193 °C, az átlagos szórás 231 °C (16. táblázat). Vessük össze ezt azzal, hogy a szőlőtermesztés alsó határa 1400 °C közelében van, a Chardonnay és a Rajnai rizling fajtáknak hozzávetőlegesen 1700 °C hőösszegigénye van, a Kékfrankos fajta pedig 1800 °C hőösszegigényű (Kozma, 1991). Tehát már a historikus adatok Huglin-index-értékei is bőven meghaladják ezeknek a fajtáknak a hőösszegigényét.

A 20. ábrán az Huglin- és a Winkler-index értékek négy idősorának eredményei láthatóak. A klímamodell által becsült 1961-1990-es időszakban az *HI* átlagértéke 1815 °C (20. ábra), mely szignifikánsan kisebb, mint 1977 és 2003 között ($p < 0,001$). Az éghajlati modell 2021-2050

közötti adatsorára 2012 °C, 2071 és 2100 közötti időszakra már 2462 °C átlagos hőösszegértéket becsül, az idősorok eredményei páronként szignifikánsan eltérnek ($p < 0,05$).

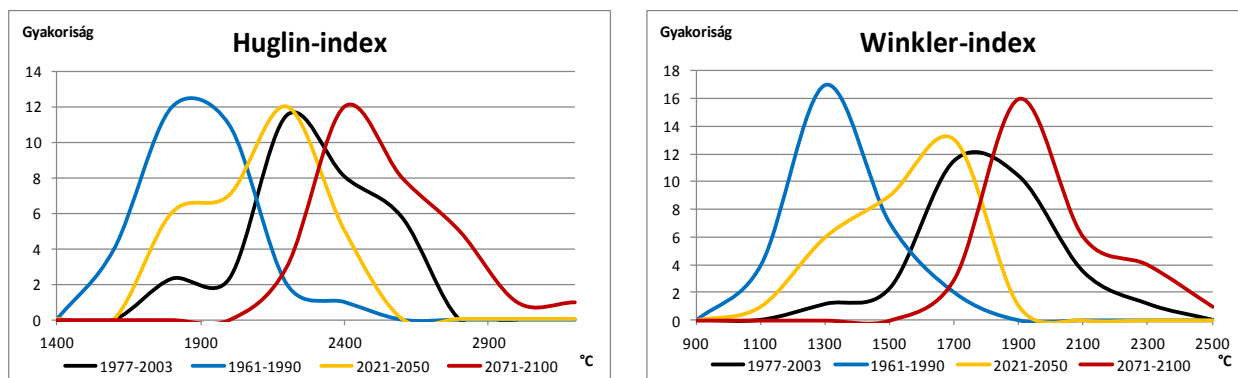
16. táblázat: Hőmérséklet indikátorok átlag és szórás eredményei (kerekített értékek) a 1977-2003-as megfigyelt időszakra, illetve a RegCM3.1 regionális klímamodell 1961-1990-es, 2021-2050-es és a 2071-2100-as becsült adataiból számítva az idősorok páronkénti összehasonlításával

<i>Hőmérsékleti indikátorok</i>	1977-2003		1961-1990		2021-2050		2071-2100	
	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
<i>Huglin-index (HI)</i> [°C]	2193 a	231	1815 b	175	2012 c	207	2462 d	232
<i>Winkler-index</i> (WI) [°C]	1709 a	208	1255 b	142	1439 c	177	1879 d	191
<i>Biológiailag hatásos hőösszeg (BEDD)</i> [°C]	1333 c	99	1073 a	94,5	1203 b	100	1394 c	85
<i>Júliusi átlaghőm.</i> (MJuT) [°C]	23 b	2	20 a	2	21 a	2	24 c	2
<i>Januári átlaghőm.</i> (MJaT) [°C]	-1 a	3	1,5 b	2	3 b	2	4 c	2
<i>Tenyészedőszak átlaghőm(GSAT)[°C]</i>	18 c	1	15 a	1	16 b	1	19 d	1
<i>Tenyészedőszak átlagos maxhőm.</i> (GSATX) [°C]	23 b	1	21 a	1	22 ab	1	25 c	1
<i>Tenyészedőszak átlagos minhőm.</i> (GSATN)[°C]	11 a	1	11 a	1	12 b	1	13 c	1
<i>Szüretidei átlagos maxhőm. (HMX),</i> [°C]	26 b	1	24 a	1	25 ab	2	28 c	2
<i>Téli minhőm.(WMN),</i> [°C]	-17 a	4	-11 b	4	-8 c	3	-5 d	3
<i>Érésidei középhőm.(RAT) [°C]</i>	17 b	1	15 a	1	16 a	1	18 b	2
<i>Hideg éjszaka index</i> (CNI) [°C]	10 a	1	11 b	1	11 a	1	14 b	2
<i>Kontinentalitás (CO)</i> [°C]	24 b	2	19 a	2	18 a	2	20 a	3

A különböző betűk szignifikánsan különböző értékeket jelölnek $p < 0,05$ szinten.

Mivel a megfigyelt időszak időrendben a referencia-időszak és a 2021-2050-es időszak között helyezkedik el, ezért az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a megfigyelt értékek mindkét index esetében nagyobb fokú melegedést mutatnak a referencia-időszakhoz képest, mint azt a klímamodell a 21. század közepéig prognosztizálta. Ebből következően a 2071-2100-as időszakra az ábrán láthatónál nagyobb felmelegedésre kell számítanunk, azaz a klímamodell előrejelzésénél pesszimistább változásra számíthatunk. Az évszázad végére tehát

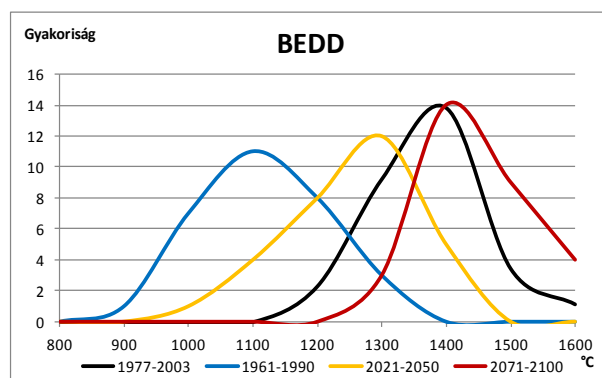
megközelíthetjük vagy elérhetjük Kalifornia, Közép-Olaszország vagy Észak-Spanyolország napjainkban érvényes 2500 °C körüli Hugin-index értékeit (Jones et al., 2009).



20. ábra: Az Hugin- és Winkler-index értékek 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

A kecskeméti számítások szerint 1977 és 2003 között az átlagos Winkler-index (WI) érték 1709 °C, 208 °C-os átlagos szórással. Vagyis ez a termőhely a Winkler-skála szerint a III. (meleg mérsékelt) régióba tartozik. Az évenkénti adatok ebben az esetben is szignifikánsan emelkedő tendenciát mutatnak ($p < 0,001$). A legnagyobb Winkler-index érték (2157 °C) a 2000-es évben gyűlt össze. 1961 és 1990 között a klímamodell átlagosan 1255 °C-ot becsült (20. ábra, hűvös kategória), 2021 és 2050 között 1439 °C-ot (mérsékelt kategória), míg 2071 és 2100 között már 1879 °C-ot (meleg-mérsékelt). Az idősorok eredményei páronként szignifikánsan eltérnek ($p < 0,05$).

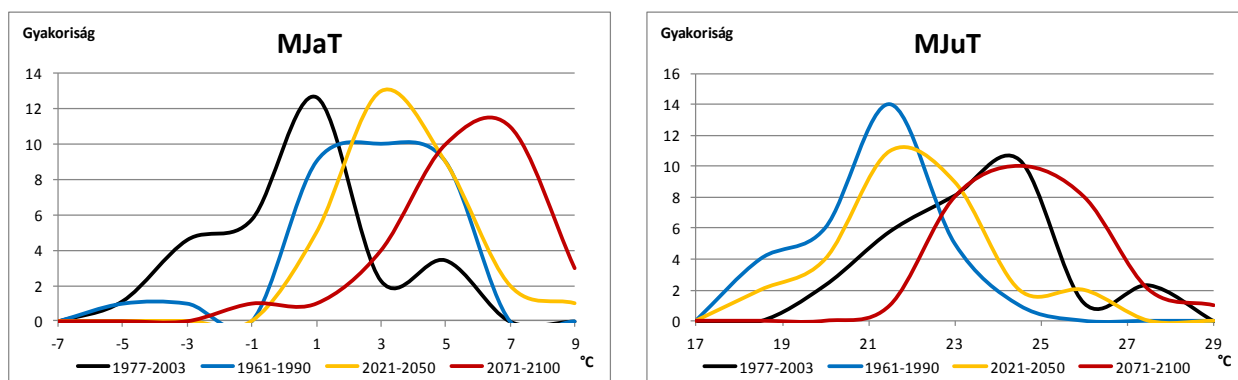
A hatásos hőösszegnek a borok minősége alakulására gyakorolt hatásának több mint 100 éves adatokra kiterjedő vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a borok minősége a hatásos hőmennyiség növekedésével javul, csökkenésével pedig romlik (Kozma, 1991). Csepregi (1997) az 1950-es évektől évjáratkutatásokat végzett Kecskemét Miklóstelepen a teljes hőösszeg (0 °C feletti napi középhőmérsékletek összege a tenyészdőn belül) és a hatásos hőösszeg (+10 °C feletti napi középhőmérsékletek összege a tenyészdőn belül) értékek vonatkozásában. 50 éves átlagban a teljes hőösszeg Miklóstelepen 3256 °C volt, míg a hatásos hőösszeg 1356 °C. A minőségi borszőlőtermesztésnek az 1200 °C feletti hatásos hőösszegek kedveznek (Csepregi, 1997).



21. ábra: A biológiailag hatásos hőösszeg értékek (*BEDD*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

A biológiailag hatásos hőösszeg (*BEDD*) kecskeméti átlagos értéke 1977 és 2003 között 1333 °C, 99 °C-os átlagos szórással (21. ábra). 2000-ben volt a legmagasabb ez az érték, 1594 °C. 1961 és 1990 között 1073 °C átlagos értéket becsültünk, 94,5 °C szórással. 2021 és 2050 között 1203 °C-ot, 2071 és 2100 közötti időszakra pedig már 1394 °C-ot, 85 °C szórással. A változás a megfigyelt időszakban (1977-2003) szignifikáns ($p < 0,001$). A megfigyelt időszakhoz képest a becsült (1961-1990) és az első előrejelzett időszak (2021-2050) változásai szintén szignifikánsak ($p < 0,001$). A 2071 és 2100 közötti időszakra előrejelzett átlagérték a megfigyelt időszakhoz képest nem tér el szignifikánsan ($p = 0,418$).

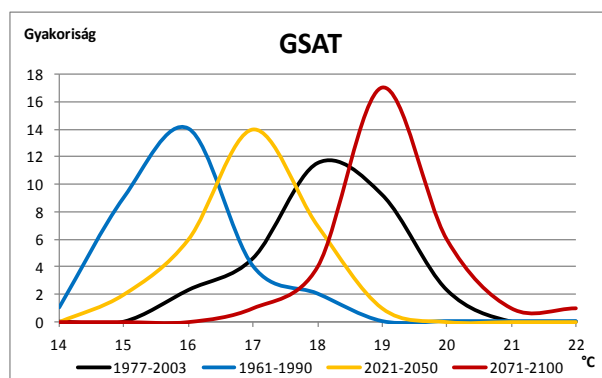
A júliusi középhőmérséklet Magyarországon 50 éves átlagban 20,1-22,7 °C (Kozma, 1991). Kecskeméten 26 °C-os júliusi középhőmérsékletet mértek 1994-ben és 1996-ban. 1977 és 2003 között átlagos júliusi középhőmérséklet (*MJuT*) 23 °C volt. Ez szignifikáns emelkedést mutat ($p < 0,01$). A három becsült idősor átlagértékei a júliusi középhőmérsékletre 20 °C (1961-1990), 21 °C (2021-2050) és 24 °C (2071-2100). A megfigyelt időszakhoz képest az 1961-1990-es időszak átlagértéke szignifikáns eltérést mutat ($p < 0,001$). A 2021-2050-es időszak átlagértéke is szignifikánsan eltér a megfigyelt időszaktól, de kisebb mértékben ($p < 0,01$). Még kisebb a különbség, de szignifikáns ($p < 0,05$) a 2071-2100-as időszak átlagértékének eltérése az 1977-2003-as periódus átlagértékéhez képest. A 30 évre vetített gyakorisági hisztogramon látható a júliusi középhőmérsékletek eltolódása, vagyis a megfigyelt időszak majdnem a 21. század végére becsült átlagértékkel rendelkezik (22. ábra). A szőlőtermesztésnek általában kedvező az éghajlat, ha a júliusi középhőmérséklet legalább 18 °C. A közepes minőségű termések eléréséhez 17-19 °C júliusi középhőmérséklet szükséges. A pezsgőbor-alapanyag termesztéséhez a legmelegebb nyári hónapokban (június, július, augusztus) 16-24 °C, a különleges minőségű borok alapanyagának termesztéséhez 20-28 °C, a szállítható kései érésű csemegeszőlők termesztéséhez 22 °C feletti, az aszaltszőlőalapanyag-termesztéshez pedig legalább 25 °C középhőmérséklet szükséges (Bényei et al., 1999).



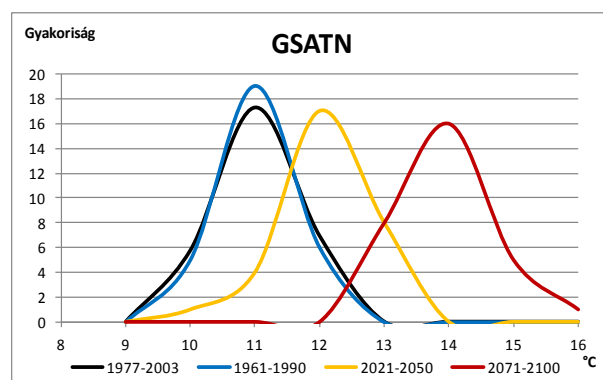
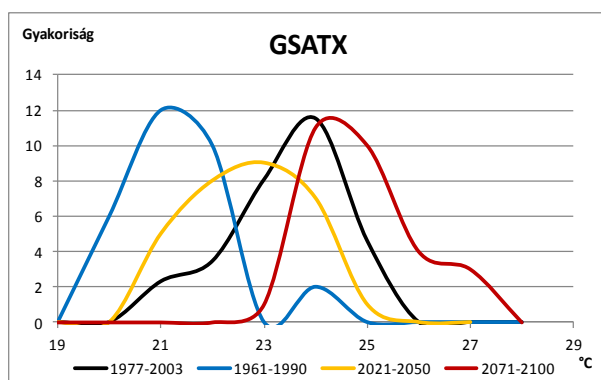
22. ábra: A júliusi és januári átlaghőmérséklet értékek (*MJuT*, *MJaT*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszetekre

1977 és 2003 között az átlagos januári középhőmérséklet (*MJaT*) -1°C . A 27 év alatt legalacsonyabb értékeket 1985-ben (-6°C) és 1987-ben (-5°C) mérték. Ennél az indikátornál a megfigyelt 27 év alatt nem történt szignifikáns változás ($p=0,20$). A RegCM3.1 klímamodell a januári átlaghőmérsékletre a 1961-1990-es időszakra $1,5^{\circ}\text{C}$ -ot becsül ($p<0,01$), a 2021-2050-es időszakra 3°C -ot ($p<0,001$), (a referencia-időszak és a 2021-2050-es becslés egymástól nem tér el szignifikánsan, $p=0,132$); a 2071-2100-as időszakra már 4°C -ot prognosztizál ($p<0,001$). Mindez jelentheti azt, hogy korábban kezdődik a kényszernyugalmi időszakban a hőösszegek gyűjtése a szőlőnövények esetében, korábbi rügyfakadást feltételezve, ami további kockáztnövelő tényező a tavaszi fagykárok szempontjából. A 30 évre vetített gyakorisági ábrán (22. ábra) jól látható a januári középhőmérséklet pozitív értékek felé történő eltolódása a jövőben.

A tenyészidőszakok átlaghőmérséklete (*GSAT*, 23. ábra) is növekvő tendenciát mutat 1977-től 2003-ig ($p<0,001$). 1977 és 1981 között még csak a 16°C és 17°C -os átlaghőmérsékletek váltják egymást, majd ez az érték 1982 és 1992 között már 17°C és 18°C között mozog, a magasabb érték gyakoribb előfordulásával. 1992 és 2003 között nincs 17°C alatt a tenyészidőszakok átlaghőmérséklete, inkább a 19°C -os értékek fordulnak elő. A 27 év vegetációs periódusainak átlagos hőmérséklete 18°C volt ($p<0,001$). A legmagasabb mért érték 2000-ben 20°C volt. Az éghajlati modellünk 1961-1990-re 15°C -ot becsült, ami a megfigyelt időszakhoz képest kevesebb, a különbség szignifikáns ($p<0,001$). A 2021-2050-re 16°C és 2071-2100-ra 19°C tenyészidei átlaghőmérsékletet jósol, a változás itt is, mindkét esetben szignifikáns ($p<0,001$ és $p<0,01$). A nyári hőmérsékletnek nagy hatása van a minőség alakulására. Magyarországi viszonyok között a június-szeptemberi középhőmérséklet 1°C -kal történő emelkedése a must cukortartalmát literenként mintegy 20 grammal növeli (Bényei et al., 1999).



23. ábra: A tenyészidőszak átlaghőmérsékletének (*GSAT*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra



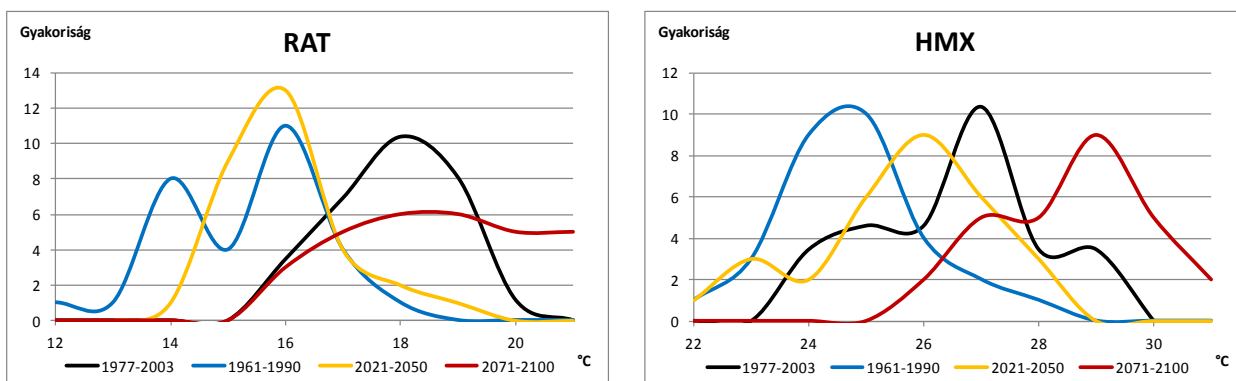
24. ábra: A tenyészidei átlagos maximum- (*GSATX*) és minimum-hőmérsékletek (*GSATN*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

A tenyészidőszak átlagos maximum-hőmérséklete (*GSATX*, 24. ábra) az elmúlt évtizedekben ugyancsak szignifikánsan emelkedett ($p < 0,001$). Míg a 70-es évek végén ez az érték csak 20-22 °C volt, addig az ezredforduló környékén 23-25 °C-ra emelkedett. A 27 év vegetációs periódusainak átlagos maximum-hőmérséklete 23 °C volt. A változás ez idő alatt erősen szignifikáns volt ($p < 0,001$). Éghajlati modellünk a 21. század végére átlag 25 °C tenyészidei átlagos maximum-hőmérsékletet jelez ($p < 0,001$). A megfigyelt időszak a 2021-2050-re becsült értékekhez hasonlít leginkább ($p = 0,165$).

A tenyészidőszak átlagos minimum-hőmérséklete (*GSATN*, 24. ábra) az 1977 és 2003 közötti időintervallum kezdetén átlagosan 10 °C volt, az ezredfordulóra ez az érték 11-12 °C lett. A 27 év átlagos értéke 11 °C, a változás nem szignifikáns ($p = 0,11$). A 1961 és 1990 között becsült átlagos érték szintén 11 °C, így itt sincs szignifikáns különbség ($p = 0,90$). 2021-2050, valamint 2071-2100-ra ezek az átlagértékek 12, illetve 13 °C-ra fognak emelkedni a modell szerint. A változás szignifikáns ($p < 0,001$). Ezeket az eredményeket jól tükrözik a 24. ábra 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjainak görbéi. Az érésidő átlaghőmérséklete (*RAT*) és a szüreti időszak maximum-hőmérséklete (*HMX*) szignifikánsan emelkedő tendenciát mutat a megfigyelt években

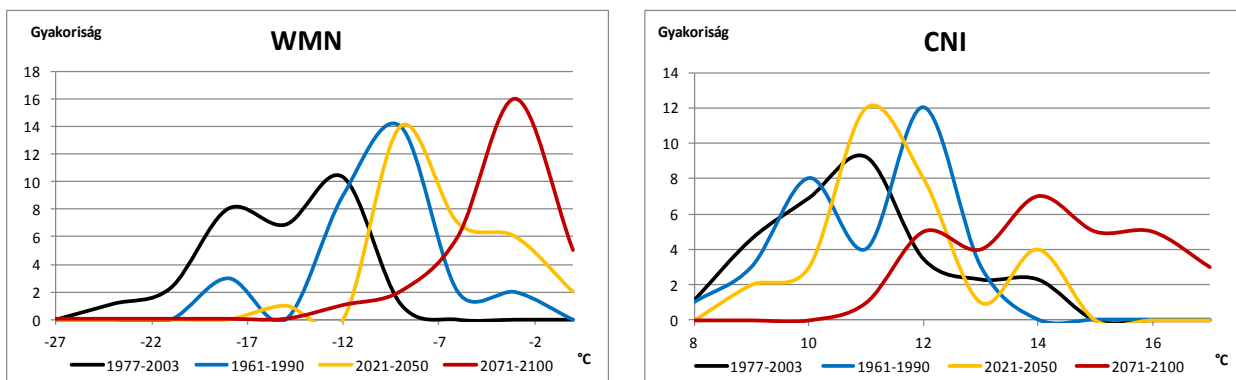
($p < 0,001$, 25. ábra). Az érésideő átlaghőmérséklete 1977 és 2003 között $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. 2100-ra ez az érték $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra változhat ($p = 0,93$). A 30 évre vetített gyakorisági ábrán jól látható, hogyan tolódik el a jövőben az érésidei átlaghőmérséklet a megfigyelt évekhez képest.

A szüreti idő átlagos maximum-hőmérséklete (*HMX*) 1977-2003 között $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, az új évezred kezdetére szignifikánsan emelkedett ($p < 0,001$). Ezt az értéket csak a 2071-2100-ra prognosztizált $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os átlagos maximum-hőmérséklet múlja felül ($p < 0,001$).



25. ábra: Az érésideő átlaghőmérsékletének (*RAT*) és a szüreti idő átlagos maximum-hőmérsékletének (*HMX*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

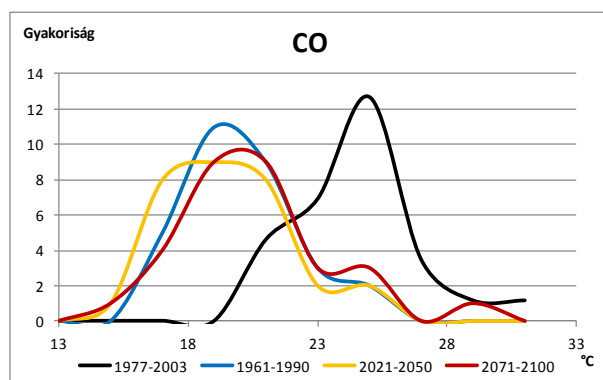
A téli minimum-hőmérséklet (*WMN*) értékei erős ingadozást mutattak a 27 év alatt, az átlagérték $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os szórással (26. ábra). Nincs szignifikáns változás az időszak alatt ($p = 0,61$). Az 1961 és 1990 közötti időszakra a becslések szerint a téli minimum-hőmérséklet átlagértéke $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$. A jövőben 2021-2050 között $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra, 2071-2100-ra $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra nőhet ez az érték. Mindhárom érték szignifikáns különbséget jelent a mért időszakhoz képest ($p < 0,001$). A 26. ábra hisztogramjai jól alátámasztják azt a tendenciát, mely szerint a jövőben a téli minimum-hőmérsékletek a magasabb értékek felé közelítenek.



26. ábra: A téli minimum-hőmérséklet (*WMN*) és a hideg éjszaka index (*CNI*) értékeinek 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

A hideg éjszaka index (*CNI*) a szeptemberi minimum-hőmérsékletek átlagát jelenti (26. ábra). Ennél az indikátornál nem látható lineáris emelkedés vagy csökkenés a 27 éves adatsort tekintve ($p=0,77$). Átlagértéke $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, a nagyon hűvös éjszakájú érési időszakot jelenti (*CI+2*). Azonban 1961 és 1990 ($p=0,44$), valamint 2021 és 2050 ($p<0,05$) között már $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot jelez a modell, majd 2071-2100 között ugrásszerűen megnő ez az érték, és eléri a $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os átlagot az előrejelzések szerint ($p<0,001$), ami már a mérsékelt éjszakájú kategória (*CI-1*). Tehát szignifikáns változásra számíthatunk a 21. század végéig. Általánosságban elmondható, hogy a meleg éjszakai hőmérséklettel (*CI-2*) rendelkező érési időszakra az aromaanyagok elvesztésének tendenciája figyelhető meg. A vörös fajták esetében a viszonylag halvány szín kockázata is megnőhet. Másfelől a hűvös éjszakai hőmérsékleti feltételek az érés során alapvetően kedvezőek a szőlő szín és aromaanyagai számára. A nagyon hűvös éjszakai hőmérsékletű érési időszakban ($12\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt), a szőlő szín és aromaanyagainak magas potenciálját fedezték fel, ha a teljes érés feltételei biztosítottak (a legtöbb neves fehérbor ebből az éghajlati zónából származik). Természetesen az érési potenciál nagyon gyenge is lehet, ha a jó érés feltételei, különösen a heliotermikus feltételek, nem biztosítottak (Tonietto és Carbonneau, 2004).

A kontinentális (*CO*) hatás értékei nem mutatnak szignifikáns eltérést ($p=0,58$) a megfigyelt időszakban. A kontinentális hatás a megfigyelt időszakra adta a legmagasabb átlagértéket, $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot (27. ábra), 1961-1990-es időszakra $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot ($p<0,001$), 2021-2050-re $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot ($p<0,001$) és 2071-2100-ra $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot ($p<0,001$) jósol a modell.



27. ábra: A kontinentális (*CO*) hatás indexértékeinek 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

Száraz, csapadékszegény idővel párosulva a magas hőmérséklet a levél és bogyóperzselést fokozza, különösen a sötét bogyójú fajtáknál (Kozma, 1991). A 30 évre vetített gyakorisági ábrán a becsült (1961-1990) és az előrejelzett időszakok (2021-2050, 2071-2100) szinte fedik egymást, míg a megfigyelt időszak már magasabban fekszik. Ennek oka lehet az is, hogy a júliusi felmelegedés a becsültnél erősebb, a januári megfigyelt középértékek azonban alacsonyabb a becsültnél. Másfelől a modell a kontinentalitás tekintetében nem jósol változást,

és mi ezt az utóbbit tartjuk valószínűnek, a becslétnél némileg magasabb várható júliusi, és nem magasabb, vagy alacsonyabb várható januári hőmérsékletekkel.

Extremális indikátorok

A vizsgált évek (1977-2003) extrém hőségnapjainak átlagos számát (*NEHD*), a meleg (*NHD*) és a nyári napok (*NSD*) számát a 17. táblázat első három sorában látjuk. Mindhárom indikátor esetében emelkedés figyelhető meg a vizsgált időszakban (28. ábra), a változás szignifikáns ($p < 0,001$).

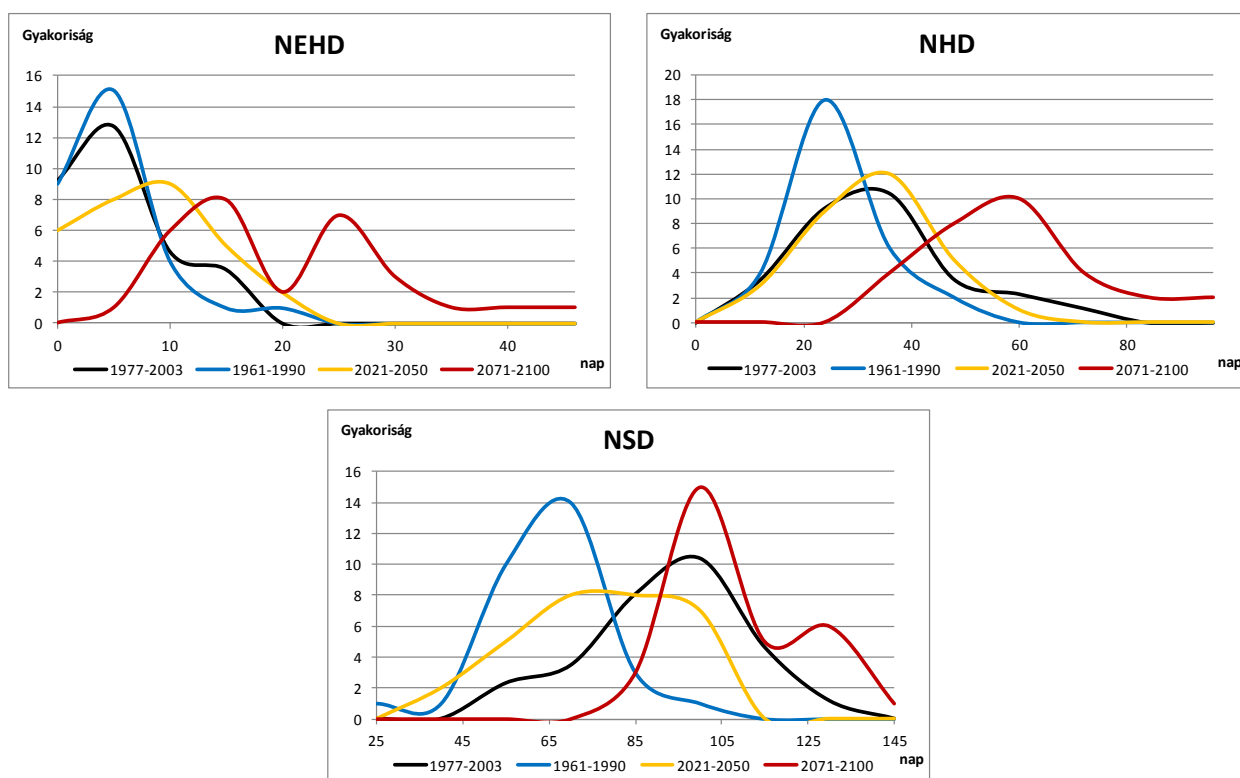
17. táblázat: Extremális indikátorok átlag és szórás eredményei az 1977-2003-as megfigyelt időszakra, illetve a RegCM3 regionális klímamodell 1961-1990-es, 2021-2050-es és a 2071-2100-as becslült meteorológiai adataira alapozva

<i>Extremális indikátorok</i>	1977-2003		1961-1990		2021-2050		2071-2100	
	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
<i>Extrém meleg napok száma (NEHD) [nap]</i>	4 a	5	3 a	4	7 a	5	19 b	10
<i>Meleg napok száma (NHD) [nap]</i>	29 a	15	21 a	9	27 a	12	53 b	16
<i>Nyári napok száma (NSD) [nap]</i>	85 b	19	59 a	13	72 b	17	102 d	16
<i>Fagyos napok száma (NFD) [nap]</i>	62 d	13	47 c	12	34 b	12	22 a	12
<i>Jeges napok száma (NID) [nap]</i>	8 c	8	3 b	5	1 ab	2	0 a	1
<i>Szőlő fagyindex (F8D) [nap]</i>	12c	10	4b	6	2ab	3	0a	1
<i>Szőlő súlyos fagyindex (FS15D) [nap]</i>	2b	4	0ab	1	0a	0	0a	0
<i>Tavaszi fagyos napok száma (NSFD) [nap]</i>	15 b	7	13 b	7	8 a	6	5 a	5
<i>Őszi fagyos napok száma (NFFD) [nap]</i>	15 c	7	9 b	6	6 b	4	2 a	2
<i>Gladstones féle tavaszi fagyind. (SFIGlad) [°C]</i>	13 b	2	11 a	1	12 ab	2	11 a	2
<i>Wolf-Boyer féle tavaszi fagyind. (SFIWB) [°C]</i>	5,82 c	1	4,59 a	1	5,11 b	1	4,81 ab	1
<i>Júliusi hőmérsékleti terjedelem (DR) [°C]</i>	25 a	3	25 a	2	26 ab	3	27 b	3
<i>Áprilisi átlagos napi hőingás (MADR) [°C]</i>	12 c	1	9 a	1	10 b	1	10 ab	1
<i>Szüreti átlagos napi hőingás (MHDR) [°C]</i>	12 c	1	10 a	1	10 ab	1	11 b	1
<i>Érésidei napi hőingás összege (ET) [°C]</i>	1919 c	172	1602 a	118	1642 a	139	1738 b	118
<i>Riberau-Gayon-Peynaud Index (RGP) [°C]</i>	2032 c	259	1549 a	236	1791 b	287	2287 d	280

Az 1961-1990-es időszak extrém meleg napjainak száma a megfigyelt időszakhoz képest nem tér el jelentősen ($p=0,348$). A modell a 2021-2050-es időszakra már enyhébb emelkedést jelez ($p=0,075$). A 2071-2100 közötti időszakra a megfigyelt értékekhez képest az átlagértékek szignifikánsan ($p<0,001$) megemelkednek, vagyis az egy évben bekövetkező hőségnapok száma az 1977-2003-as átlagos 4 napról, akár 19 napra is emelkedhet az évszázad végére. A túl magas léghőmérséklet ($>35\text{ °C}$) következtében a szőlőnövény fotorespirációs, légzési folyamatai felgyorsulnak mind a vegetatív részekben, mind a fűtőkben. A disszimilációs, lebontó folyamatok miatt jelentékeny cukorvesztés (főként glükóz) és savvesztés (almasav) alakulhat ki. Ilyen esetekben gyakran indokolt a savszegény borok és a diszharmónia megakadályozása érdekében a must vagy a bor savkiegészítése is (Kádár, 1998).

A különböző betűk szignifikánsan különböző értékeket jelölnek $p<0,05$ szinten.

A meleg napok száma (*NHD*) hasonló tendenciát mutat az extrém meleg napok számához. A megfigyelt időszakban ez az érték átlagosan 29 nap. 1961-1990-re ezt a számot 21 napra becsültük. A 2021-2050-es időszakra a modellünk 27 napot jósol ($p=0,496$), 2071-2100-ra pedig már 53 napot, ami szignifikáns növekedést jelent ($p<0,001$).



28. ábra: Az extrém meleg napok számának (*NEHD*), a meleg napok számának (*NHD*) és a nyári napok számának (*NSD*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

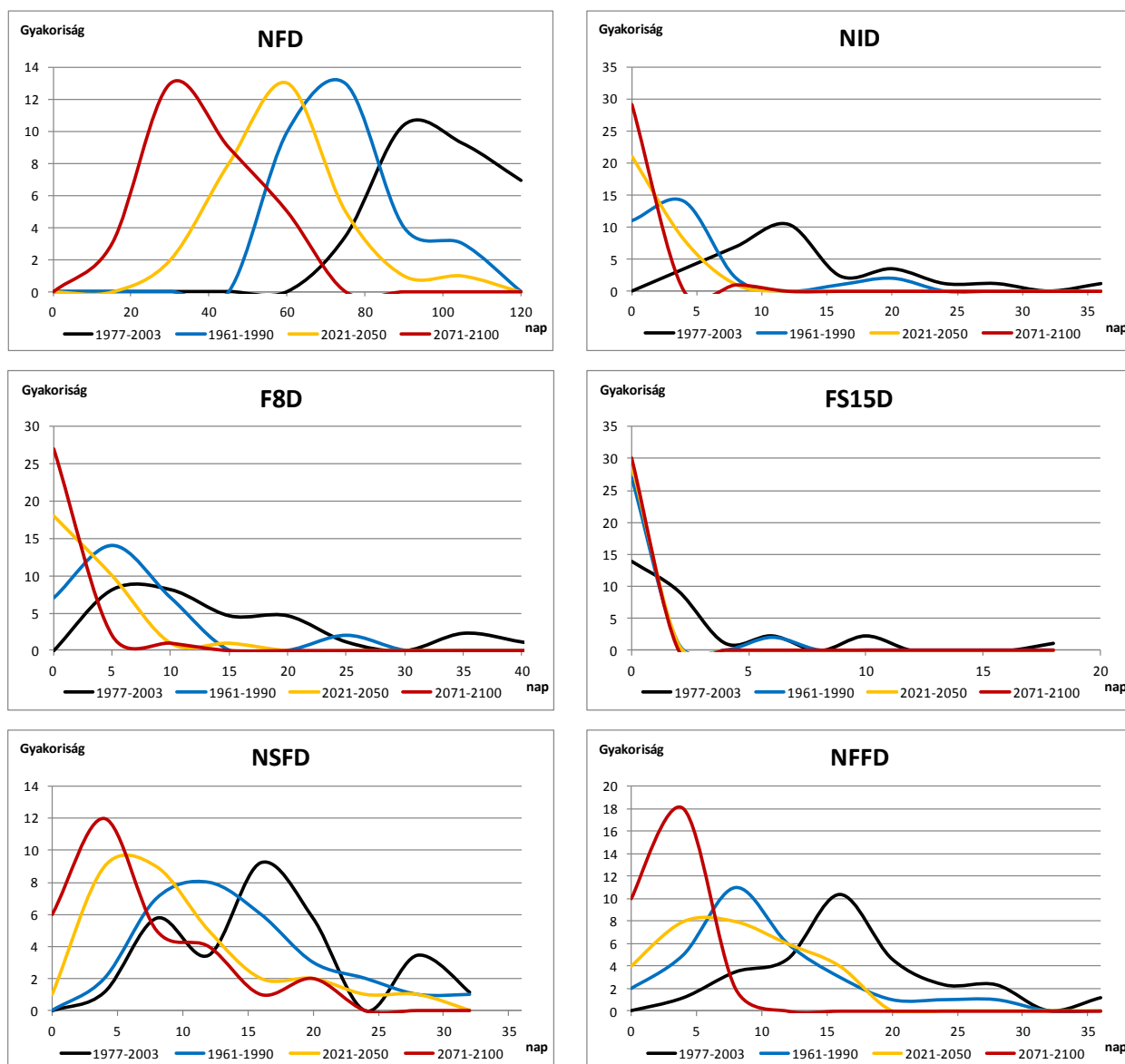
A nyári napok számát tekintve hasonló helyzet alakult ki, szignifikáns emelkedést csak a 2071-2100-as időszakra jósolt a modell ($p < 0,001$). Főként a Dél-Alföldön figyelembe kell venni, hogy a 30 °C feletti hőmérsékleti maximumokkal járó hőségnapok száma lényegesen magasabb (25-30) a többi borvidékre jellemző átlagokhoz (5-10) képest. A több hőségnap kedvezőtlen hatását fokozza, hogy a homoktalajok átforrósodása miatt a szőlőültetvények állományklímája (talajszint felett 1 m magasságban) akár 5-6 °C-kal magasabb lehet, mint a meteorológiai állomásokon meghatározott léghőmérséklet (Teszlák et al., 2009).

A fagyos napok (*NFD*), a jeges napok (*NID*), a tavaszi (*NSFD*) és az őszi fagyos napok száma (*NFFD*) vegyes képet mutat (29. ábra). A fagyos napok száma emelkedést mutat 1977 és 2003 között, az eltérés szignifikáns ($p < 0,05$). Azonban a három becsült idősorra szignifikáns csökkenést jósolt a modell ($p < 0,001$), a századfordulóra ez 30 napra is csökkenhet, szemben a megfigyelt időszak 94 napjához képest.

A jeges napok számában (*NID*) nincs szignifikáns különbség ($p = 0,50$) a megfigyelt éveket összehasonlítva (29. ábra). Ez átlagosan 12 nap évente. A modell szerint a 2021 és 2050-re, valamint 2071 és 2100-ra ez a szám csökkenni fog, 1 illetve akár 0 napra, a várt változás szignifikáns ($p < 0,001$). A -8°C, illetve a -15°C alatti minimumhőmérsékletű napok számában, (szőlő fagyindex, *F8D*, szőlő súlyos fagyindex, *FS15D*) nincs szignifikáns különbség ($p = 0,50$) a megfigyelt éveket összehasonlítva (29. ábra). Ez átlagosan 12,4, illetve 2,5 nap évente. A modell szerint a 2021 és 2050-re, valamint 2071 és 2100-ra ez a szám csökkenni fog akár 0 napra, a várt változás szignifikáns ($p < 0,001$).

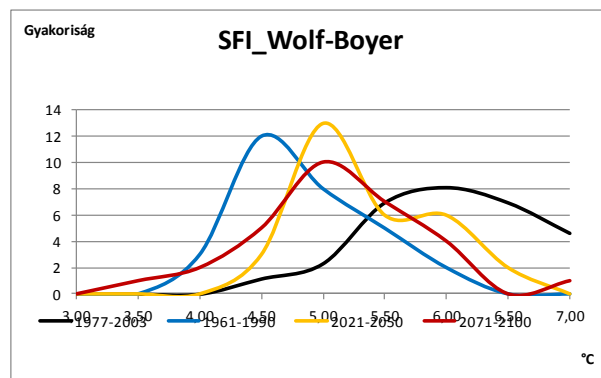
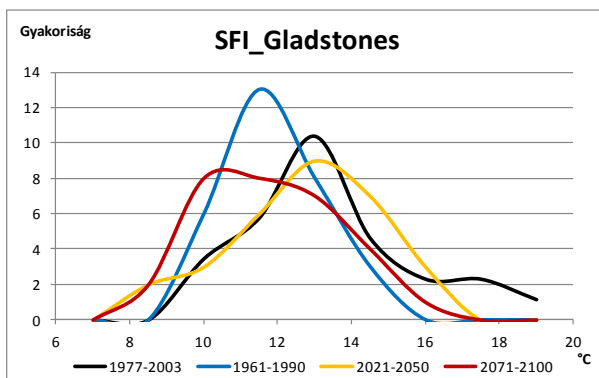
A tavaszi fagyos napok számát (*NSFD*) tekintve emelkedés történt az ezredforduló környékén, a változás szignifikáns ($p < 0,05$, 29. ábra). A jövőben szignifikáns csökkenést várhatunk, mivel 1961-1990-re a modell már csak 13 tavaszi fagyos napot becsült a megfigyelt 15-höz képest, majd az előrejelzések szerint 2021-2050-re ez 8 napra, 2071-2100-ra 5 napra csökkenhet ($p < 0,001$).

Az őszi fagyos napok száma (*NFFD*) nem mutat szignifikáns eltérést ($p = 0,82$), ha az 1977 és 2003 között megfigyelt időszak átlagértékeit vizsgáljuk (29. ábra). A további vizsgált időszakokra becsült és előrejelzett értékek azonban szignifikáns csökkenést mutatnak ($p < 0,001$).



29. ábra: A fagyos (*NFD*) és jeges napok (*NID*) számának, a szőlő fagyindexnek (*F8D*), a szőlős súlyos fagyindexnek (*FS15D*), valamint a tavaszi (*NSFD*) és őszi fagyos napok (*NFFD*) számának 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

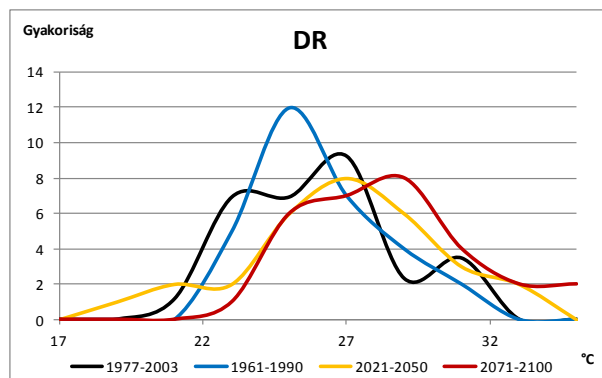
A Gladstones-féle ($p < 0,001$) és a Wolf-Boyer féle tavaszi fagyindex ($p < 0,01$) átlagértékek csökkenő tendenciát mutatnak 1977 és 2003 között (30. ábra). A Gladstones-féle tavaszi fagyindex 1961-1990-re becsült értéke szignifikánsan kisebb ($p < 0,01$) a megfigyelt időszakhoz képest, de 2021-2050-re a változás nem számottevő ($p = 0,165$), ám a 2071-2100-as időszakra az előrejelzés szignifikáns csökkenést mutat ($p < 0,01$).



30. ábra: A Gladstones és a Wolf-Boyer-féle tavaszi fagyindexek 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

A Wolf-Boyer-féle tavaszi fagyindex 1977 és 2003 között mért átlagértéke csaknem 6 °C, a változás a 27 éven belül szignifikáns ($p < 0,01$). Az 1961-1990-re becsült, a 2021-2050-re és a 2071-2100-ra előrejelzett átlagérték 5 °C körüli minhárom esetben. A változás a megfigyelt időszakhoz képest szignifikáns ($p < 0,001$); a referencia-időszak és a 2021-2050-re előrejelzett időszakok átlagértékeit egymáshoz hasonlítva szignifikáns változást tapasztalunk ($p < 0,05$), de a két előrejelzett időszak értékei között nem szignifikáns az eltérés ($p = 0,478$).

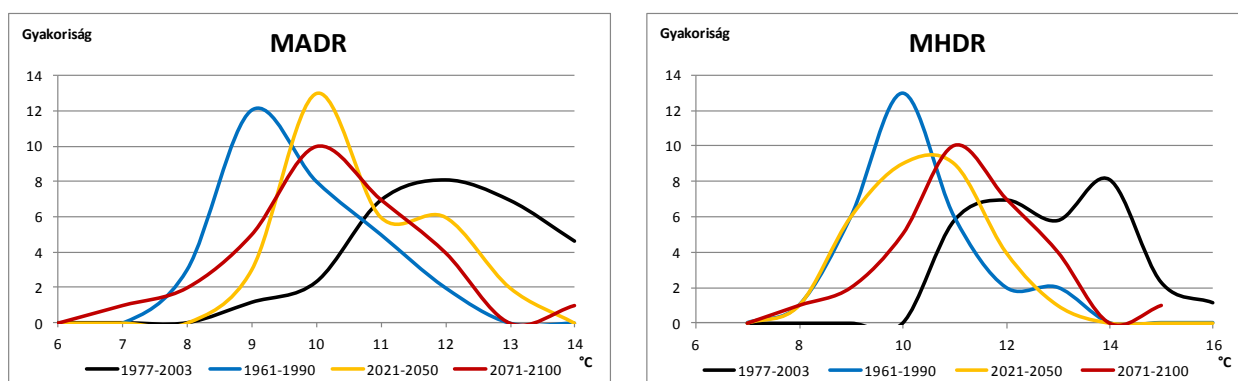
A hőmérséklet júliusi terjedelme (*DR*) 1977 és 2003 között 25 °C volt, a változás szignifikáns emelkedést mutat ($p < 0,01$, 31. ábra). 1961-1990-es időszakra a modell szintén 25 °C-ot becsült ($p = 0,852$). 2021-2050-re ez az érték 26 °C-ra emelkedik ($p = 0,312$), 2071-2100-ra pedig 27 °C-ra ($p < 0,01$).



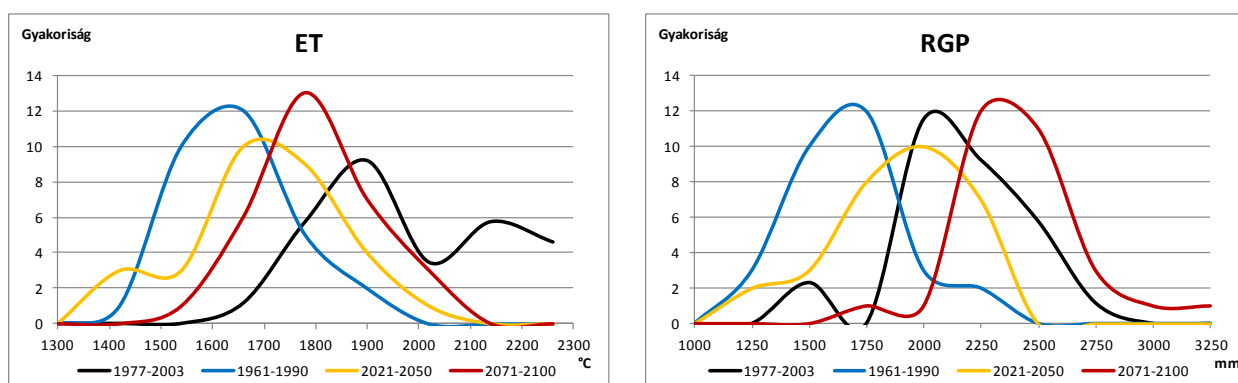
31. ábra: A júliusi hőmérséklet terjedelmének (*DR*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

Az áprilisi és a szüreti átlagos napi hőingás (*MADR*, *MHDR*), mindkét indikátor esetében mintegy 12 °C volt 1977 és 2003 között (32. ábra). Az áprilisi átlagos napi hőingás esetében szignifikáns változás történt ($p < 0,01$), a szüreti átlagos napi hőingás viszont nem mutatott szignifikáns változást ($p = 0,24$). Az áprilisi átlagos napi hőingásnak 1961 és 1990 között becsült értéke 9 °C ($p < 0,001$), 2021-2050-re és 2071-2100-ra előrejelzett értéke 10 °C körüli ($p < 0,001$).

A szüreti átlagos napi hőingás a modell szerint szintén szignifikánsan változik a jövőben ($p<0,001$).



32. ábra: Az áprilisi (*MADR*) és a szüreti (*MHDR*) átlagos napi hőingás 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra



33. ábra: Az érésidei napi hőmérséklet-ingadozás összege (*ET*) és a Riberau-Gayon-Peynaud-index (*RGP*) értékeinek 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

Az érésidei napi hőmérséklet-ingadozás összegét (*ET*) június 1-je és október 31-e között mérik (Zorer, 2008), ami a zsendülés, az érés és a szüret idejének hőviszonyairól ad információt. Az 1977 és 2003 között mért átlagos napi hőmérsékleti ingadozás összege 1919 °C volt. A 27 év alatt a változás szignifikáns ($p<0,05$), vagyis növekedés figyelhető meg az ezredforduló környékén a 70-es évek végéhez képest. A megfigyelt időszak átlagértékénél a becsült, 1961 és 1990 közötti időszak átlagértéke jóval alacsonyabb, csupán 1602 °C ($p<0,001$). A 2021-2050-es időszakra előrejelzett napi hőmérséklet-ingadozás összege 1642 °C ($p<0,001$), ami a referencia-időszakhoz képest nem mutat szignifikáns eltérést ($p=0,672$). A 2071-2100-ra előrejelzett átlagérték 1738 °C ($p<0,001$). Ezek az értékek jóval elmaradnak a megfigyelt időszak átlagértékéhez viszonyítva. Ez tükröződik a 33. ábra görbéin is.

A Riberau-Gayon-Peynaud (*RGP*) evapotranspirációs index értékei a bor alakuló cukor- és savtartalmára vannak hatással. A 30 évre vetített gyakorisági hisztogram görbéi a megfigyelt

időszakhoz képest szignifikáns növekedést csak a 2071-2100-as időszakra jeleznek ($p < 0,01$, 33. ábra). A megfigyelt időszakon belül (1977-2003) a változás szignifikáns ($p < 0,01$).

Csapadékindikátorok

A jövőbeli éghajlatváltozás kapcsán a csapadékmennyiségek változásának előrejelzése a legbizonytalanabb tényező (34. ábra). A legtöbb előrejelzés a Kárpát-medence területére csökkenő csapadékmennyiséget jelez. Ezért a csapadékmennyiségek mérése, kiértékelése igen nagy jelentőségű. Az 1977 és 2003 között mért csapadékindikátorok eltérései nem szignifikánsak. Az éves csapadékmennyiség a 27 év alatt nem változott ($p = 0,28$). A nyári ($p = 0,52$) és a téli csapadékmennyiségek ($p = 0,99$) a megfigyelt időszakban szintén nem változtak jelentősen. Ugyanez a helyzet a tenyészidőszak ($p = 0,17$), a virágzás ideje alatt ($p = 0,86$) és az érésidő alatti csapadékmennyiség ($p = 0,14$) tekintetében. A tenyészidőszak csapadékos napjainak száma 1977 és 2003 között szintén nem változott jelentősen ($p = 0,48$). A csapadéokra vonatkozó eredményeket a 18. táblázatban foglaltuk össze.

18. táblázat: Csapadékindikátorok átlag és szórás eredményei a 1977-2003-as megfigyelt időszakra, illetve a RegCM3 regionális klímamoddell 1961-1990-es, 2021-2050-es és a 2071-2100-as becslült meteorológiai adataira alapozva

<i>Csapadék-indikátorok</i>	1977-2003		1961-1990		2021-2050		2071-2100	
	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
<i>Éves csapadék-menny. (AR) [mm]</i>	474 a	107	628 b	96	583 b	112	614 b	123
<i>Nyári csapadék-menny. (SR) [mm]</i>	108 c	41	96 ab	39	92 ab	47	73 a	38
<i>Téli csapadék-menny. (WR) [mm]</i>	160 a	48	275 b	62	236 b	72	270 b	77
<i>Tenyészidő csapadékmenny. (GSR) [mm]</i>	317 a	84	346 a	84	344 a	96	339 a	80
<i>Virágzáskori csapadékmenny. (BPR) [mm]</i>	61 a	37	48 a	21	55 a	30	46 a	30
<i>Érésidő csapadékmenny. (RPR) [mm]</i>	79 a	39	94 a	36	107 a	51	106 a	52
<i>Tenyészidő csapadékos napjainak sz. (GSRD) [nap]</i>	60 a	10	92 d	12	84 c	12	75 b	12

A különböző betűk szignifikánsan különböző értékeket jelölnek $p < 0,05$ szinten.

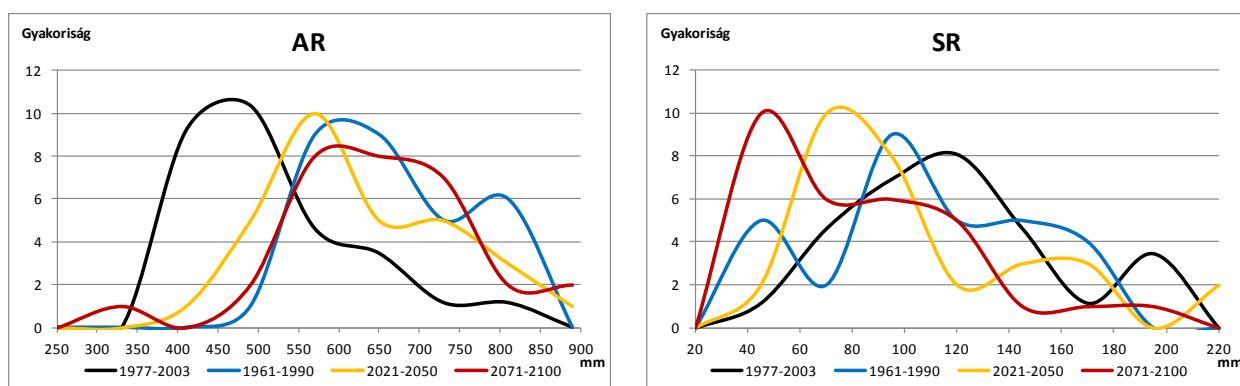
Az éves csapadékmennyiség-adatok (AR) 1977 és 2003 között a legtöbb esetben a magyarországi 500-800 mm átlagmennyiséget sem érték el. Az éves átlagos csapadékmennyiség ebben az időszakban 474 mm volt. A legtöbb csapadékot a modellünk az 1961-1990-es évekre

becsülte, átlagosan 628 mm-t ($p < 0,001$). A jövőre vonatkozóan pedig több csapadékot prognosztizál, mint 1977 és 2003 között. A 2021-2050 közötti időszakra átlagosan 583 mm-t ($p < 0,001$), 2071-2100-ra átlagosan 614 mm-t ($p < 0,001$). Ezek szignifikáns emelkedést jeleznek ugyan, de ez csupán egy éves átlagos adat, amit további részekre kell bontanunk, a tények pontosabb megismeréséhez.

Hiába hullik ugyanis átlagos, netán átlagon felüli csapadékmennyiség egy évben, nem mindegy, hogy ennek zöme a vegetációs periódusban, vagy esetleg a nyugalmi időszakban esik. Erre a kérdésre adnak választ a nyári (*SR*) és a téli csapadékmennyiség (*WR*), a tenyészidőszak csapadékmennyisége (*GSR*), a virágzás (*BPR*) és az érés ideje alatti csapadékmennyiség (*RPR*) indikátorok, valamint a csapadékos napok száma a tenyészidőszakban (*GSRD*).

A vegetációs időben átlagon felüli csapadékmennyiség és annak az érés idejében való tömeges lehullása akadályozza a szőlő jó beérését, és rothadási kárt okozhat. Ha a tenyészidő eleje csapadékos és meleg, veszélyezteti a termést a peronoszpóra és a szürkerothadás (Kozma, 1991).

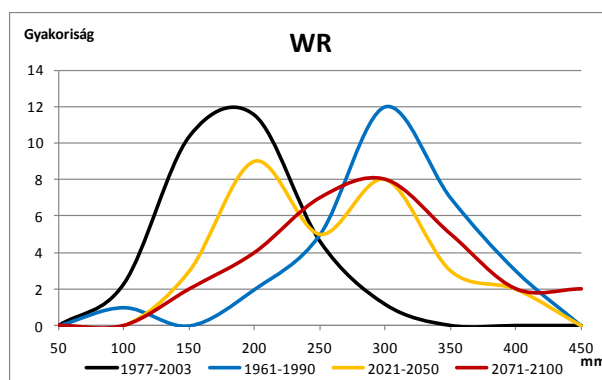
A nyári csapadékmennyiség-adatok átlagértékei közül a megfigyelt időszaké a legnagyobb, 108 mm. Változása a 27 év alatt nem szignifikáns ($p = 0,52$). Az 1961-1990-re becsült átlagos csapadékmennyiség 96 mm, mely szignifikánsan kevesebb a megfigyeléseknél ($p < 0,05$). 2021-2050-es időszorra a modell 92 mm átlagos csapadékmennyiséget jósol ($p < 0,05$), 2071-2100-ra pedig már csak 72 mm-t, ami már szignifikáns csökkenést mutat ($p < 0,01$). Vagyis hiába prognosztizált a modell valamivel több éves csapadékmennyiséget, ennek jelentős része a jövőben várhatóan a tenyészidőszakon kívül, azaz főleg a téli hónapokban fog lehullani.



34. ábra: Az éves (*AR*) és a nyári csapadékmennyiség (*SR*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

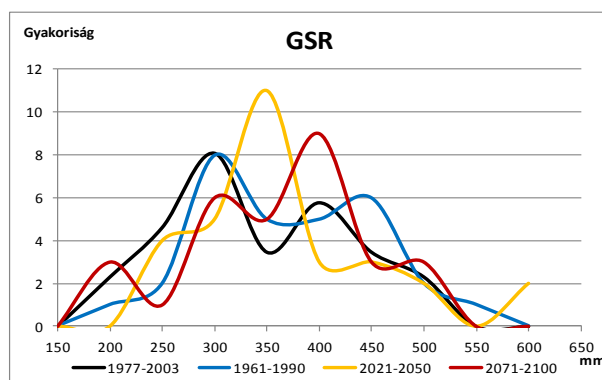
Ezt a jósolatot erősíti a téli csapadékmennyiségek értékeinek növekedése a 2021-2050-es és a 2071-2100-as időintervallumokban, a megfigyelt időszakhoz képest (35. ábra). 1977 és 2003 között átlagosan 160 mm téli csapadékmennyiséget mértek Kecskeméten. A 27 év alatt nem történt szignifikáns változás az egyes évek átlagértékeit figyelembe véve a mennyiség

szempontjából ($p=0,99$). A becst, 1961-1990-es időszakban a téli csapadékmennyiség 275 mm ($p<0,001$). 2021-2050-re 236 mm jelzett a modell ($p<0,001$) és 2071-2100-ra 270 mm-t ($p<0,001$). A változás csak a megfigyelt időszakhoz képest szignifikáns ($p<0,001$). Ha az 1961-1990-es időszakot hasonlítjuk össze a 2021-2050-nel, akkor nem szignifikáns a változás ($p=0,077$). Az 1961-1990-es időszakot összehasonlítva a 2071-2100-zal, nem szignifikáns a változás ($p=0,969$). Ugyanígy a 2021-2050-es évek és a 2071-2100-as évek csapadékmennyiségei egymáshoz képest nem mutatnak szignifikáns változást ($p=0,204$).



35. ábra: A téli csapadékmennyiségek (*WR*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

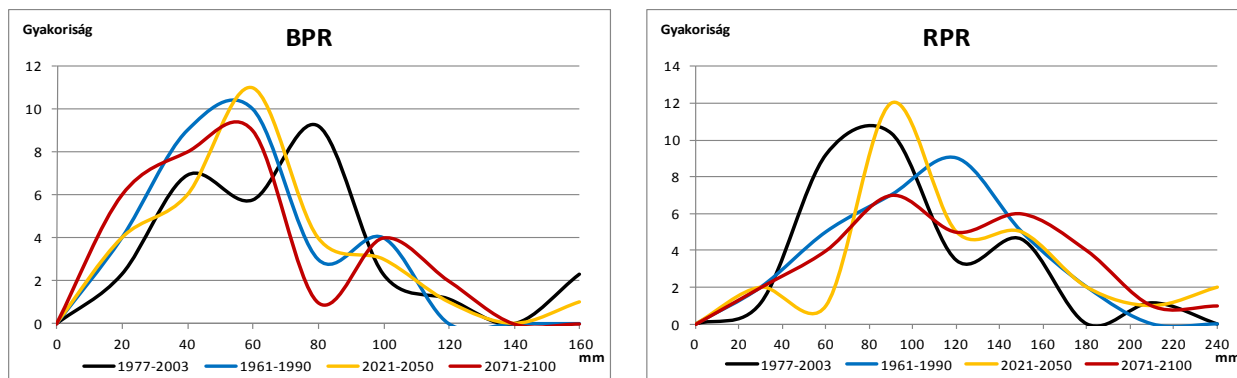
1977 és 2003 között, az összes vegetációs periódus átlagos csapadékmennyisége 317 mm volt ($p=0,17$, 36. ábra). 1961-1990-re becst átlagérték 346 mm ($p=0,20$). 2021-2050-re 344 mm-t ($p=0,27$), 2071-2100-ra 339 mm-t ($p=0,32$) jelez a modell. Vagyis az adott paraméterekkel rendelkező éghajlati modell szerint több csapadékban nem igen reménykedhetünk a tenyészidőszak során, nincs szignifikáns változás egyik irányban sem.



36. ábra: A tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség (*GSR*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

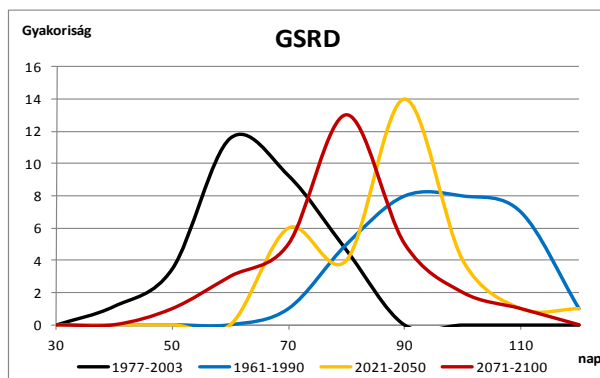
A virágzáskor (*BPR*) és az érés alatt hullott csapadékmennyiség (*RPR*) fontos tényezője a megfelelően kötődött fürtök és a jó, netán kiváló minőségű termés kialakulásának. A megfigyelt időszakban, a 27 év alatt átlagosan 62 mm csapadék hullott a virágzás során ($p=0,86$, 37. ábra).

Az 1961 és 1990 közötti átlagot 48 mm-re becsültük ($p=0,12$). A klímamodell szerint 2021 és 2050 között ez 55 mm lesz átlagosan ($p=0,51$), és 2071 és 2100 között 46 mm-es átlagra csökken ($p=0,10$), szignifikáns változás tehát nem várható.



37. ábra: A virágzási (*BPR*) és érési időszakban hullott csapadékmennyiség (*RPR*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

Az érés ideje alatti átlagos csapadékmennyiség (*RPR*) esetében viszont ennek ellenkezőjét tapasztaltuk. 1961-1990 közötti időszakra a modell átlagosan 94 mm-t becsült ($p=0,147$), az 1977-2003-as megfigyelt időszakra vonatkozó átlagérték 79 mm ($p=0,612$), ami csökkenést mutat a korábbi évekhez képest. 2021-2050-re ez az érték átlagosan már 107 mm ($p=0,108$), 2071-2100-ra 106 mm ($p=0,138$), tehát a változás nem szignifikáns.



38. ábra: A tenyészidőszak csapadékos napjainak (*GSRD*) 30 évre vetített gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

A tenyészidőszakok csapadékos napjainak átlagos számát (*GSRD*) az 1977-2003-as megfigyelt időszakra, az 1961-1990-es becsült időszakra és az előrejelzéseket 2021-2050-re, valamint 2071-2100-ra a 18. táblázat utolsó sorában foglaltuk össze (38. ábra). A referencia-időszakra, valamint a jövőre becsült adatok minden összehasonlításban szignifikáns csökkenést mutatnak ($p<0,05$). A megfigyelések (1977-2003) átlaga mindhárom, a modell által becsült időszak átlagánál szignifikánsan alacsonyabb ($p<0,001$).

Mindez azt jelenti, hogy várhatóan kevesebb idő alatt hullik le nagyjából ugyanannyi csapadék, és így a jövőben megnövekszik a peronoszpórás és botrytises megbetegedések várható gyakorisága, növekedhet a védekezésre fordított költség, illetve előtérbe kerülhet a rezisztens fajták telepítése.

4.2. Tenyészidő számítási módszerek kritikai összehasonlítása

A tenyészidőszakok hosszának meghatározásához kétféle módszert használtam. Az első módszer esetében a vegetációs periódust a tavaszi +10 °C-os középhőmérséklet beállásától a +10 °C-os középhőmérsékletű napok megszűnéséig számítjuk (Kozma, 1991). A másik módszer a szőlőtermesztésben alkalmazott interpolációs módszer. A 21. mellékletben a helvéciai adatokból számított tenyészidőszakok láthatóak, míg a 22. mellékletben a kecskeméti termőhely periódusait foglaltam össze.

A kétféle számítási módszer között *t*-próbával szignifikáns eltéréseket tudtam igazolni (19. táblázat). 1987-ben az I. módszer szerint május 24-én kezdődött a tenyészidőszak, míg az interpolációs módszerrel számítva ez a nap április 11-ére esett. Az is látható, hogy az interpolációs módszer az első módszerhez képest szisztematikusan korábbi tenyészidőszak-kezdetet ad eredményül. Ugyanilyen szisztematikus különbség a két módszer között a tenyészidőszak végének számítására vonatkozóan nem mondható el.

19. táblázat: A kétféle tenyészidőszak számítási módszer (I. és II.) statisztikai összehasonlítása mindkét idősorra

Évek	Módszer	T.i. eleje_JN	p	T.i. vége_JN	p	T.i. hossza_JN	p
1977- 2003	I.	119,04	p<0,001	296,22	p=0,58	177,2	p<0,001
	II.	97,44		298,22		200,9	
2000- 2004	I.	111,4	p<0,05	284,6	p<0,05	173,2	p<0,05
	II.	98		310		212	
Együtt	I.	117,84	p<0,001	294,41	p=0,126	176,56	p<0,001
	II.	97,53		300,19		202,66	

T.i.=tenyészidő; JN= Julianus nap

Ha a megfigyelt rügyfakadási adatokat a számított tenyészidőszakokkal összevetjük, látható, hogy 2004-ben Helvécian az I. módszerrel meghatározott tenyészidőszak kezdete előtt történt meg a rügyfakadás (23-25. melléklet). A pontatlanság eredhet a szélsőséges hőmérsékleti értékekből, amit 2004-ben a késő tavaszi fagyok okoztak. A fentieket figyelembe véve az interpolációs módszer sokkal jobb becslésnek mondható, mint az első módszer. Mindazonáltal az interpolációs módszer is inkább terroárok összehasonlítására javasolt, kiemelve a módszernek azt az előnyét, hogy egyszerű és széles körben általánosan alkalmazható. Mindazonáltal a klímaváltozással várható egyre gyakoribb szélsőségek miatt a tenyészidőszaknak ez a fajta számítási módja pontosabb becslést igénylő esetekben (pl. fenológiai következtetések

levonására) egyre kevésbé lesz használható. Ez is indokolja a fenológiai modellek használatának egyre növekvő szükségességét.

A tenyésztidőszak számítási módszerek összehasonlítását páros *t*-próbával is elvégeztem. A különbségminták normalitása Kolmogorov-Smirnov próbával és Shapiro-Wilk teszttel igazolható ($p > 0,05$).

4.3. Egyszerű hőösszeg modell a rügyfakadás idejének becslésére

Először a 2000 és 2004 között felvételezett helvéciai rügyfakadás adatokat használtuk fel egy egyszerű hőösszeg modell futtatásához. Az optimális bázishőmérséklet 6 °C, az optimális induló nap a 41. az évben (febr. 10-e, a statisztikailag számított mélynyugalom vége, a kényszernyugalom kezdete). A 20. táblázatban jól láthatóak az egyes fajták és klónjaik rügyfakadásig összegyűlt hőösszegei °C-ban. Ezek az értékek megfelelnek a szakirodalomban fellelhető, fiziológiai megfontolásokon alapuló értékeknek. A táblázatból az is kitűnik, hogy még a klónok hőösszeg igényei között is lehetnek eltérések. Látható továbbá, hogy a rügyfakadáshoz a fajtáknak a legkevesebb hőösszegre 2003-ban volt szükségük, 2004-ben pedig a legtöbbre.

20. táblázat: A 2000-től 2004-ig megfigyelt, illetve az ezek átlagából számított kritikus hőösszeg értékek a különböző fajtákra

Fajták Évek	Ch	Ch_75	Ch_96	Szb	Szb_34	Szb_52	Pb_54	Pb_55	Pb_D55	Rr_239	Rr_378	Rr_391	Rr_49	HI_P41	HI_K9	Átlag
2000	199,45	199,45	229,65	283,55	283,55	283,55	229,65	283,55	283,55	283,55	283,55	283,55	283,55	283,55	283,55	221,32
2001	256,50	271,20	256,50	291,15	280,30	303,75	246,40	256,50	256,50	291,15	303,75	303,75	303,75	291,15	291,15	225,05
2002	263,80	263,80	270,90	313,90	313,90	326,00	263,80	270,90	253,70	278,50	286,60	286,60	296,20	286,60	286,60	219,53
2003	195,20	195,20	195,20	218,90	237,50	218,90	218,90	218,90	206,80	218,90	218,90	218,90	218,90	218,90	218,90	177,40
2004	262,00	271,60	271,60	245,80	271,60	262,00	252,90	331,60	271,60	331,60	319,00	319,00	271,60	294,30	262,00	233,57
Átlag	235,39	240,25	244,77	270,66	277,37	278,84	242,33	272,29	254,43	280,74	282,36	282,36	274,80	274,90	266,02	

Fajtánként elemezve a 21. táblázatot, kiderül, hogy a Chardonnay fajta rügyfakadását lehet a legnehezebben pontosan megjósolni (3,2 nap átlagos abszolút hiba). A legkisebb átlagos abszolút hibát a Rajnai rizling 49 és a Pinot blanc 54 klónok esetében (1,2 nap) hozta a modell becslése. A többi fajtánál és klónnál általában két nap körül mozog az eltérés, ami közelít a becslés átlagos hiba értékéhez (2,07 nap). A legjobban becsülhető év a 2000. volt, míg a legnagyobb hibával a 2003. járt.

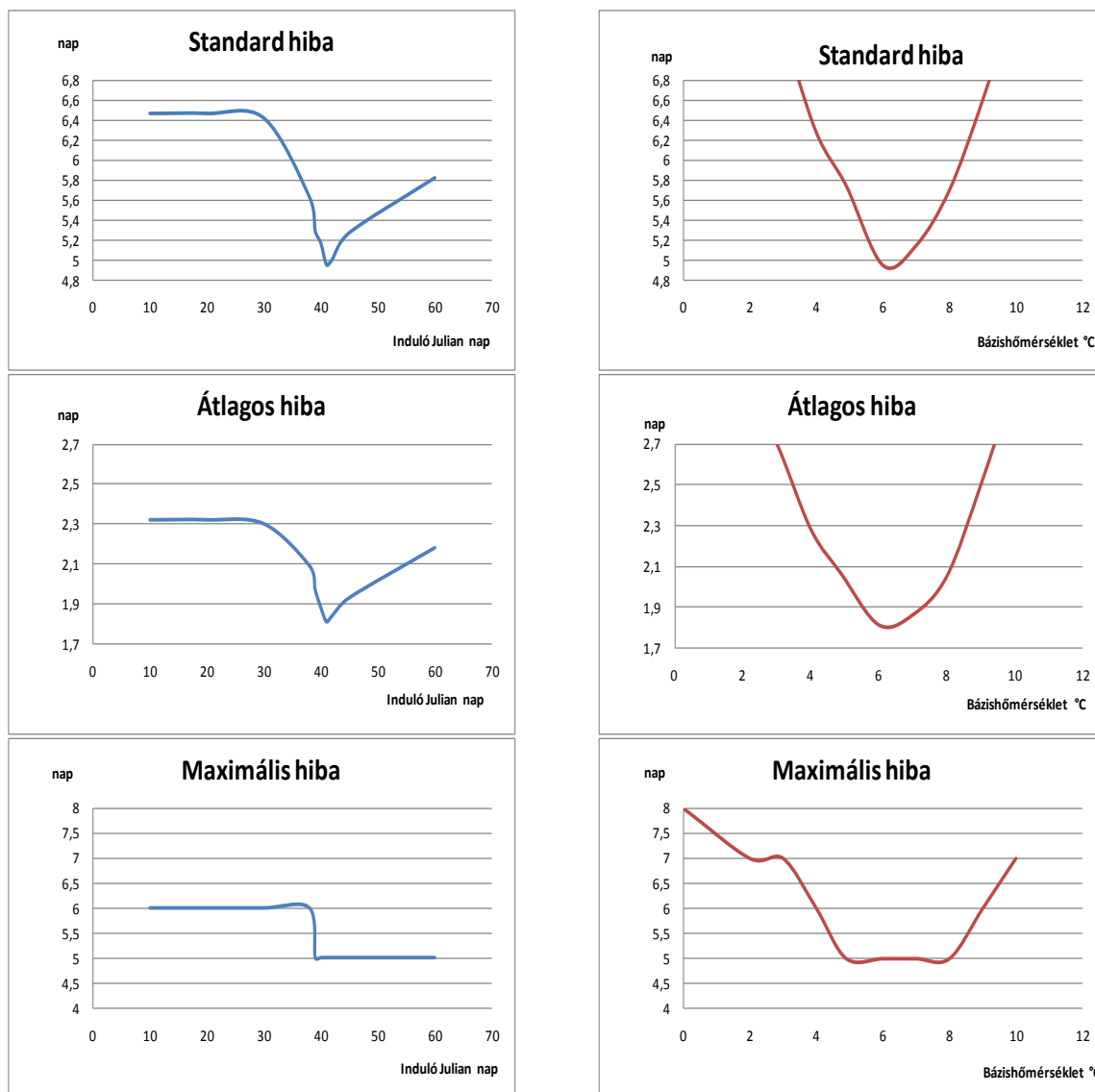
21. táblázat: A rügyfakadás becslések eltérései a megfigyelt adatokhoz képest

Fajták Évek	Ch	Ch_75	Ch_96	Szb	Szb_34	Szb_52	Pb_54	Pb_55	Pb_D55	Rr_239	Rr_378	Rr_391	Rr_49	HI_P41	HI_K9	Az abszolút- értékek éves átlaga
2000	3	3	2	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0,87
2001	-3	-4	-1	-2	0	-2	0	3	0	0	-1	-1	-2	-1	-2	1,47
2002	-2	-2	-2	-5	-4	-4	-1	1	1	1	0	0	-2	-1	-2	1,87
2003	3	4	4	4	3	4	2	4	4	4	5	5	4	4	4	3,87
2004	-3	-3	-3	3	1	2	-1	-4	-1	-4	-3	-3	1	-1	1	2,27
Az abszolút- értékek átlaga	2,80	3,20	2,40	2,80	1,60	2,40	1,20	2,40	1,60	1,80	1,80	1,80	1,20	1,40	2,00	2,07

Modellünk becslésének jellemzőit a 39. ábrán illusztráltuk. Láthatjuk, hogy ha a bázishőmérséklet rögzített (6°C-on), a háromféle hiba (standard hiba, a hiba átlagos abszolút

értéke és a maximális abszolút hiba) mindegyike minimális, ha az indulási időpont az év 41. napja. Ha az induló nap (41. Julianus nap) rögzített, akkor a három hibatípus a legkisebb, ha a bázishőmérséklet 6°C-ra van beállítva. A modell az induló napra a legérzékenyebb.

Az átlagos abszolút különbség a megfigyelt és előre jelzett időpontok között 2,07 nap volt, a maximális hiba 5 nap.

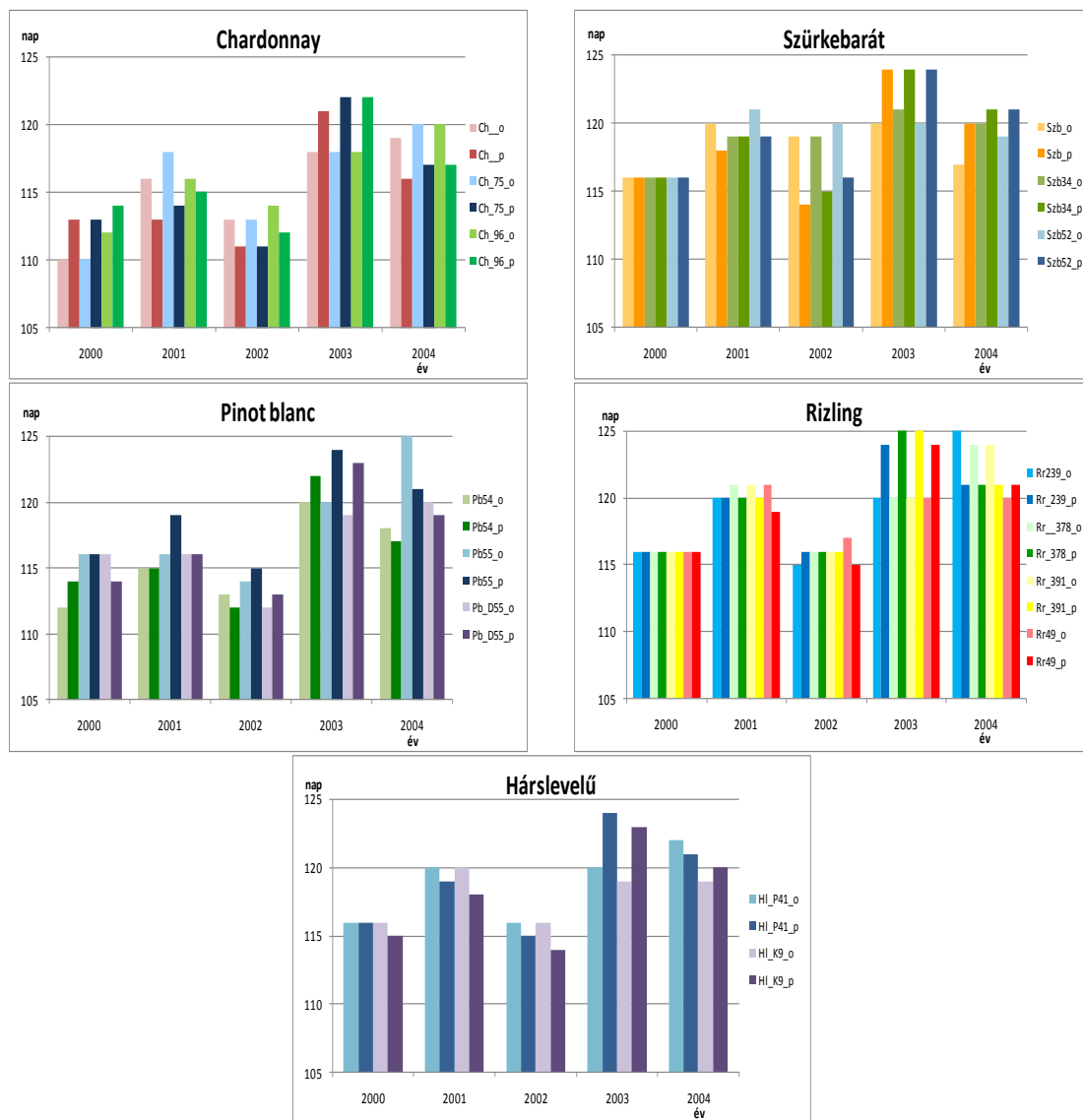


39. ábra: A becslések optimális tulajdonságai a standard hiba, a hibák abszolút értékeinek átlaga, valamint maximuma alapján, rögzített bázishőmérsékletre (6°C) és változó induló napra, illetve rögzített induló nap mellett (41. Julianus nap, azaz február 10-e), változó bázishőmérsékletre

A különböző fajtacsoportokra vonatkozó megfigyelt (o) és becsült (p) rügyfakadási időpontokat ábrázolva láthatjuk, hogy a Chardonnay fajták rügyfakadásának előrejelzésében igen nagy a változatosság (40. ábra). A legnagyobb eltérések a Rajnai rizling klónoknál és a Szürkebarát fajtánál vannak (5 nap). A 2000. év rügyfakadásait igen kis hibával, a 2001. és 2002. években kis hibával sikerült megbecsülni minden fajtára és klónra.

A Pinot blanc fajta klónsorozatnál az 54-es klón esetében a legkisebb a modell hibája,

azaz 0 és 2 nap között mozog az öt év adatait vizsgálva (21. táblázat). A másik két klón, az 55 és D55 rügyfakadás előrejelzésének becsült hibái közel azonos értékek körül mozognak. A Rajnai rizling fajtánál 2000-ben teljesen fedik egymást a mért és a becsült rügyfakadási adatok, a 21. táblázatban látható, hogy a becslés hibája mind a négy fajta esetében 0 nap. 2001-ben és 2002-ben már kis eltérések vannak, 2003-ben a modell négy napot késik, majd 2004-ben 3-4 nappal korábban jelez, mint a valós rügyfakadás. A Rajnai rizling 378 és 391 klónoknak a rügyfakadás időpontja a mért adatok alapján teljesen szinkronban van egymással. A Rajnai rizling 49 kissé eltér a többitől.



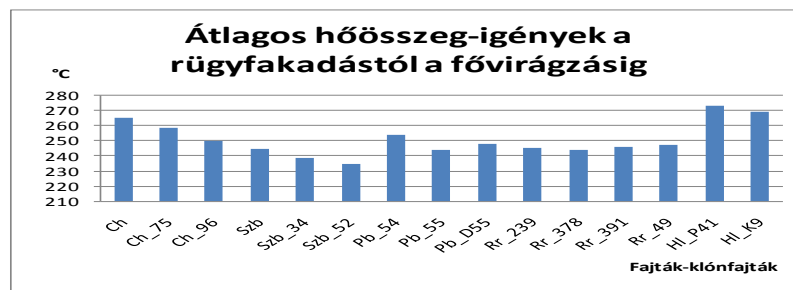
40. ábra: A vizsgált fajták és klónjaik megfigyelt (o) és a modellünk által becsült (p) rügyfakadás napjai 2000-2004 (Helvécia)

4.4. Egyszerű hőösszeg modell a fővirágzás kezdetének idejére

Az optimális alsó bázis hőmérsékletet 11°C-ra, a felső bázishőmérsékletet pedig 26°C-ra kalibráltuk. A 22. táblázat mutatja a különböző fajták kumulált hőösszeg értékeit 2000 és 2004 között.

22. táblázat: Kumulált megfigyelt hőösszegek (°C) a különböző fajtáknál a rügyfakadás és a virágzás között 2000 és 2004 között, valamint ezek átlagértékei

Fajták Évek	Ch	Ch_75	Ch_96	Szb	Szb_34	Szb_52	Pb_54	Pb_55	Pb_D55	Rr_239	Rr_378	Rr_391	Rr_49	HI_P41	HI_K9	Átlag
2000	259,55	259,55	253,00	242,95	242,95	237,90	253,00	242,95	253,00	242,95	244,50	242,95	242,95	295,25	302,80	254,42
2001	245,20	245,15	238,60	248,20	249,70	246,65	252,75	246,65	254,80	243,10	246,15	243,10	249,70	299,95	288,95	253,24
2002	306,15	288,50	257,80	294,05	270,80	268,75	290,00	276,85	270,35	274,80	268,75	268,75	276,85	288,45	290,00	279,39
2003	247,33	234,28	234,28	204,50	212,68	212,68	234,28	212,68	226,23	212,68	206,13	206,13	212,68	204,50	218,05	218,60
2004	266,30	264,75	264,75	233,00	218,40	206,35	240,15	241,00	236,55	253,55	253,55	268,65	253,55	277,70	245,05	248,22
Átlag	264,91	258,45	249,69	244,54	238,91	234,47	254,04	244,03	248,19	245,42	243,82	245,92	247,15	273,17	268,97	



41. ábra: Átlagos hőösszeg-igények a rügyfakadástól a fővirágzásig a 2000-2004-ben Helvécian megfigyelt fenológiai adatok alapján.

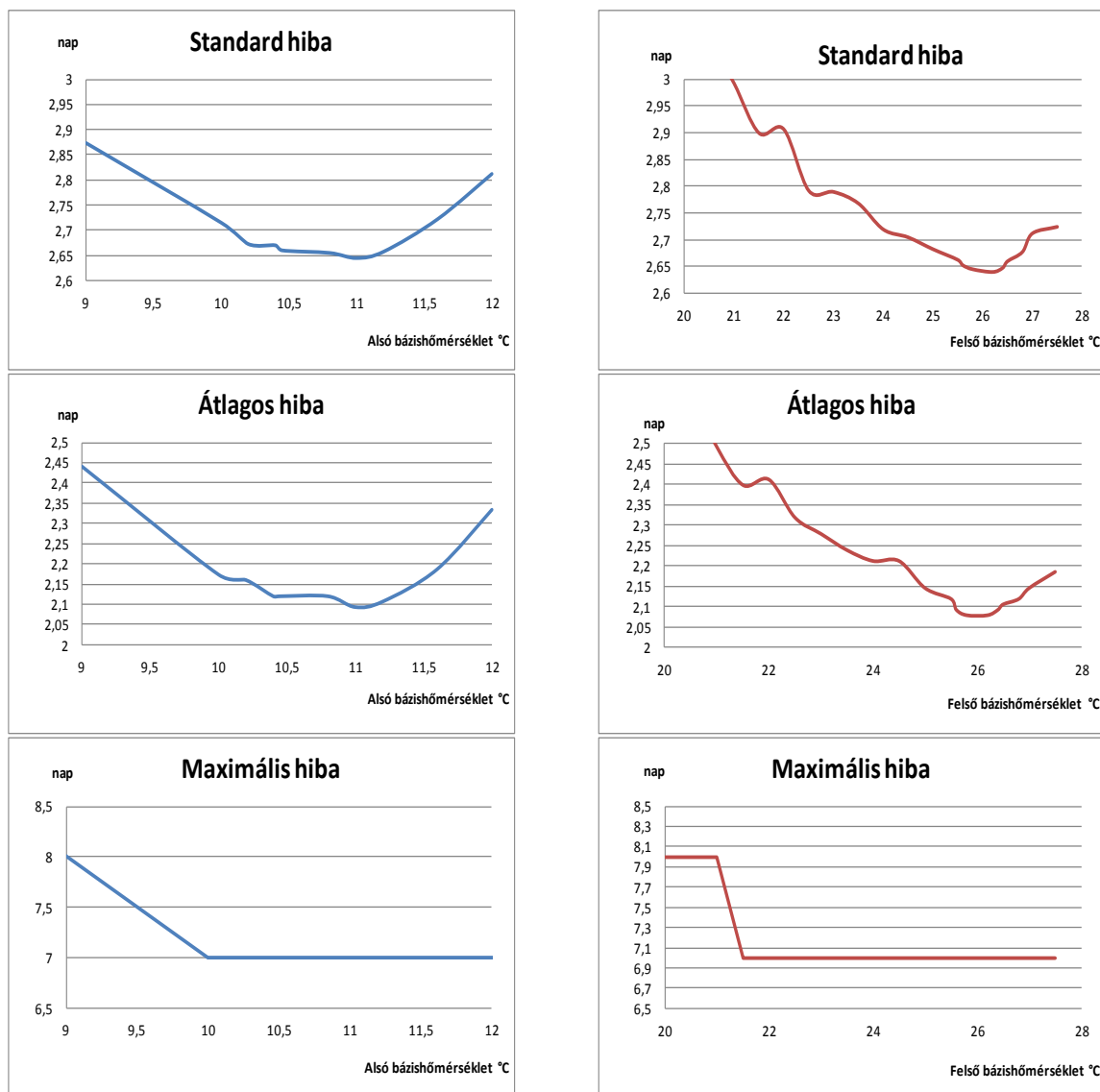
Az átlagos kritikus hőösszegek az 23. táblázat alsó sorában láthatóak (Az utolsó oszlopban az évenkénti átlagos hőösszeget foglaltuk a 15 fajta esetében). A 41. ábrán látható, hogy a korai érésű Szürkebarát fajtáknak volt a legalacsonyabb a hőösszeg igényük (238,91 °C és 234,47 °C). A kései érésű Rajnai rizling klónok kritikus hőösszegei (243,82°C-247,15°C) követik ezeket az értékeket. A Pinot blanc klónok kritikus hőösszeg értékei 244 °C és 254 °C között alakultak. A korai érésű Chardonnay és a késői Hárslevelű klónok kritikus hőösszeg értékei lettek a legnagyobbak (249 °C-273 °C).

23. táblázat: A fővirágzás-kezdetek becsléseinek eltérései a megfigyelt adatokhoz képest.

Fajták Évek	Ch	Ch_75	Ch_96	Szb	Szb_34	Szb_52	Pb_54	Pb_55	Pb_D55	Rr_239	Rr_378	Rr_391	Rr_49	HI_P41	HI_K9	Az abszolút-értékek éves átlaga
2000	2	0	-1	2	0	-1	1	1	-1	2	0	2	2	-1	-2	1,07
2001	6	5	2	-1	-3	-3	1	-1	-2	1	0	1	0	-2	-1	2,27
2002	5	-3	0	-7	-3	-3	-4	-4	-2	-3	-2	-2	-3	-2	-3	3,07
2003	2	3	2	4	3	2	2	3	2	3	4	4	4	7	5	3,20
2004	0	0	-1	1	2	3	2	1	1	0	0	-2	0	0	3	1,33
Az abszolút-értékek átlaga	3,00	2,20	1,20	3,00	2,20	2,40	2,00	2,00	1,60	1,80	1,20	2,20	1,80	2,40	2,80	2,12

A modell által becsült értékeknek a megfigyelttől való eltéréseit elemezve láthatjuk, hogy a Chardonnay és a Szürkebarát fajták virágzását volt a legnehezebb megjósolni (23. táblázat). A legtöbb fajta abszolút hibája az átlag körül mozog (2,12 nap), ami mutatja a modell viszonylag magas stabilitását. A modell a legkevesebb hibát a Chardonnay 96 és a Rajnai rizling 378 klónoknál (átlagosan 1,2 nap) vétette.

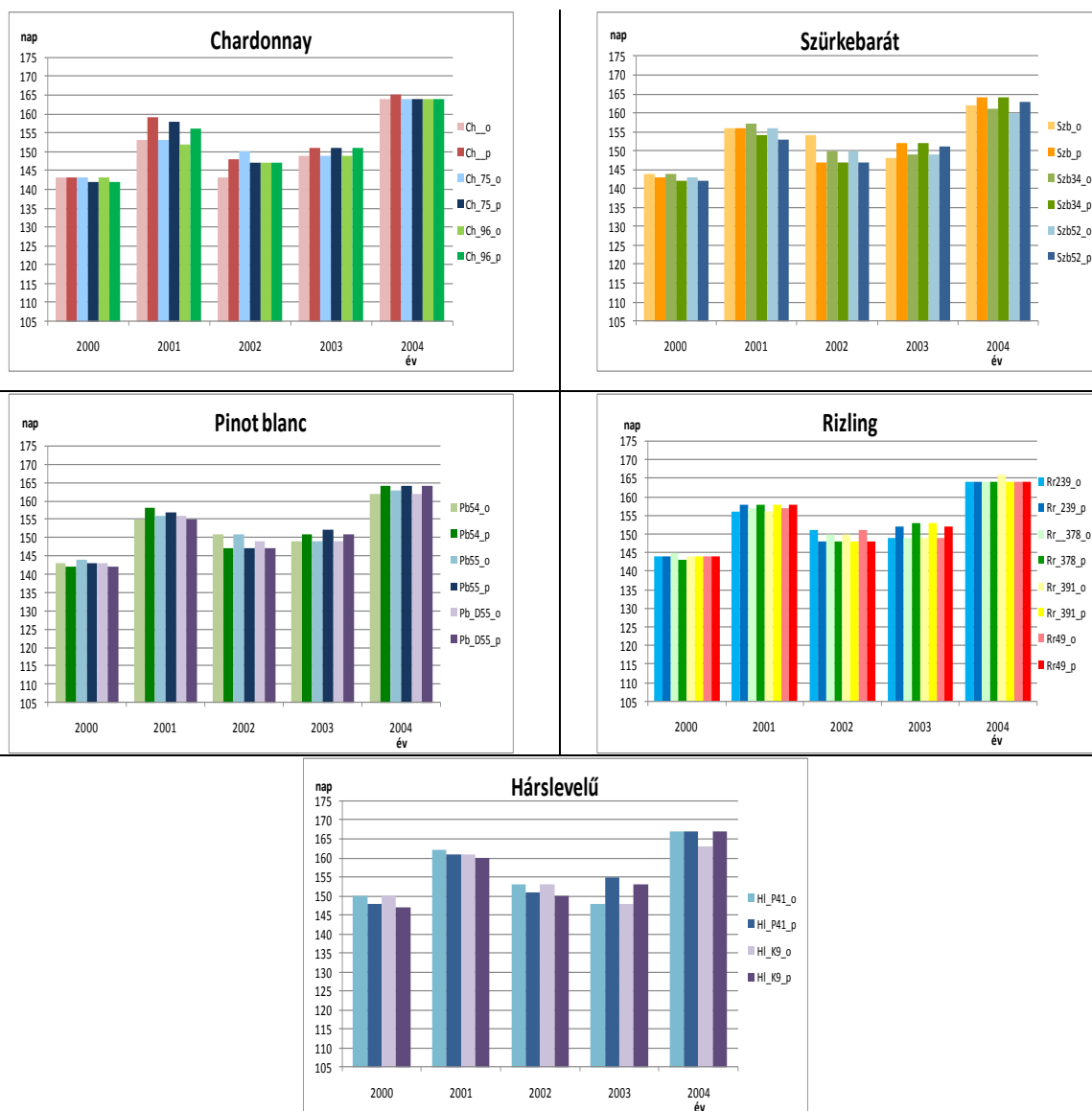
A 42. ábrán az optimalizált eredmények láthatóak. A bal oszlopban látható, hogy ha a felső bázishőmérsékletet 26 °C-ra rögzítjük, változó alsó bázishőmérséklet mellett a standard hiba 11 °C-nál a minimumon van. Ugyanakkor az eltérések legnagyobb és átlagos abszolút értéke 11 °C-nál szintén a minimumon van.



42. ábra: A két paraméter, az alsó és felső bázis hőmérséklet optimális jellemzői; rögzített felső bázis hőmérsékletre (26°C) és változó alsó bázis hőmérsékletre (baloldal), valamint rögzített alsó bázis hőmérsékletre (11°C) és változó felső bázishőmérsékletre (jobb oldalon).

Ha az alsó bázishőmérsékletet rögzítjük 11 °C-ra és mozgatjuk a felső bázishőmérsékletet, látjuk, hogy 26°C-nál mind a három hiba elérte a minimum értékét, következésképp, a felső bázishőmérséklet meghatározása ennél a pontnál optimális (42. ábra, jobb oszlop). A felső bázishőmérséklet érzékenyebb, mint az alsó. A maximális hiba egyik paraméterre sem túl érzékeny.

A következő diagram-összefoglalón (43. ábra) a megfigyelt és a becsült fővirágzás időpontokat mutatjuk. A Chardonnay és klónjai öt évet átívelő diagramjára tekintve jól látható, hogy 2000-ben, 2003-ban és 2004-ben kis hibával vagy pontosan jelzett a modell, a legnagyobb tévedése a Chardonnay fajtánál +6 nap (2001) volt, vagyis hat nap késéssel jelezte a tömeges virágzást. 2001-ben láthatóak a legnagyobb eltérések a megfigyelt és az előre jelzett értékek oszlopdiagramjai között.

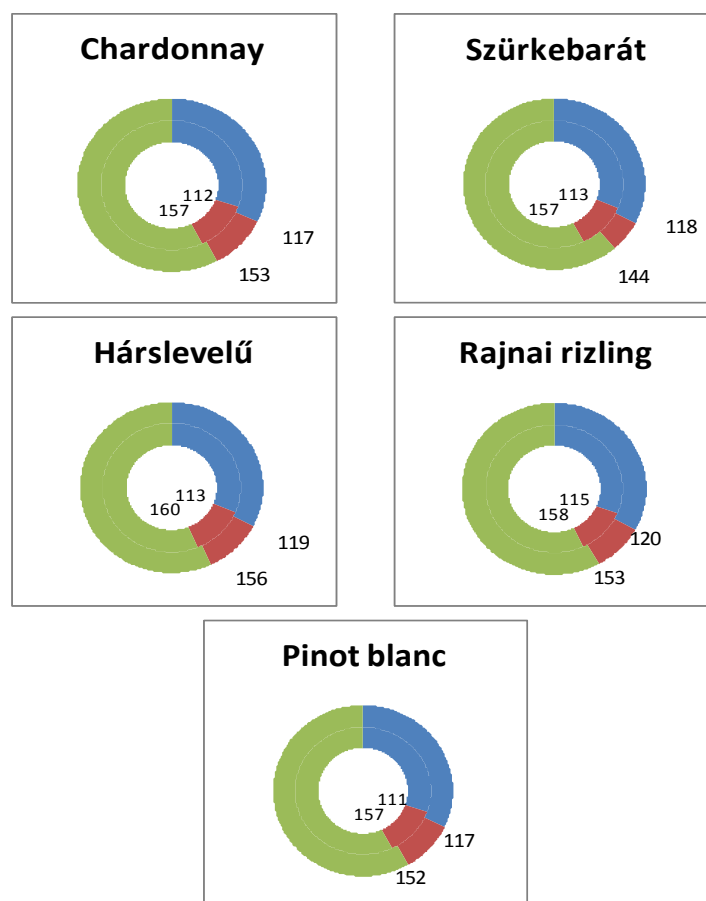


43. ábra: A vizsgált fajták és klónjaik megfigyelt (o) és a modellünk által becsült (p) fővirágzás kezdőnapjai 2000-2004 (Helvécia)

A szintén korai érésű Szürkebarát fajtacsoportra való előrejelzése szintén jó, bár a 2002-es évre a Szürkebarátra korai időpontot jelzett, nagy hibával (a modell maximális hibája). A másik két klón esetében a modell pontosabb, maximum 3 napos hibával.

A Szürkebarát fajta és klónjai értékeivel összehasonlítva a közepes érési idejű Pinot blanc klónok fővirágzásának előrejelzése a diagramok szerint jóval kiegyenlítettebb. A legjobban előrejelezhető év ennél a fajtánál a 2000-es volt, a legkevesbé előrejelezhető a 2002-es, de itt is csak maximum 4 napot tévedett a modell.

A kései érésű Rajnai rizling klónok esetében a modell átlagosan a legkevesebb hibával jelez. Ezekre a klónokra a 2003-as év járt a legnagyobb hibával (4 nap).



44. ábra A fenológiai modell eredményei a 2000-2004-es megfigyelt időszakra (külső kör), illetve a RegCM3.1 regionális klímamodell 2021-2050-es becsült meteorológiai adataira alapozva (belső kör). A számok a rügyfakadás és a virágzás kezdetét jelentik (Julianus nap).

A másik kései érésű Hárslevelű K.9 és P.41 klónok egyedül képviselik a pontuszi változatsoportot, hiszen az előzőekben ismertetett fajták és klónok egytől egyig a nyugati fajtakörhöz tartoznak. A 2003-as év kivételével a modell ezekre a klónokra is jó becslést ad, 2003-ban azonban a tévedés magas, a modell maximális hibáját is eléri.

Mind az öt diagramot áttekintve, közös bennük az, hogy minden fajta esetében a 2002-es év volt az, amelyben a legnagyobb hőösszeg kellett a tömeges virágzáshoz, s értékei magasan kiemelkednek a többi év értékeihez képest.

Regionális klímamodellek (RegCM) adatsorára (Giorgi et al. 1993) is alkalmaztuk a modellt, hogy választ kapjunk arra, hogy mire számíthatunk a jövőben különböző scenáriók esetében. Miután a modell paramétereit meghatároztuk, a RegCM3.1 regionális (nagy felbontású, azaz sűrű, 10 km-es rácspontozású) klímamodell becsléseire (Bartholy, et. al. 2009, Torma et. al. 2008) támaszkodva vizsgáltuk, mit prognosztizál a modell a 2021-2050-es időszakra (44. ábra).

Helvécián a modell a rügyfakadás kezdetét (piros) átlagosan öt nappal előbbre, a fővirágzás kezdetét (zöld) öt nappal későbbre becsüli a vizsgált időszakban megfigyelttekhez képest (Ladányi és Hlaszny, 2010).

4.5. Hideghatást is figyelembe vevő fenológiai modell

A mélynyugalmi hőösszegeket is figyelembe vevő modellt a kecskeméti rügyfakadás adatsorokra futtattuk.

24. táblázat: Az Egyszerű Hőösszeg Modell (EHM) és a Hideghatás Modell (HHM) optimalizált paraméterei az összes vizsgált fajtára

Fajta	Egyszerű Hőösszeg Modell		Hideghatás Modell			
			Mélynyugalmi hőakkumuláció		Kényszernyugalmi hőakkumuláció	
Kékfrankos	induló Julianus nap	47	a	1,00	c	-0,20
	$T_{alsó\ bázis}$ (°C)	4,54	b	2,65		
	$T_{felső\ bázis}$ (°C)	18,4	$T_{bázis, HiH}$ (°C)	4,58	$T_{bázis, HőH}$ (°C)	12,11
	GDD_{u_krit} (°C)	260	CH_{krit}	14	GDD_{u_krit}	25
Hárslevelű	induló Julianus nap	41	a	1,00	c	-0,26
	$T_{alsó\ bázis}$ (°C)	4,54	b	2,65		
	$T_{felső\ bázis}$ (°C)	19,17	$T_{bázis, HiH}$ (°C)	4,48	$T_{bázis, HőH}$ (°C)	12,50
	GDD_{u_krit} (°C)	299	CH_{krit}	8,82	GDD_{u_krit}	24,66
Szürkebarát	induló Julianus nap	47	a	0,92	c	-0,20
	$T_{alsó\ bázis}$ (°C)	4,54	b	2,65		
	$T_{felső\ bázis}$ (°C)	18,4	$T_{bázis, HiH}$ (°C)	4,48	$T_{bázis, HőH}$ (°C)	12,15
	GDD_{u_krit} (°C)	260	CH_{krit}	14,5	GDD_{u_krit}	25,25
Rajnai rizling	induló Julianus nap	41	a	1,00	c	-0,26
	$T_{alsó\ bázis}$ (°C)	4,54	b	2,65		
	$T_{felső\ bázis}$ (°C)	18,3	$T_{bázis, HiH}$ (°C)	4,10	$T_{bázis, HőH}$ (°C)	12,50
	GDD_{u_krit} (°C)	291	CH_{krit}	8,81	GDD_{u_krit}	24,67
Generosa	induló Julianus nap	41	a	0,85	c	-0,20
	$T_{alsó\ bázis}$ (°C)	4,40	b	2,65		
	$T_{felső\ bázis}$ (°C)	19,18	$T_{bázis, HiH}$ (°C)	4,00	$T_{bázis, HőH}$ (°C)	12,39
	GDD_{u_krit} (°C)	306,51	CH_{krit}	8,82	GDD_{u_krit}	24,67

Az eredmények értékeléséhez, a modellek összehasonlításához egytényezős varianciaanalízist és t -próbákat alkalmaztunk. A kalibráláshoz és a validáláshoz a helvéciai adatsor hosszúsága nem volt elegendő, ezért ebben a vizsgálatban már nem szerepel. Természetesen a kecskeméti adatsorra az egyszerű hőösszeg modellt is lefuttattuk, így a két modell összehasonlítását statisztikai vizsgálatokkal is alátámasztottuk.

Az egyszerű hőösszegmodell (EHM) és a hideghatást is figyelembe vevő modell (Hideghatás modell - HHM) optimalizált paramétereit minden fajtára a 24. táblázatban találjuk. A hibatagok normalitása Kolmogorov-Smirnov, illetve a Shapiro-Wilk-féle teszt alapján $p > 0,05$ szinten minden esetben elfogadható.

Úgy ítéltük meg, hogy a HHM modell jobb eszköz a rügyfakadás becsléséhez, mivel a hiba, az átlagos és a maximális abszolút hiba értéke a legtöbb esetben jelentősen kisebb ennek a modellnek az esetében. A magyarázott szórásnégyzetek vagy varianciák (R^2) szignifikánsak mindkét modellre ($p < 0,05$), a HHM modellé többnyire magasabb (25. , 26. táblázat).

25. táblázat: A hiba és az átlagos abszolút hiba kalibrált és validált értékei az öt fajta esetében

	Hiba (RMSE, [nap])				Átlagos abszolút hiba [nap]			
	kalibrált		validált		kalibrált		validált	
	EHM	HHM	EHM	HHM	EHM	HHM	EHM	HHM
Kékfrankos	3,74	2,40	5,53	4,96	2,89	2,00	3,89	3,83
Hárslevelű	3,13	4,56	5,65	5,56	2,67	4,00	3,83	4,00
Szürkebarát	3,92	3,91	4,97	4,81	3,00	3,30	3,70	4,10
Rajnai rizling	4,43	3,82	3,87	3,97	2,60	3,20	2,32	3,26
Generosa	3,23	4,50	5,53	5,18	2,44	3,78	4,32	4,47

26. táblázat: A maximális abszolút hiba és a szórásnégyzet kalibrált és validált értékei az öt fajta esetében

	Maximális abszolút hiba [nap]				R^2			
	kalibrált		validált		kalibrált		validált	
	EHM	HHM	EHM	HHM	EHM	HHM	EHM	HHM
Kékfrankos	8	4	13	10	0,86***	0,94***	0,64***	0,74***
Hárslevelű	7	8	12	9	0,89***	0,75*	0,53*	0,61**
Szürkebarát	8	7	15	9	0,85**	0,88***	0,71***	0,69***
Rajnai rizling	10	7	10	7	0,68*	0,87**	0,78***	0,75***
Generosa	6	7	11	8	0,92***	0,79**	0,64**	0,67**

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ + $p < 0,1$

A megfigyelt és a modellek által becsült rügyfakadási időpontokat, valamint a RegCM3.1 éghajlati modell becsült meteorológiai adataira (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100) futtatott rügyfakadási előrejelzéseket egytényezős varianciaanalízissel, valamint páros t-próbákkal hasonlítottam össze.

A 27. és 28. táblázatban található az időszakok összehasonlítása, fajtanként, mindkét modellre külön futtatva. A szórások azonossága Levene-teszttel igazolható ($p > 0,05$).

Az egyszerű hőösszegmodell az idő előrehaladtával az öt fajta esetében átlagosan 10-11 nappal korábbra teszi a rügyfakadás kezdetét a század végére.

27. táblázat: A rügyfakadási időpontok átlagai és az ANOVA-összehasonlítások eredményei az öt fajta esetében az egyszerű hőösszeg modellnél (A különböző betűk a Tukey-, illetve a Scheffe-féle post hoc teszt alapján a szignifikáns különbségeket jelölik.)

Fajta	F	Időszak	Átlag [Julianus nap]	Tukey	Scheffe
Kékfrankos	19,817***	1977-2003	116,70	b	bc
		1961-1990	123,10	c	c
		2021-2050	111,00	ab	ab
		2071-2100	105,53	a	a
Szürkebarát	19,432***	1977-2003	116,3	b	bc
		1961-1990	123,1	c	c
		2021-2050	111,0	ab	ab
		2071-2100	105,5	a	a
Hárslevelű	20,715***	1977-2003	119,15	b	b
		1961-1990	126,90	c	c
		2021-2050	114,33	ab	ab
		2071-2100	108,53	a	a
Rajnai rizling	20,132***	1977-2003	118,44	b	b
		1961-1990	126,13	c	c
		2021-2050	113,77	ab	ab
		2071-2100	107,97	a	a
Generosa	20,571***	1977-2003	119,26	b	b
		1961-1990	126,90	c	c
		2021-2050	114,50	ab	ab
		2071-2100	108,77	a	a

A hideghatást is figyelembe vevő modell a Kékfrankos esetében 14,5 nappal, a Szürkebarát esetében 13,5 nappal, a Hárslevelű esetében 15,5 nappal, a Rajnai rizlingnél 17 nappal és a Generosánál 13 nappal korábban jelzi átlagosan a rügyfakadást a század utolsó 30 évére.

28. táblázat: A rügyfakadási időpontok átlagai és az ANOVA-összehasonlítások eredményei az öt fajta esetében a hideghatást is figyelembe vevő modellnél (A különböző betűk a Tukey-, illetve a Scheffe-féle post hoc teszt alapján a szignifikáns különbségeket jelölik.)

Fajta	F	Időszak	Átlag [Julianus nap]	Tukey	Scheffe
Kékfrankos	11,508***	1977-2003	117,41	b	b
		1961-1990	113,33	b	b
		2021-2050	104,90	a	a
		2071-2100	102,90	a	a
Szürkebarát	10,243***	1977-2003	116,33	b	b
		1961-1990	113,33	b	b
		2021-2050	104,90	a	a
		2071-2100	102,90	a	a
Hárslevelű	19,099***	1977-2003	119,07	b	b
		1961-1990	121,60	b	b
		2021-2050	109,83	a	a
		2071-2100	103,47	a	a
Rajnai rizling	18,331***	1977-2003	119,26	b	b
		1961-1990	122,53	b	b
		2021-2050	110,33	a	a
		2071-2100	105,37	a	a
Generosa	16,026***	1977-2003	117,89	b	b
		1961-1990	121,10	b	b
		2021-2050	108,83	a	a
		2071-2100	104,62	a	a

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ + $p < 0,1$ szinten szignifikáns

Páros t -próbával összehasonlítottam a megfigyelt rügyfakadási adatokat a két modell által becsült rügyfakadási időpontokkal. A HHM modell a Rajnai rizling kivételével pontosabb (magasabb szignifikancia szinten igazolhatóan közelítő) becslést adott a rügyfakadás időpontjára a megfigyelt értékhez viszonyítva (29. táblázat).

29. táblázat: A megfigyelt és a modellek által becsült rügyfakadási időpontok átlagai fajtánként [Julianus nap]

Fajta	Megfigyelt	1. modell	p	2. modell	p
Kékfrankos	117,05	116,70	0,45	117,41	0,83
Szürkebarát	117,53	116,37	0,15	116,33	0,29
Hárslevelű	117,90	119,15	0,92	119,07	0,97
Rajnai rizling	116,89	118,44	0,78	119,26	0,40
Generosa	116,50	119,26	0,60	117,89	0,97

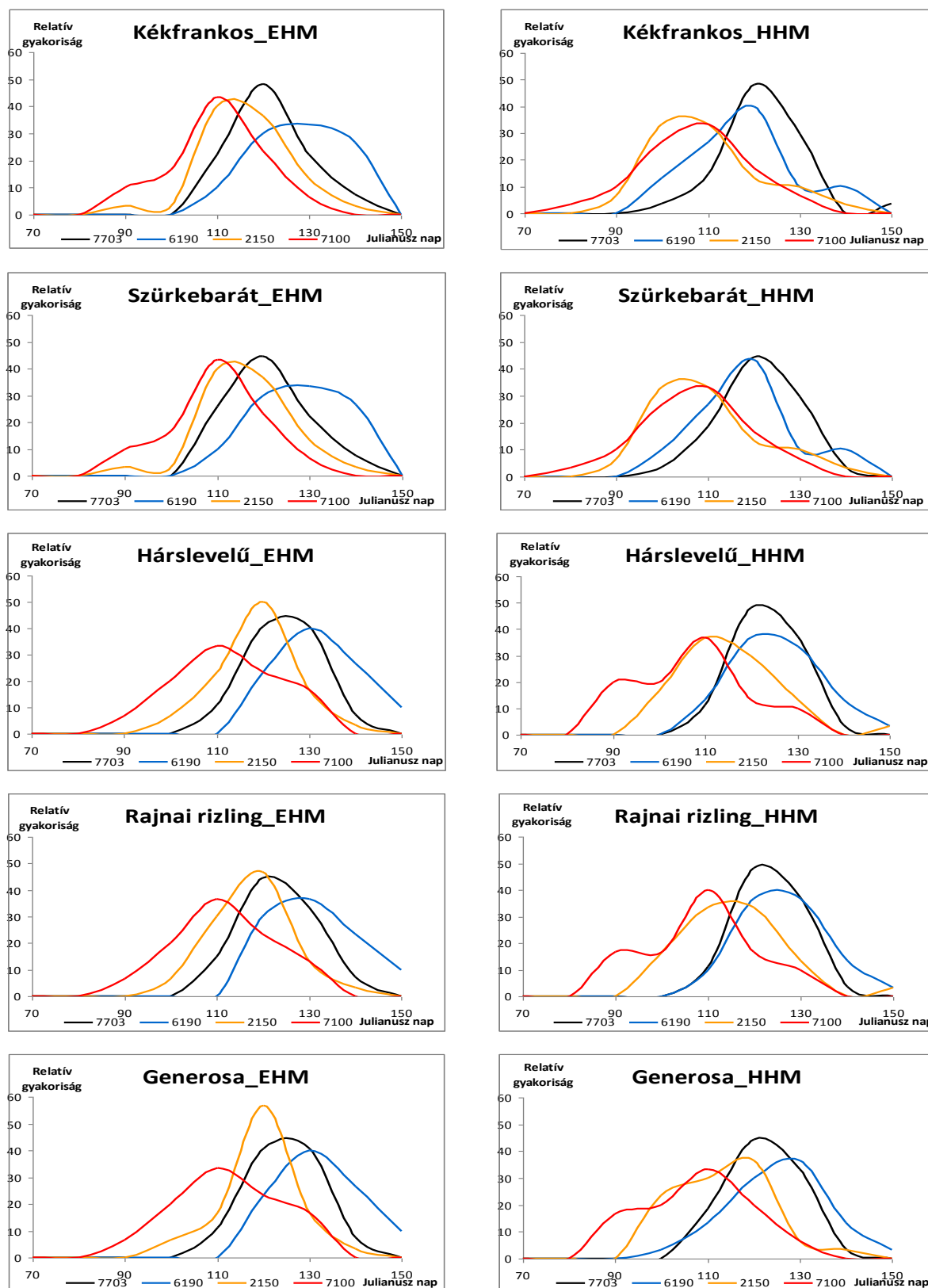
Páros *t*-próbával hasonlítottam össze a két modell által előrejelzett átlagos rügyfakadási időpontokat is. Ennek eredményeit a 30. táblázatban foglaltam össze.

30. táblázat: A két modell által becsült átlagos rügyfakadási időpontok fajtánként [Julianus nap]

Időszelet	Fajta	1. modell	2. modell	p
7703, 6190, 2150, 7100	Kékfrankos	114,24	109,64	p<0,001
	Szürkebarát	114,15	109,37	p<0,001
	Hárslevelű	117,23	113,49	p<0,001
	Rajnai rizling	116,58	114,37	p<0,001
	Generosa	117,52	113,11	p<0,001
1977-2003	Kékfrankos	116,70	117,41	p=0,48
	Szürkebarát	116,37	116,33	p=0,97
	Hárslevelű	119,15	119,07	p=0,90
	Rajnai rizling	118,44	119,26	p=0,16
	Generosa	119,26	117,89	p<0,05
1961-1990	Kékfrankos	123,10	113,33	p<0,001
	Szürkebarát	123,10	113,33	p<0,001
	Hárslevelű	126,90	121,60	p<0,001
	Rajnai rizling	126,13	122,53	p<0,01
	Generosa	126,90	121,10	p<0,001
2021-2050	Kékfrankos	111,00	104,90	p<0,01
	Szürkebarát	111,00	104,90	p<0,01
	Hárslevelű	114,33	109,83	p<0,001
	Rajnai rizling	113,77	110,33	p<0,01
	Generosa	114,50	108,83	p<0,001
2071-2100	Kékfrankos	106,14	102,90	p=0,077
	Szürkebarát	106,14	102,90	p=0,077
	Hárslevelű	108,53	103,47	p<0,01
	Rajnai rizling	107,97	105,37	p=0,086
	Generosa	109,41	104,62	p<0,01

Ha a négy időszak (1977-2003, 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100) átlagos rügyfakadási becsléseit egymáshoz hasonlítjuk, akkor azt mondhatjuk, hogy a két modell eredményei egymástól szignifikánsan eltérnek. Amikor a megfigyelt időszak (1977-2003) rügyfakadási eredményeit hasonlítottam össze, azt az eredményt kaptam, hogy a két modell eredményei között nincs szignifikáns különbség. A referencia-időszakban (1961-1990) és a 2021-2050 közötti időszakban a két fenológiai modell által becsült rügyfakadási időpontok között is szignifikáns eltérés van. A 2071-2100-as időszakra a két modell becslése már közelít egymáshoz, mert az eltérések nem, vagy enyhén szignifikánsak.

A négy idősor becsléseit és előrejelzéseit felhasználva a rügyfakadási időpontok gyakorisági hisztogramjait is létrehoztam (45. ábra).



45. ábra: A rügyfakadási időpontok relatív gyakorisági hisztogramjai az 1977-2003-ig terjedő megfigyelt adatok esetén és a RegCM3.1 klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakára, valamint a 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakokra

A 2071-2100 között a rügyfakadás időpontok szórása megnő, az évek között sokkal nagyobb ingadozás várható. Nő a valószínűsége a nagyon korai és a nagyon kései rügyfakadásnak is. A korai rügyfakadás oka a rövid, de megfelelő hideghatású tél, míg a kései rügyfakadás a nagyon enyhe tél eredménye, amikor a szőlő számára csak nagyon lassan gyűlik össze a mélynyugalom megtöréséhez szükséges hidegösszeg.

Megállapítom, hogy a mélynyugalmi időszakot is figyelembe vevő modell (HHM) esetében az öt fajtára vonatkozó rügyfakadási időpontok a megfigyelt időszakban (1977-2003) és a referencia-időszakban (1961-1990) is átlagosan a 118. Julianus napra esnek, ami azt jelenti, hogy az eltérés a két időszak között nem szignifikáns. A 2021-2050-es és a 2071-2100-as időszakok átlagértékei (108. és 104. Julianus nap) egymástól szignifikánsan nem térnek el, de a megfigyelt és a referencia-időszaktól már szignifikánsan különböznek ($p < 0,001$).

A rügyfakadási időpontok korábbra tolódása mellett a rügyfakadás idejének terjedelme is várhatóan szélesedik az időben. Ez azt jelenti, hogy a várható extrémális időjárási események következményeként akár extrém korai és extrém kései időpontok előfordulására is számíthatunk.

4.6. Új és újszerű tudományos eredmények

1. 1977 és 2003 közötti időszakban Kecskeméten mért napi hőmérsékleti és csapadékadatokból képzett 36 klímaindikátort vizsgálva megmutattam, hogy a kecskeméti körzetben a 27 év alatt szignifikáns növekedés következett be a Huglin- és Winkler-index értékekben, a júliusi középhőmérsékletben, a tenyészidő átlagos és maximum hőmérsékletében, az érésidő középhőmérsékletében, a szüretidő maximum hőmérsékletében, a meleg és nyári napok számában, valamint a Gladstones-féle tavaszi fagyindex esetében is. Az indikátoroknak a RegCM3.1 regionális klímamodell becslései alapján várható értékeit az 1961-1990-es referencia-időszakra, valamint a 2021-2050 és a 2071-2100-as jövőbeli időszakokra vonatkozóan vizsgálva megállapítottam, hogy az éghajlati modell becslései 2021-től az egyes hőmérsékleti indikátorok átlagértékeinek további emelkedését vetítik elő. A csapadék éves mennyisége várhatóan nem fog emelkedni. 2050 után a nyári és a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség csökkenésére, valamint az őszi és téli csapadékmennyiség növekedésére kell számítanunk Kecskemét körzetében.
2. A nemzetközi szakirodalomban általánosan használt tenyészidőszak-számítási módszereket összehasonlítva megmutattam, hogy a klímaváltozás egyre jobban érezhető hatásai mellett fokozottan indokoltá válik az interpolációs módszer alkalmazása, az egyre gyakoribbá váló extrém jelenségek ugyanis a hagyományos módszert egyre pontatlanabbá teszik.
3. A szőlő rügyfakadásának és virágzásának becslésére egy egyszerű hőösszeg modellel közelítettem 6 szőlőfajta és klónjaik ötévi megfigyeléseit Helvéciaán. A modellben eltértem a szakirodalomban használatos gyakorlattól, és a bázishőmérsékletet, valamint a hőösszeg akkumulációjának kezdeti időpontját is optimalizálással határoztam meg. A helvéciai szőlőültetvények rügyfakadásának becslését elvégezve optimalizálással 6 °C – os bázishőmérsékletet és február 10-ei optimális indulási napot határoztam meg a rügyfakadásra. A fővirágzás kezdetének becsléséhez alsó és felső bázishőmérsékletet is használtam, melyekre 11°C, illetve 26°C érték adódott optimálisként.
4. Az egyszerű hőösszegmodellen kívül egy hideghatást is figyelembe vevő fenológiai modellt is készítettem a rügyfakadás becslésére öt Kecskemét-Katonatelepen telepített fajtára, 27 éves adatsor alapján. Erre az idősorra is meghatároztam az egyszerű hőösszeg-modell optimális paramétereit. A két modell becsléseit összehasonlítva megmutattam, hogy a hideghatást is figyelembe vevő modellel pontosabb eredményt kaptunk mindegyik vizsgált kecskeméti fajta esetében.

5. Az adatok mennyisége a kecskeméti adatsorra a kalibráláson kívül a validálást is lehetővé tette, így mód nyílt arra, hogy a modelleket a RegCM3.1 regionális klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakra, valamint a 2021-2050-re és a 2071-2100-as jövőbeli időszakokra vonatkozó becsléseivel is futtassam. Az eredmények alapján elmondhatjuk, hogy 2020 után várhatóan minden fajta rügyfakadása korábbra tolódik a kecskeméti körzetben, de 2070 után a rügyfakadás idejének várható tartománya is kiszélesedik. Az egyszerű hőösszegmodell az idő előrehaladtával az öt fajta esetében átlagosan 10-11 nappal korábbra teszi a rügyfakadás kezdetét a század végére. A hideghatást is figyelembe vevő modell a Kékfrankos esetében 14,5 nappal, a Szürkebrát esetében 13,5 nappal, a Hárslevelű esetében 15,5 nappal, a Rajnai rizlingnél 17 nappal és a Generosánál 13 nappal korábban jelzi átlagosan a rügyfakadást a század utolsó 30 évére.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az 1977-2004-ig terjedő időszak kecskeméti hőmérsékleti és csapadékadatok alapján 36 klímaindikátor átlagértékét meghatároztam, és megbecsültem a jövőbeli változásukat a RegCM3.1 regionális éghajlati modell segítségével. Kiszámítottam mindkét helyszínen a vizsgált évek tenyészidejének hosszait kétféle módszerrel, majd ezeket statisztikailag is összehasonlítottam A helvéciai és kecskeméti kísérleti ültevények fehér- és vörösborszőlő-fajtáinak 1977 és 2004 között felvételezett rügyfakadási adatai alapján becsléseket végeztem a csak a kényszernyugalmi időszakot használó és a mélynyugalmi hatást is figyelembe vevő hőösszegzési modellekkel. A RegCM3.1 klímamodell segítségével megbecsültem a jövőbeli várható rügyfakadási időpontokat.

1. Az Európai Unió „Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz” című Zöld Könyve szerint Európa egyik legsérülékenyebb területéhez tartozik a Kárpát-medence, ahol a jelentős hőmérséklet-emelkedés és a csökkenő csapadékmennyiség együttes hatása olyan területeken jelentkezik, melyeken már most is vízhiánnyal küzdenek. A 2007-es ENSZ-jelentés szerint Magyarország a klímaváltozás természeti sokszínűsége gyakorolt hatása szempontjából a világ egyik legsérülékenyebb állama (SEG, 2007). Harnos és munkatársai (2008) szerint a hazai átlaghőmérséklet emelkedése másfélszer gyorsabb, mint a globális felmelegedés üteme. Részletes klímaindikátor-vizsgálatunk során mi a fentieket megerősítő és Bartholy et al., (2004) megállapításaival egybehangzó eredményeket kaptuk:

- A hőmérsékleti indikátorok közül az 1977-2003 közötti hőmérsékleti adatok alapján, az Huglin- és Winkler-index, a júliusi középhőmérséklet, a tenyészidő átlagos és maximum hőmérséklete, az érésidő középhőmérséklete, a szüretidő maximum hőmérséklete a 26 év alatt szignifikánsan növekedtek. Nincs szignifikáns változás a januári középhőmérsékletben, a tenyészidő minimum hőmérsékletében, a téli minimum hőmérsékletben, a hideg éjszaka indexben és a kontinentalitás indexben. Mindez azt jelenti, hogy bár a tenyészidőszak hőmérsékleti értékei növekedtek, a téli időszak nem lett enyhébb.
- Az extrémális indexek közül jelentősen megnőtt a meleg és a nyári napok száma, valamint a Gladstones-féle tavaszi fagyindex értéke. Kisebb mértékben növekedett az extrém meleg napok száma, a fagyos napok száma, a tavaszi fagyos napok száma, a Wolf-Boyer-féle tavaszi fagyindex értéke, a hőmérséklet napi terjedelme, az áprilisi középhőmérséklet napi terjedelme, a napi hőmérséklet ingadozás összege és az RGP index. Mindez arra enged következtetni, hogy a tavaszi, rügyfakadás utáni fagykárosodás

kockázata növekedett. A 26 év alatt nem változott a jeges napok száma, az őszi fagyos napok száma és a szüreti középhőmérséklet napi ingadozása.

- A csapadékindexek évenkénti átlagértékeiben nem volt szignifikáns változás 1977 és 2003 között, vagyis a kecskeméti körzetben nem esett több vagy kevesebb csapadék az átlagosnál.
- Az 1961-1990 közötti referencia-időszakra a RegCM3 modell becslései a legtöbb klímamodell esetében kisebb értékeket adott, mint az 1977 és 2003 közötti időszakra. Alacsonyabb értékekkel rendelkezik tehát a Huglin- és Winkler-index, a júliusi középhőmérséklet, a tenyészidő átlagos és maximum hőmérséklete, az érésidő középhőmérséklete, a szüretidő maximum hőmérséklete, az extrém meleg napok száma, stb. Enyhébbek a téli, illetve a minimumhőmérsékleteket mérő indexek értékei. Mindez azt jelenti, hogy az 1977-2003 közötti időszakban a fokozódó melegedés nagyobb hideggel járt együtt, vagyis a minimum és maximum hőmérsékletek ingadozása éves átlagban nagyobb, mint a referencia-időszakban.
- Az 1961-1990-es időszakban átlagosan több csapadék is hullott, mint 1977 és 2003 között. Eloszlása a tenyészidőszakok során kedvezőbb volt.
- A RegCM3 klímamodell 2021-2050-re előrejelzett Huglin- és Winkler-index értékek, a júliusi középhőmérséklet, a tenyészidő átlagos és maximum hőmérséklete, az érésidő középhőmérséklete, a szüretidő maximum hőmérséklete a megfigyelt időszakhoz képest, kevesebb, de a referencia-időszak értékeinél már több. A januári középhőmérséklet, a tenyészidőszak minimum hőmérséklete, a téli minimumhőmérséklet és a hideg éjszaka index az 1977-2003-as és az 1961-1990-es időszakhoz képest is enyhébb átlagértékeket mutat.
- A 2021-2050-es időszakban az extrémális indexek átlagértékei előreláthatólag még alacsonyabbak lesznek, mint a megfigyelt időszakban, de az extrém meleg napok száma már jelentősen növekedhet. Csökken a fagyos, a jeges, a tavaszi fagyos és az őszi fagyos napok száma, ami akár kedvező lehet a szőlő rügyszakadása és érése szempontjából. Az áprilisi és a szüreti középhőmérséklet napi terjedelme, a napi hőmérsékleti kilengés terjedelme, valamint a Riberau-Gayon-Peynaud Index átlagértékei a megfigyelt időszakhoz képest még mindig alacsonyabbak.
- A 2021-2050-es időszakra előrejelzett csapadékindexek közül az előrejelzések szerint az éves és a téli csapadékmennyiségben, valamint a tenyészidőszak csapadékmennyiségében szignifikáns növekedés várható. Ez azonban nem annyira jó hír, hiszen a téli csapadékmennyiség növekedése a terméseredmények szempontjából jelentéktelen. Az érésidő csapadékmennyisége kisebb mértékben, de várhatóan növekedni fog, ami

kedvező helyzetet teremt a szőlő botritiszes megbetegedésének, csökkentve a termésmennyiséget és növelve a költségeket.

- A 2071-2100-as évek, jóllehet még távol vannak, éghajlati modellünk előrejelzései viszont nagyságrendekkel erőteljesebb átlagértékeket, nagyobb szélsőértékeket jósolnak, mint a megfigyelt, a referencia, vagy akár a 2021-től 2050-ig terjedő időszakra. A hőmérsékleti indikátorok átlagértékei egy kivételével szignifikáns növekedést mutatnak. Egyedül a kontinentális hatás indexértékére adott a modell alacsonyabb előrejelzést, mint a megfigyelési időszakra, de az 1961-1990-es és az 1977-2003-as időszakhoz képest ebben is növekedés várható.
- A 2071-2100-as időszakra a szélsőséges hőmérsékleti indikátorok közül az extrém meleg, a meleg és a nyári napok száma várhatóan ugrásszerűen megnő az 1977-2003 között mért értékekhez képest. A fagyos és jeges napok száma szignifikánsan csökken. Kedvező lehet a szőlő számára, hogy a modell szerint ebben a 30 évben csökkenhet a tavaszi és az őszi fagyos napok száma. A Gladstones- és a Wolf-Boyer féle tavaszi fagyindex értékek, kis mértékben ugyan, de várhatóan csökkenni fognak. A júliusi hőmérséklet-ingadozás nagyobb lesz a megfigyelt időszakhoz képest. Az áprilisi és a szüreti középhőmérséklet nem változik szignifikánsan. A június és október között napi hőmérséklet-ingadozás mértéke a megfigyelt időszakhoz képest előreláthatólag alacsonyabb marad. Az evapotranspirációs indexértékek növekedése várható.
- A klímamodell a 2071-2100-as időszakra szignifikánsan több éves csapadékmennyiséget jósol. Sajnos a nyári csapadékmennyiség viszont szignifikánsan csökken, ami azt jelenti, hogy fel kell készülni az aszályos időjárás fokozódására. Megnövekszik a téli csapadékmennyiség, de a tenyészidőszak csapadékmennyiségének változása a négy vizsgált idősor alatt nem változott szignifikánsan. Nem lesz lényegesen kevesebb, de több sem. A virágzáskori csapadékmennyiség várhatóan csökken, de az érésidő csapadékmennyisége szignifikánsan növekedhet. A tenyészidőszakok csapadékos napjainak száma a vizsgált időszakhoz képest növekedhet, de a referencia-időszakhoz és a 2021-2050-es időszakhoz képest várhatóan csökkenni fog.

2. Csepregi (1997) a tenyészidőszak-számításra az ún. interpolációs módszert javasolja. Nemzetközileg is, széles körben elterjedt Kozma (1991) egyszerűbb tenyészidőszak-számítási módszere is.

- E kétféle módszerrel elvégeztem a tenyészidőszak-számításokat, két helyszínen. A két módszert összehasonlítva megmutattam, hogy a klímaváltozás egyre jobban érezhető hatásai mellett fokozottan indokoltá válik az interpolációs módszer alkalmazása, az

egyre gyakoribbá váló extrém jelenségek ugyanis a hagyományos módszert pontatlanabbá teszik.

3. 1989-ben Murray és munkatársai az emelkedő téli hőmérséklet hatását vizsgálták fás növények rügyfakadási idejére Skóciában. Vizsgálataihoz a Thermal Time modellt (Cannel és Smith, 1983) alkalmazták. A különböző skóciai fafajok rügyfakadását megvizsgálva azt az eredményt kapták, hogy a melegedő téli hőmérséklet hatására inkább később kezd a rügyfakadás azoknál a viszonylag nagy hidegösszeg-igényű fajoknál, melyek viszonylag enyhe telű termőhelyen élnek. Ezzel szemben a rügyfakadás felgyorsult az alacsony hidegösszeg igényű fajoknál, melyek viszonylag hideg termőhelyen élnek.

Ezzel ellentétes eredményt kapott 1991-ben Hänninen, aki 73 év hőmérsékleti adatsorát felhasználva fás növények rügyfakadási idejét és az ezt követő fagykárriskázatot vizsgálta közép-finnországi feltételek között. Számításaihoz Sarvas (1974) Hänninen által javított (1990) rügyfakadási szimulációs modelljét használta kétszeres légköri CO₂ szintű éghajlati scénáriót (Bach, 1987) feltételezve. Az előrejelzés szerint a kétszeresére emelkedett széndioxid-szint hatására megemelkedő középhőmérséklet siettetni fogja a fák rügyfakadását, megnövelve ezzel a rügyfakadás után bekövetkező fagykárok kockázatát (Hänninen, 1991).

A két ellentétes eredmény megjelenése után Kramer (1994 a) tovább boncolgatta a témát, feltéve a kérdést, hogy mi okozhatta az ellentétes eredményeket: talán a különböző modellek vagy az eltérő klímaszcenáriók alkalmazása? Esetleg az eltérő, lokális termőhelyekhez adaptálódott különböző fajok? Vizsgálataihoz a Hollandiában és Németországban a fenológiai hálózat által gyűjtött 11 fafaj adatsorát használta. Az adatok elemzéséhez a Sequential (Sarvas, 1974; Hänninen; 1990; Kramer 1994 b) és Alternating (Murrey et al., 1989) modelleket használta, valamint egyenletesen (*uniform temperature increase scenario*) és változóan melegedő (*non-uniform temperature increase scenario*) klímaszcenárókat. Végeredményül mindkét modell emelkedő vagy konstans minimum hőmérsékletet jósolt a rügyfakadás ideje körül, mindkét scenárió esetében, a *Larix decidua*, *Betula pubescens*, *Tilia platyphylla*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata*, *Quercus rubra*, *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus petraea*, *Picea abies* és a *Pinus sylvestris* fajok németországi és holland termőhelyein. Ennek eredményeként pedig a tavaszi fagykárok csökkenése lehetséges. A tanulmány felfedte azt is, hogy a fajok különböznek a változó téli hőmérsékletre adott válaszukban. Azok a fajok, melyek rügyfakadása április végén következik be, erősebben reagálnak a hőmérsékletváltozásra, mint azok, amelyek május első hetében fakadnak. Ez várhatóan hatással van az egyes élőhelyeken élő fajok kompetitív kapcsolataira, mivel a már meglévő különbségeket fokozza egy ilyen eltérő válaszadás. Ugyanis egy 1996-os kutatásban azt sikerült bizonyítani, hogy a vegyeserdőkben élő

fajok nettó elsődleges produkciója (NPP - *net primary production*) magasabb, mint a monokultúrában élő fajok esetében (Kramer et al., 1996).

Mi is célul tűztük ki, hogy olyan fenológiai modelleket fogalmazzunk meg, illetve fejlesszünk tovább, amelyek a szőlő rügyfakadásának, illetve virágzásának idejét megfelelő pontossággal becsülik azzal a céllal, hogy összehasonlító vizsgálatot végezzünk a rendelkezésre álló adatok alapján a különböző modellekre és fajtákra, és ez alapján javaslatot tehessünk egy, a vizsgálatba bevont modellek közül a legmegfelelőbbre. További összehasonlító vizsgálatot is végeztünk a fenológiai modellekre a RegCM3.1 regionális klímamodell által a 1961-1990-es referencia-időszakra, valamint a 2021-2050 és a 2071-2100-as jövőbeli időszakokra vonatkozó becslések alapján, a Kunsági borvidéken várható változások megfogalmazása céljából. A kapott eredményeink a fent idézett nemzetközi kutatások eredményeibe az alábbiak szerint illeszkednek:

- Egy előzetes rügyfakadásbecslés modellezéséhez 5 fehérborszőlő-fajta (Chardonnay, Rajnai rizling, Hárslevelű, Pinot blanc és Szürkebarát) és klónjaik (Chardonnay 75 és 96, Rajnai rizling 239, 378, 391, 49, Hárslevelű K.9, P.49, Szürkebarát 34, 52, Pinot blanc 54, 55 és D55) 2000 és 2004 között felvételezett rügyfakadási adatait használtam fel. A becslést az általánosan használt egyszerű hőösszegzési modell segítségével végeztem. Megállapítottam, hogy a szakirodalomban átlánosan elterjedt 10 °C-os bázishőmérséklet helyett, már jóval alacsonyabb hőmérsékleten elkezd a szőlőtőke a hőösszegeket gyűjteni. A mi esetünkben ez 6 °C-nál indult el. Az optimális indulási napot a 41. Julianus napban (február 10.) határoztam meg. Mivel a klímaváltozás módosító hatásait figyelembe véve nem szerencsés ezt a napot rögzíteni, ezért ezt a paramétert időről időre optimalizálni szükséges az új megfigyelésekre támaszkodva.
- A fenti egyszerű modellel megbecsültem a vizsgált fajták, illetve klónjaik tömeges virágzásának idejét. A becsléshez Gladstones (1992) javaslatára egy felső bázishőmérsékletet is bevezettünk. Az optimális alsó bázis hőmérsékletet 11°C-ra, a felső bázishőmérsékletet pedig 26°C-ra kalibráltuk. A modell a RegCM3.1 regionális klímamodell adataival futtatva Helvéciaán a rügyfakadás kezdetét az évszázad közepére átlagosan öt nappal előbbre, a fővirágzás kezdetét öt nappal későbbre becsüli a vizsgált időszakban megfigyeltekhez képest. Ez némileg ellentmond Zanathy (2008) által közölt, közelmúltbeli megfigyeléseknek, ám hangsúlyozzuk, hogy a 21. század közepére vonatkozó prognózisok közvetlenül nincsenek ellentmondásban egy évtizedekkel korábban megfigyelt tendenciával. Eredményeink továbbá megfelelnek Dunne et al., (2003), Arft et al., (1999), Price és Waser, (1998) és Dunne et al., (2003) eredményeinek, akik a melegedéssel egyidőben számos esetben a növények növekedésének és a

virágzásának gyorsulását dokumentálták, különösen a kora tavaszi virágzású fajok esetében. A tenyészedőszakban később fakadó növények esetében arról számoltak be, hogy azok vagy nem reagálnak szignifikánsan a melegedésre (Dunne et al., 2003), vagy késik a fenológiai fázisuk, különösen, ha a hőmérséklet fiziológiai tűrőképességük fölé emelkedik (Sherry et al., 2007).

- A rügyfakadás időpontjának becslését a kecskeméti hosszabb idősorra (27 év) is elvégeztem 5 fajtára, de már kétféle modellel. Az egyszerű hőösszegmodellnél a Rajnai rizling, a Generosa és a Hárslevelű fajták a 41. Julianus naptól kezdték gyűjteni a hőösszegeket, míg a Szürkebarát és a Kékfrankos a 47. Julianus naptól. Az alsó bázishőmérséklet 4-5 °C, a felső 18,3 és 19,2 °C között mozgott.
- Mivel a szőlő rügyfakadását a nyugalomban ért hideghatást követően, de attól erősen függően elsősorban a növényt ért hatásos hőmennyiség határozza meg, megfogalmaztunk egy mélynyugalmi hőösszegeket is figyelembe vevő modellt, melyet a kecskeméti rügyfakadás adatsorokra futtattuk. Összehasonlítottuk az egyszerű hőösszegmodellt (EHM) és a nyugalmi időszakban a növényt ért hideghatást is figyelembe vevő modellt (Hideghatás modell - HHM). Úgy ítéltük meg, hogy a HHM modell jobb eszköz a rügyfakadás becsléséhez, mivel a hiba, az átlagos és a maximális abszolút hiba értéke a legtöbb esetben jelentősen kisebb ennek a modellnek az esetében. A korrelációs együtthatók (R^2) szignifikánsak mindkét modellre ($p < 0,05$), a HHM modellé többnyire magasabb. Chuine és munkatársai (1999) rügyfakadási modelltesztelési eredményei is kiemelték a mienkhez hasonló modellek jó alkalmazhatóságát, de hangsúlyozták, hogy a modellek jósága fajta- és régióspecifikus.
- A hideghatást is figyelembe vevő modell előnye, hogy esetében nincs olyan, az egyszerű hőösszeg-modellnél optimalizált és rögzített induló nap, mely a klímaváltozás hatására időről időre módosításra szorul.
- A mélynyugalmi időszakot is figyelembe vevő fenológiai modell átlagosan 14-15 nappal korábbra teszi a rügyfakadás idejét a 2071 utáni időszakban a vizsgált fajták esetében. Ugyanakkor a gyakorisági hisztogramok segítségével az is kiderült, hogy a rügyfakadás a melegedéssel nem csak korábbra, hanem későbbre is tolódhat, a nem kielégítő téli hideghatás következtében. A mélynyugalmi időszakot is figyelembe vevő modell (HHM) esetében az öt fajtára vonatkozó rügyfakadási időpontok a megfigyelt időszakban (1977-2003) és a referencia-időszakban (1961-1990) is átlagosan a 118. Julianus nap, az eltérés a két időszak között nem szignifikáns. A 2021-2050-es és a 2071-2100-as időszakok átlagértékei (108. és 104. Julianus nap) egymástól szignifikánsan nem térnek el, de a megfigyelt és a referencia-időszaktól már szignifikánsan különböznek ($p < 0,001$). A

rügyfakadási időpontok korábbra tolódása mellett a rügyfakadás idejének terjedelme is várhatóan szélesedik az időben, mely megfelel Khandauri et al. (2008) eredményeinek. Ez azt jelenti, hogy a várható extrémális időjárási események következményeként akár extrém korai és extrém kései időpontok előfordulására is számíthatunk.

Az általunk vizsgált hőmérsékleti hatáson kívül számos egyedi időjárási és éghajlati tényező befolyásolja a szőlő növekedését és ezen keresztül a céltermék, a bor minőségét (pl. napsugárzás, hőakkumuláció, hőmérsékleti szélsőségek, csapadék, szél, extrém időjárási események, mint pl. a jégeső stb.). A tenyészidőszak hossza és a hőmérséklet azonban olyan kritikus tényezők, melyek különös mértékben meghatározzák a szőlő érésének folyamatát, a cukor-, sav- és színanyagtartalom kialakulását, amiből végső soron a bor minősége és jellege következik.

Az elmúlt 50 évben megfigyelt melegedés többnyire világszerte kedvezett a szőlőtermesztés minőségének, bár a jövőbeli felmelegedésnek az előrejelzések szerint globális, kontinentális és regionális szinten valószínűleg hasznos és hátrányos hatásai is lesznek (Jones, 2007). Egyrészt új területek nyílnak meg a szőlőtermesztés számára, másrészt, ezzel párhuzamosan a változások nehéz kihívások elé állítják a szőlőtermesztőket és a minőségi bortermelőket. Mindenesetre a jövőbeli éghajlatváltozás mértéke és terjedelme számos változást fog előidézni a borászati ágazatra vonatkozóan, beleértve a fokozódó nyomást a növekvő vízhiány miatt, további változásokat a szőlő fenológiájában, a szőlő és a bor összetételében, ami egyes években zavart okozva veszélyeztetheti a megszokott harmonikus aromákat. A termesztett fajták regionális-specifikus összetételének módosulása arra készíti a termelőket, hogy a szükséges változtatásokról, valamint a szőlő számára élhető területek újraértékelésével a termesztésbe bevont területek térbeli formálásáról megfontoltan döntsenek.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban egyre nagyobb érdeklődés övezi az éghajlatváltozásnak a termesztett növények, ezen belül a szőlő (*Vitis vinifera* L.) fenológiai fázisaira gyakorolt hatását.

A jelenleg változó és a jövőben várható körülmények feltárásához szakirodalmi gyűjtést végeztem, és összeállítottam a szőlő növényre legmarkánsabban ható 36 klímaindikátor listáját, valamint előállítottam ezek értékeit az 1977-2003 között mért kecskeméti hőmérséklet- és csapadékadatokból. A RegCM3.1 regionális klímamodell segítségével becslést végeztem az 1961-1990-es referencia-időszakra, és előrejelzést készítettem a 2021-2050, valamint a 2071-2100-as időszakokra. Megállapítottam, hogy a kecskeméti körzetben a 27 év alatt szignifikáns növekedés következett be számos hőmérsékleti indikátor tekintetében. Az éghajlati modell becslései 2021-től az egyes hőmérsékleti indikátorok átlagértékeinek további emelkedését vetítik elő. A csapadék éves mennyisége várhatóan nem fog emelkedni. 2050 után a nyári és a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség csökkenésére, valamint az őszi és téli csapadékmennyiség növekedésére kell számítanunk Kecskemét körzetében.

Kiszámítottam Kecskemétre és Helvéciára a vizsgált évek tenyészidejének hosszát kétféle, a nemzetközi szakirodalomban általánosan használt módszerrel, majd ezeket statisztikailag is összehasonlítottam. Megmutattam, hogy a klímaváltozás megfigyelhető hatásai mellett fokozottan indokoltá válik az interpolációs módszer alkalmazása, ugyanis az egyre gyakoribbá váló extrém jelenségek a hagyományos módszert pontatlanabbá teszik.

Vizsgálataink középpontjában a helvéciai és kecskeméti termőhelyről származó rügyfakadási időpontok fenológiai modelleken alapuló becslései és a jövőbeli várható változásaik előrejelzése állt.

A helvéciai kísérleti ültetvényben 5 fehérborszőlő-fajtára (Chardonnay, Rajnai rizling, Hárslevelű, Pinot blanc és Szürkebarát) és klónjaira 2000 és 2004 között felvételezett adatok alapján elvégeztem az egyszerű hőösszegzési modell (EHM) segítségével a rügyfakadás és a fővirágzás időpontjainak becslését, melynek során a bázishőmérsékletet és a hőösszeg akkumulációjának kezdeti napját optimalizáltam. A RegCM3.1 modell a 2021-2050-es időszakra Helvécián a rügyfakadás kezdetét átlagosan öt nappal előbbre, a fővirágzás kezdetét öt nappal későbbre becsüli a megfigyeltékhez képest.

A kecskeméti 1977-2003-ig terjedő 27 éves idősorra a felső bázishőmérséklettel kiegészített EHM modellt egy további, a mélynyugalmi időszak hideghatását is figyelembe vevő fenológiai modellel (HHM) hasonlítottam össze. Mindkét modell kalibrálását és validálását követően elvégeztem a rügyfakadási becsléseket a Kékfrankos, a Szürkebarát, a Hárslevelű, a Rajnai rizling és a Generosa fajtáknál. Az eredmények alapján a csupán a kényszernyugalmi időszak

hőmérsékleteit figyelembe vevő egyszerű hőösszeg-modellnél (EHM) a mélynyugalmi időszakot is figyelembe vevő modell (HHM) pontosabb becsléseket adott a rügyfakadási időpontokra. A megfigyelt adatokhoz képest az átlagos és a maximális abszolút hiba értéke a legtöbb esetben jelentősen kisebb a HHM esetében.

A modelleket a RegCM3.1 regionális klímamodell 1961-1990-es referencia-időszakra, valamint a 2021-2050-re és a 2071-2100-as jövőbeli időszakokra vonatkozó becsléseivel is futtattam. Az eredmények alapján elmondhatjuk, hogy 2020 után várhatóan minden fajta rügyfakadása korábbra tolódik a kecskeméti körzetben, de 2070 után a rügyfakadás idejének várható tartománya is kiszélesedik. Az egyszerű hőösszegmodell az idő előrehaladtával az öt fajta esetében átlagosan 10-11 nappal korábbra teszi a rügyfakadás kezdetét a század végére. A hideghatást is figyelembe vevő modell átlagosan 13-17 nappal korábban jelzi a rügyfakadást a század utolsó 30 évére.

7. SUMMARY

Today, there is a growing interest in the impact of climate change on phenology of crops, including grapes (*Vitis vinifera* L.).

In order to explore the current and the expected future conditions, I collected the 36 most important climatic indicators for grapevine and I calculated their values for the time scale 1977-2003 in Kecskemét region. Based on RegCM3.1 regional climate model estimations were made for the reference period 1961-1990 and projections were made for the time scales 2021-2050 and 2071-2100.

I found that the values of several temperature-indicators increased significantly in the examined 27 years in Kecskemét region. The climate model projects further increase of temperature-indicators during the 21st century. The annual rainfall is not expected to increase. After 2050 the summer and growing season precipitation are expected to decrease while the fall and winter rainfall precipitation are expected to decrease in Kecskemét region.

I calculated and compared statistically the length of growing season with two widely used methods for the examined time periods in Kecskemét and Helvécia region. I showed that the use of the interpolation method is more reasonable, since the observed effects of climate change with increasingly frequent extreme events makes the traditional method inaccurate.

Our study focused on the phenological model based estimations and future projections for Kecskemét and Helvécia regions.

With the degree days model (GDD), optimizing the base temperature and the starting date of heat accumulation, I estimated the date of budburst and full bloom of 5 white wine grape varieties and their clones based on observed data between 2000 and 2004 in Helvécia.

The RegCM3.1 regional climate model predicted the beginning of budburst in the time period between 2021 and 2050 about five days earlier, the starting date of full bloom about five days later, compared to the data observed between 2000 and 2004.

The GDD model completed with upper base temperature was compared with an additional model (CHM) which considers the chilling effect in endodormancy concerning the 27-year time series 1977-2003 in Kecskemét region. After having calibrated and validated both models for varieties Kékfrankos, Pinot Gris, Hárslevelű, Riesling and Generosa, I estimated the budburst dates. Based on the results, we state that the simple heat-sum model (GDD) considering the temperatures of ecodormancy, only, is less effective than CHM model since the average and maximum absolute values of errors are in most cases significantly lower in case of CHM model.

Based on RegCM3.1 climate model, both GDD and CHM models were run for the reference period 1961-1990 and for the time scales 2021-2050 and 2071-2100.

We can conclude that after 2020 a budburst shift is expected to an earlier date in Kecskemét region for all observed varieties. By the end of the 21st century, the expected range of budburst is widening. The simple degree days model (GDD) estimates the time shift of budburst 10 to 11 days earlier while the CHM model takes the budburst dates 13-17 days earlier in the last 3 decades of the 21st century.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazon személyeknek és intézményeknek, akik hozzájárultak a dolgozat elkészítéséhez:

Témavezetőimnek: Dr. Bisztray György Dénesnek és Dr. Ladányi Mártának, hogy irányítottak és hasznos szakmai tanácsokkal láttak el a munkám során.

Pernesz Györgynek, a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal, Szőlő-és Gyümölcs Fajtakísérleti Osztály vezetőjének a dolgozathoz nélkülözhetetlen adatokért.

Dr. Hajdu Editnek, a Kecskeméti Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet kutatójának a további adatokért, mellyel hozzájárult a téma és az eredmények bővítéséhez.

Dr. Ferenczy Antal Zoltánnak önzetlen segítségéért, matematikai statisztikai útmutatásáért.

A BCE KeTK Szőlészeti és Borászati Intézet munkatársainak a fáradhatatlan szakmai segítségükért és támogatásukért.

Végül, de nem utolsó sorban köszönetemet szeretném kifejezni családomnak a támogatásukért, türelmükért és szeretetükért, valamint születendő gyermekemnek, aki az utolsó hónapokban jelentősen motiválta a munkámat.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Aerts, R., Cornelissen, J. H. C., Dorrepaal, E., Van Logtestijn, R. S. P., Callaghan, T. V. (2004): Effects of experimentally imposed climate scenarios on flowering phenology and flower production of subarctic bog species. *Glob Chang Biol* 10(9): 1599-1607.
- [2] Allen Consulting Group (2005): Climate change, risk and vulnerability. Promoting an efficient adaptation response in Australia. Final Report, March 2005.
- [3] Alleweldt, G. (1963): Einfluss von klimafaktoren die Zahl der Infloreszenzen bei Reben. *Wein-Wiss* 18(2):61–70.
- [4] Amerine, M.A., Winkler, A. J. (1944): Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*, 15:493-675.
- [5] Andersen, T. B. (1991): A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana* 30, 269–275.
- [6] Arakawa, H. (1955): Twelve centuries of blooming dates of the cherry blossoms in the city of Kyoto and its own vicinity. *Geophysica Pura e Applicata* 30: 147–150.
- [7] Arakawa, H. (1956): Climatic change as revealed by the blooming dates of the cherry blossoms at Kyoto. *Journal of Meteorology* 13: 599–600.
- [8] Arft, A. M., Walker M. D., Gurevitch, J., Alatalo, J. M., Bret-Harte, M. S., Dale, M., Diemer, M., Gugerli, F., Henry, G. H. R., Jones, M. H., Hollister, R. D., Jo'Nsdo' Ttir, I. S., Laine, K., Le' Vesque, E., Marion, G. M., Molau, U., Mølgaard, P., Nordenhäll, U., Raszhivin, V., Robinson, C. H., Starr, G., Stenström, A., Totland, Ø., Turner, P. L., Walker, L. J., Webber, P. J., Welker, J. M., Wookey, P. A. (1999): Responses of tundra plants to experimental warming: Meta-analysis of the international tundra experiment. *Ecol. Monogr.* 69, 491–511
- [9] Arrhenius, S. (1896): On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science. Series 5*, 41, 237-276
- [10] Bach, W. (1987): Development of climate change scenarios: A. From general circulation models. In *The Impact of Climatic Variations on Agriculture, Vol I: Assessment in Cool Temperature and Cold Regions* (eds M.L. Parry, T.R. Carter, & NT. Konijn), pp. 125-157. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- [11] Baggiolini, M. (1952) : Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique, *Rev. Romande d'Agriculture de Viticulture et d'Arboriculture*, 8, 4-6.
- [12] Baillod, M., Baggiolini, M. (1993): Les stades repérés de la vigne et leur utilisation pratique. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 25, 7-9.

- [13] Bartholy, J., Pongrácz, R., Matyasovszky, I., Schlanger, V. (2004): A XX. században bekövetkezett és a XXI. századra várható éghajlati tendenciák Magyarország területére, In: AGRO-21 Füzetek, 2004/33: 1-18.
- [14] Bartholy, J., Mika, J. (2005): Időjárás és éghajlat – cseppben a tenger? Magyar Tudomány. 7, 789–796.
- [15] Bartholy, J., Pongrácz, R., Barcza, Z., Haszpra, L., Gelybó, Gy., Kern, A., Hidy, D., Torma, Cs., Hunyady A., Kardos, P. (2007): A klímaváltozás regionális hatásai: a jelenlegi állapot és a várható tendenciák. – Földrajzi Közlemények. CXXXI. (LV.) kötet, 4. szám, pp. 257-269.
- [16] Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs. (2010): A Kárpát-medencében 2021-50-re várható regionális éghajlatváltozás RegCM-szimulációk alapján. – “KLÍMA-21” Füzetek, 60: 3-13.
- [17] Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos, P., Hunyady, A. (2009): Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian basin. International Journal of Global Warming 1, 238-252.
- [18] Beattie, A. J., Breedlove, D. E., Ehrlich, P. R. (1973): The ecology of pollinators and predators of *Frasera speciosa*. Ecology 54:81-91.
- [19] Beaubien, E., Hamann, A. (2011): Spring Flowering Response to Climate Change between 1936 and 2006 in Alberta, Canada. BioScience 61: 514–524. ISSN 0006-3568, electronic ISSN 1525-3244.
- [20] Bényei F., Lőrincz, A. (2005): Borszőlőfajták, csemegeszőlő-fajták és alanyok. Fajtaismeret és használat. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- [21] Bényei F., Lőrincz, A., Sz. Nagy, L. (1999): Szőlőtermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- [22] Bidabe, B. (1965a): Contrôle de l'époque de floraison du pommier par une nouvelle conception de l'action de températures. C R Acad Agric Fr 49:934–945.
- [23] Bidabe, B. (1965b): L'action des températures sur l'évolution des bourgeons de l'entrée en dormance à la floraison. 96 Congrès Pomologique, pp 51–56.
- [24] Bindi, M., Miglietta, F., Gozzini, B., Orlandini, S., Seghi, L. (1997 a): A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L.). I. Model description. Vitis 36(2):67–71.
- [25] Bindi, M., Miglietta, F., Gozzini, B., Orlandini, S., Seghi, L. (1997 b): A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L.). II. Model validation. Vitis 36(2):73–76.

- [26] Bishop, J. G., Schmeske, D. W. (1998): Variation in flowering phenology and its consequences for lupines colonizing Mount St Helens. *Ecology* 79:534-546.
- [27] Bisztray, Gy. D., Cindrić, P., Hajdu, E., Ivanišević, D. Korać, N., Lázár, J., Medić, M., Szegedi, E. (eds Hajdu, E.) (2011): Szőlőfajták, szaporítóanyaguk és betegségeik. Agroinform Kiadó, Budapest. ISBN 978-963-502-940-2.
- [28] Bootsma, A., Gameda, S., Mckenney, D. W. (2005a): Impacts of potential climate change on selected agroclimatic indices in Atlantic Canada *Canadian Journal of Soil Science* Volume 85, Issue 2, May 2005, Pages 329-343.
- [29] Bootsma, A., Gameda, S., Mckenney, D. W. (2005 b): Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada *Canadian Journal of Soil Science* Volume 85, Issue 2, May 2005, Pages 345-357.
- [30] Bonhomme, R. (2000): Bases and limits to using “degree-day” units. *Eur. J. Agron.* (13):1–10, doi:10.1016/S1161-0301(00)00058-7.
- [31] Borvidéki értesítő (2003): Kunsági Borvidék Hegyközségi Tanácsa, Kecskemét, 2003/2.
- [32] Bos, P.R. (1893): Phyto-phenological observations in The Netherlands. *Tijdschrift van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap*, 409[^]12 (In Dutch).
- [33] Boss, P. K., Elise, J., Buckeridge, A. P., Thomas, M. (2003): New insights into grapevine flowering. *Funct Plant Biol* 30:593-606.
- [34] Botos, E. P., Hajdu, E. (2004): A valószínűsíthető klímaváltozás hatásai a szőlő- és bortermelésre. ”AGRO-21“ Füzetek, 34: 61-73.
- [35] Boyer, W. D. (1973): Air temperature, heat sums, and pollen shedding phenology of longleaf pine. *Ecology* 54, 421–425.
- [36] Bradley, N. L., Leopold, A. C., Ross, J., Huffaker, W. (1999): Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96: 9701–9704.
- [37] Bradshaw, A. D., McNeilly, T. (1991): Evolutionary response to global change. *Ann Bot* 67:5-14.
- [38] Branas, J., Bernon, G., Levadoux, L. (1946): *Eléments de viticulture générale*. Montpellier.
- [39] Broecker, W. S. (1987): The Biggest Chill. *Natural History Magazine*. 97, 74–82.
- [40] Bruggen van, A. H. C., Semenov, A. M. (1999): A new approach to the search for indicators of root disease suppression. *Australasian Plant Pathology*. 28, 4-10.
- [41] 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 http://chaireunesco-vinetculture.u-bourgogne.fr/Actes%20clima/Actes/Article_Pdf/Cahill.pdf

- [42] Callendar, G. S. (1938): The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 64, 223-240.
- [43] Cannell, M. G. R., Smith, R. I. (1983): Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *J. Appl. Ecol.* (20): 951-963.
- [44] Cannell, M. G. R., Smith, R. I. (1986): Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees. *Journal of Applied Ecology* 23: 177±191.
- [45] Carbonneau, A., Riou, C., Guyon, D., Riou, J., Schneider, C. (1992): Agrométéorologie de la vigne en France. EUR-OP, Luxembourg, p 168. Bonhomme R (2000) Bases and limits to using “degree-day” units. *Eur. J. Agron.* (13):1–10, doi:10.1016/S1161-0301(00)00058-7.
- [46] Carter, T. R., Parry, M. L., Porter, J. H. (2007): Climatic change and future agroclimatic potential in Europe. *International Journal of Climatology*, 11. 3, P. 251- 269.
- [47] Cattivelli, L., Bartlet, D. (1992): Biochemical and molecular biology of cold-inducible enzymes and proteins in higher plants. In: Wray, J. L. (ed) *Society for experimental biology seminar series 49: Inducible plant proteins*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [48] Cecich, R. A., Kang, H., Chalupka, W. (1994): Regulation of early flowering in *Pinus banksiana*. *Tree Physiology* 14, 275–284.
- [49] Champagnat, P. (1983): Quelques réflexions sur la dormance des bourgeons des végétaux ligneux. *Physiologie Végétale* 21: 607±618.
- [50] Champagnol, F. (1984): *Eléments de physiologie de la vigne et viticulture générale*. Champagnol, Saint-Gely-du-Fesc, France.
- [51] Chuine, I., Cour, P. és Rousseau, D. D. (1998): Fitting models predicting dates of flowering of temperate-zone trees using simulated annealing. *Plant, Cell and Environment* 21, 455–466.
- [52] 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): 1-13.
- [53] Chuine, I., Cour, P. (1999): Climatic determinants of budburst seasonality in four temperate-zone tree species. *New Phytologist*, 143:339-349.
- [54] Chuine, I. (2000): A unified model for budburst of trees. *J. Theor. Biol.* (207):337–347, doi:10.1006/jtbi.2000.2178.
- [55] Chuine, I. és Beaubien, E. (2001): Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*, (2001) 4: 500-510.

- [56] Chuine, I., Kramer, K., Hänninen, H. (2003): Plant development models. In Phenology: An Integrative Environmental Science (Schwartz, M.D., ed.), pp. 217–235, Kluwer.
- [57] Chuine, I., Yiou, P., Viovy, N., Seguin, B., Daux, V., Ladurie LeRoy, E. (2004): Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 432, 289-290.
- [58] Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., Schwartz, M. D. (2007): Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, Volume 22, No. 7.
- [59] Coombe, B. G. (1995): Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 1(2), 104-110.
- [60] Cortázar-Atauri, G.I., Brisson, N., Seguin, B., Gaudillere J.P., Baculat, B. (2005): Simulation of budbreak date for vine. The BRIN model. Some applications in climate change study. In: Proceedings of XIV International GESCO Viticulture Congress, Geisenheim, Germany, 23–27 August, 2005, pp 485–490.
- [61] Cortázar-Atauri, G.I., Brisson, N., Gaudillere, J.P. (2009): Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.) *Int. J. Biometeorol* DOI 10.1007/s00484-009-0217-4.
- [62] Czelnai Rudolf (1999): Világóceán. Modern fizikai oceanográfia. Vince, Budapest.
- [63] Csepregi, P., Zilai, J. (1988): Szőlőfajta-ismeret és –használat. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- [64] Csepregi, P. (1997): Szőlőtermesztési ismeretek. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- [65] De Jong, P. W., Brakefield, P. M. (1998): Climate and change in clines for melanism in the two-spot ladybird, *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Proc R Soc Lond B Biol Sci* B265:39-43.
- [66] Deutsche Wetterdienst (1991): Anleitung für die phaenologischen Beobachter des Deutscher Wetterdienstes, Nr. 17, Deutsche Wetterdienst Zentralamt, Offenbach am Main (In German).
- [67] Diós, N., Hufnagel, L., Szenteleki, K., Ferenczy, A., Petrányi, G. (2009): A Climate Profile Indicator Based Comparative Analysis of Climate Change Scenarios with Regard to Maize (*Zea mays* L.) Cultures. *Applied Ecology and Environmental Research*. 783 pp. 199-214.
- [68] Dookazalian, N. K. (1999): Chilling temperature and duration interact on the budbreak of ‘Perlette’ grapevine cuttings. *HortScience* 34:1054-1056.
- [69] Dookazalian N. K., Williams L. E. (1995): Chilling exposure and hydrogen cyanamide interact in breaking dormancy of grape buds. *HortScience* 30:1244-1247.
- [70] Dry, P., Smart, R. E. (1988): The grapegrowing regions of Australia. *Viticulture*. Volume 1. Resources., Coombe, B. G. and P. Dry, eds., Winetitles, Adelaide.

- [71] Dunkel, Z., Kozma, F., Major, Gy. (1981): Szőlőültetvényeink hőmérséklet- és sugárzásellátottsága a vegetációs időszakban. *Időjárás*, 85 (4): 226-234.
- [72] Dunne, J. A., Harte, J., Taylor, K. J. (2003): Subalpine meadow flowering phenology responses to climate change: integrating experimental and gradient methods. *Ecol Monogr* 73:69-86.
- [73] Eichorn, K. W., Lorenz, D. H. (1977): Phänologische Entwicklungsstadien der Rebe. *Nachrichtenblatt des dt. Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig)*, 29:119-120. p.
- [74] English-Loeb, G. M., Karba, R. (1992): Cosequences of variation in flowering phenology for seed head herbivory and reproductive success in *Erigeron glaucus* (Compositae). *Oecologia* 89:588-595.
- [75] Erdélyi, É., Ferenczy, A., Boksay, D. (2008): A klímaváltozás várható hatása a kukorica és a búza fenofázisainak alakulására. *Klíma-21 füzetek* 53, 115-130.
- [76] Erdélyi, É., Gaál, M., Horváth, L. (2009): Climate change impacts in agriculture and possible responses. CIGR Section V International Symposium 2009 - Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems. 1- 4. September 2009, Rosario, Argentina.
- [77] Erdélyi, É. (2009): Benefit and detriment of changing climate in crop production. Workshop on Modelling and Measuring Aspects of some Environmental Issues in European Union and National Projects. 2009 április, Novi Sad, Serbia.
- [78] Erez, A. (1987): Chemical control of bud break. *HortScience* 22:1240-1243.
- [79] Erez, A., Lavee, S. (1974): Recent advances in breaking the dormancy of deciduous fruit trees. In: *Proc 19th Intl Hort Congress, Warszawa*. 3:69-78 Faust, M., Erez, A., Rowland, I. J., Wang, S.Y., Norman, H. A. (1997): Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *HortScience* 32:623-628.
- [80] Estrella, N. és Menzel, A. (2006): Responses of leaf colouring of four deciduous tree species to climate and weather in Germany. *Climate Res.* 32, 253–267.
- [81] Farmer, R. E. (1968): Sweetgum dormancy release: effects of chilling, photoperiod, and genotype. *Physiologia Plantarum* 21, 1241–1248.
- [82] Fregoni, C., Pezzutto, S. (2000): Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni. *Progr. Agric. Vitic.* 18, 390–396.
- [83] Frenguelli, G., Bricchi, E., Romano, B., Ferranti, M. F. és Antognozzi, E. (1992): The role of air temperature in determining dormancy release and flowering of *Corylus avellana* L. *Aerobiologia* 8, 415–418.

- [84] Galen, C., Stanton, M. L. (1991): Consequences of emergences phenology for reproductive success in *Ranunculus adoneus* (Ranunculaceae). *Am J Bot* 78:978-988.
- [85] Galen, C., Stanton, M. L. (1993): Short-term responses of alpine buttercups to experimental manipulations of growing season length. *Ecology* 74:1052–1058.
- [86] Geber, M. A., Dawson, T. E. (1993): Evolutionary responses of plants to global change. In Kareiva, P. M., Kingsolver, J. G., Huey, R. B. (eds) *Biotic interactions and global change*. Sinauer, USA, pp 179-197.
- [87] Giorgi, F., Marinucci, M. R., Bates, G. T. (1993): Development of a second generation regional climate model (RegCM2) i: Boundary layer and radiative transfer processes, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2794–2813.
- [88] Gladstones, J. (1992): *Viticulture and Environment*. Winetitles, Adelaide, South Australia.
- [89] Gladstones, J. (2000): Past and future climatic indices for Viticulture. Paper presented at 5th International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Melbourne, Australia, January 16-20.
- [90] Goudriaan, J., Zadoks, J. C. (1995): Global climate change: modeling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. *Environ.Pollut.* 87, pp. 215-224.
- [91] Greven, M., Green, S., Neal, S., Clothier, B. (2007): Potential impact of climate change on water use and management in grapes. XXX. World Congress of Vine and Wine. 10-16. June. 2007. Budapest, Hungary. (CD ROM)
- [92] http://www.oiv2007.hu/documents/viticulture/MGreven_The_potential_influence_of_climate_change_on_vine_water_use_FINAL.pdf
- [93] Gross, R. S., Werner, P. A. (1983): Relationships among flowering phenology, insect visitors and seed set individuals: experimental studies of four co-occurring species of goldenrod (*Solidago compositae*). *Ecol Monogr* 53:95-117.
- [94] Hajdu, E., Saskói, B.-né (2009): *Abiotikus stresszhatások a szőlő életterében* Agroinform Kiadó, Budapest, p. 222.
- [95] Happ, E. (1999): Indices for exploring the relationship between temperature and grape and wine flavour. *The Australian and New Zealand Wine Industry Journal* 14(4): 68-75.
- [96] Harnos, Zs., Ladányi, M. (2005): *Biometria agrártudományi alkalmazásokkal*. Budapesti Corvinus Egyetem. Aula Kiadó, Budapest.
- [97] Harnos, Zs., Gaál, M., Hufnagel, L. (2008): *Klímváltozásról mindenkinek*. Budapesti Corvinus egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék, Budapest.

- [98] Haszpra, L., Barcza, Z. (2005): Légtörő szén-dioxid mérések Magyarországon. Magyar Tudomány. 1, 104–112.
- [99] Häkkinen, R., Linkosalo, T. és Hari, P. (1995): Methods for combining phenological time series: application to bud burst in birch (*Betula pendula*) in Central Finland for the period 1896–1955. *Tree Physiology* 15, 721–736.
- [100] Hänninen, H. (1990): Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta Forestalia Fennica* 213, 1–47.
- [101] Hänninen, H. (1991): Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell Environ.* (14): 449-454.
- [102] Hänninen, H., Backman, R. (1994): Rest break in Norway spruce seedlings: test of a dynamic temperature response hypothesis. *Canadian Journal of Forest Research* (24): 558-563.
- [103] Hänninen, H. (1995): Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modelling of budburst phenology. *Canadian Journal of Botany* 73, 183–199.
- [104] Hänninen, H. (1996): Effects of climatic warming on northern trees: testing the frost damage hypothesis with meteorological data from provenance transfer experiments. *Scandinavian Journal of Forestry Research* 11: 17±25.
- [105] Hänninen, H., Kellomäki, S., Laitinen, K., Pajari, B., Repo, T. (1993): Effect of increased winter temperature on the onset of height growth of Scots pine: a field test of a phenological model. *Silva Fennica* 27: 251±257.
- [106] Hänninen, H., Leinonen, I., Repo, T. Kellomäki, S. (1996): Overwintering and productivity of Scots Pine in a changing climate. *Silva Fennica* 30, 2–3.
- [107] Haywood, J., Boucher, O. (2000): Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: a review. *Reviews of Geophysics*, 38, 4. pp. 513-543.
- [108] Heide, O. M. (1993): Daylength and thermal time responses of budburst during dormancy release in some northern deciduous trees. *Physiologia Plantarum* 88, 531–540.
- [109] Holfman, A. A., Parson, P. A. (1997): Extreme environmental change and evolution. Cambridge University Press, Cambridge.
- [110] Hong, X. C., Mitchell, J. F. B., Lavery, J. R. (1992): Simulated Diurnal Range and Variability of SDurface Temperature in a Global Climate Model for Present and Doubled CO₂ Climates, Hadley Center for Climate Prediction and Research, UK.
- [111] Hughes, L. (2000): Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol Evol* 15:56-61.

- [112] Huglin, P. (1978): Nouveau Mode d'Évaluation des Possibilités Héliothermiques d'un Milieu Viticole. C. R. Acad. Agr. France, 1117-1126.
- [113] Huglin, P. (1986): Biologie et écologie de la vigne. Ed. Payot, Lausanne – Paris.
- [114] Hunter, A. F. és Lechowicz, M. J. (1992): Predicting the timing of budburst in temperate trees. *Journal of Applied Ecology* 29, 597–604.
- [115] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001): Third assessment report climate change. In McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (eds) Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge.
- [116] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the IPCC. Fourth Assessment Report: Summary for Policymakers. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- [117] Jackson D. I., Lombard, P. B. (1993): Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review. *Am. J. Enol. Vitic.* 4, 409–430.
- [118] Jones, G. V., Davis, R. E. (2000 a): Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships. *International Journal of Climatology*, 20, pp. 813-837.
- [119] Jones, G. V., Davis, R. E. (2000 b): Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol. 51, No. 3. pp. 249-261.
- [120] Jones, G. V., Storchmann, K-H. (2001) Wine market prices and investment under uncertainty: an econometric model for Bordeaux Crus Classés. *Agricultural Economics* 26 (2001) pp. 115–133.
- [121] Jones, G.V. (2003): Winegrape phenology. In: Schwartz MD (ed) *Phenology: an integrative environmental science*. Kluwer, Milwaukee, pp. 523–540.
- [122] Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., Storchmann, K. (2005 a): Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3):319-343.
- [123] Jones, G.V., Duchene, E., Tomasi, D., Yuste, J., Braslavksa, O., Schultz, H., Martinez, C., Boso, S., Langellier, F., Perruchot, C., and G. Guimberteau (2005): Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate, GESCO 2005. August 2005.
- [124] Jones, G. V. (2007): Climate Change: Observations, Projections, and General Implications for Viticulture and Wine Production. *Practical Winery and Vineyard*, July/August 44-64.
- [125] Jones, G. V., Goodrich, G.B., (2008): Influence of Climate Variability on Wine Region in the Western USA and on Wine Quality in the Napa Valley. *Climate Research*, 35: 241-254.

- [126] Jones, G.V., Moriondo, M., Bois, B., Hall, A., Duff, A. (2009): Analysis of the spatial climate structure in viticulture regions worldwide. *Le Bulletin de l'OIV* 82(944,945,946):507-518.
- [127] Kadir, S. A., Proebsting, E. L. (1994): Screening sweet cherry selections for dormant floral bud hardiness. *HortScience* 29:104-106.
- [128] Kádár, Gy. (1998): Az évjárat hatása a szőlő és a bor minőségére az Alföldi borvidéken. In: DIÓFÁSI, L., Magyarország besorolhatósága az EU jelenlegi bortermelési régióiba. Az új bortermelő régió kialakításának szakmai feltételei. Hatástanulmány. 141. pp.
- [129] Katz, R. W. (1988): Statistical procedures for making inferences about climate variability. *Journal of Climate*, 1057-1064.
- [130] Keeling, C. D., Chin, J. F. S., Whorf, T. P. (1996): Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature* 382:146-149.
- [131] Kellett, B. M., Bristow, K. L. and Charlesworth, P. (2005): Indicator frameworks for assessing irrigation sustainability. Technical Report 05/01. 52 pp. <http://www.clw.csiro.au/publications/technical2005/tr01-05.pdf>
- [132] Khanduri, V. P., Sharma C. M., Singh, S. P. (2008): The effects of climate change on plant phenology. *Environmentalist* 28:143-147 DOI 10.1007/s10669-007-9153-1.
- [133] Kliewer, W. M. (1973): Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo and nycto-temperatures during maturation. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 2, 153–159.
- [134] Kliewer, W. M., Torres, R. E. (1972): Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *Am. J. Enol.Vitic.* 2, 71–77.
- [135] Koocheki, A., Nasiri, M., Kamali, G. A., Shahandeh, H. (2006): Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. *Arid Land Research and Management*. Volume 20, Issue 3, 1 September 2006, Pages 245-259.
- [136] Kozma, P. (1991): A szőlő és termesztése I. A szőlőtermesztés történeti, biológiai és ökológiai alapjai. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- [137] Kramer, K. (1994 a): A modelling analysis of the effects of climatic warming on the probability of spring frost damage to tree species in The Netherlands and Germany. *Plant, Cell and Environment* 17: 367±377.
- [138] Kramer, K. (1994 b) Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. *Journal of Applied Ecology* 31, 172–181.
- [139] Kramer, K. (1995): Phenotypic plasticity of the phenology of seven European tree species in relation to climatic warming. *Plant, Cell and Environment* 18: 93±104.

- [140] Kramer, K., Friend, A., Leinonen, I. (1996): Modelling comparison to evaluate the importance of phenology and spring frost damage for the effects of climate change on growth of mixed temperate-zone deciduous forests. *Climate Research* 7: 31±41.
- [141] Kramer, K., Mohren, G. M. J. (1996): Sensitivity of FORGRO to climatic change scenarios: a case study on *Betula pubescens*, *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* in the Netherlands. *Climatic Change* 34: 231±237.
- [142] Lacey, E., Pace, R. (1983): Effect of flowering and dispersal times on offspring fate in *Daucus carota* (Apiaceae). *Oecologia* 60:274-278.
- [143] Ladányi, M. (2006): Folyamatszempléti lehetőségek az agro-ökoszisztémák modellezésében. Doktori (Ph.D.) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem.
- [144] Ladányi, M., Hlaszny, E. (2010): Modellek vallanak a klímaváltozásról és hatásairól. *Agrofórum* 21 (7):98-101.
- [145] Landsberg J.J. (1974): Apple fruit bud development and growth; analysis and an empirical model. *Annals of Botany* 38, 1013–1023.
- [146] Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C., Darnell, R. L. (1987): Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22(3):371–377.
- [147] Larcher, W. (1995): *Physiological plant ecology*. Springer, Berlin.
- [148] Lavee, S., May, P. (1997): Dormancy of grapevine buds. *Aust J Grape Wine Res* 3:31-46.
- [149] Liennard, M. E. (2002): Contribution à l'étude de la prévision de la précocité de floraison et du déterminisme climatique des nécroses florales de l'Abricotier, *Prunus armeniaca* L., dans le contexte des changements climatiques. Institut National d'Horticulture, Angers.
- [150] Li, H., You, J., Huo, X. (2007): The effect of global warming on Chinese viticulture. 30th World Congress of Vine and Wine. 10-16 June, 2007, Budapest, Hungary.
- [151] Lieth, H. (1971): The phonological viewpoint in productivity studies. In: UNESCO, eds. *Productivity of forest ecosystems*. Paris, France: UNESCO, 71-83.
- [152] Lorenz, D.H. Eichhorn, K. W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., Weber, E. (1994): Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*). *Vitic. Enol. Sci.* 49: 66-70.
- [153] Matsumoto, K., Ohta, T., Nakamura, T. (2003): Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Glob Chang Biol* 7:657-666.
- [154] Mauget, J. C. (1977): Dormance des bourgeons végétatifs de Noyer (*Juglans regia* L.) cultivés sous différentes conditions climatiques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série D* 284: 2351±2354.

- [155] Mauget, J. C. (1983): Etude de la levée de dormance et du débourrement des bourgeons de noyer (*Juglans regia* L., cv. 'Franquette') soumis à des températures supérieures à 15°C au cours de leur période de repos apparent. *Agronomie* 3, 745–750.
- [156] McCarthy, J. P. (2001): Ecological consequences of recent climate change. *Conserv Biol* 15(2) 320-331.
- [157] Menzel, A., Fabian, P. (1999): Growing season extended in Europe. *Nature* 397:659.
- [158] Menzel, A. (2000): Trends in phenological phases in Europe between 1951-1996. *Int J Biometeorol* 44:76-81.
- [159] Menzel, A., Estrella, N. (2001): Plant phenological changes In Walther, G. R., Burga, C. A., Edwards, P. J. (eds) *Fingerprints of climatic change—Adapted behaviour and shifting species Ranges*. Kluwer Academic/Plenum, New York, pp 123-137.
- [160] Menzel, A. (2003): Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climatic Change* 57, 243–263.
- [161] Menzel, A., Sparks T. H., Estrella N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Breide, A., Chmielewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å, Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatzak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remisová, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., van Vliet, A. J. H., Wielgolaski, F. E., Zach, S., Züst, A. (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biol.* 12, 1969–1976.
- [162] Mika, J. (1988): A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében. *Időjárás* 92; 178-189. p.
- [163] Mika, J. (1991): A nagyobb globális felmelegedés várható magyarországi sajátosságai. *Időjárás* 95, 265-278. p.
- [164] Mitchell, J. F. B. (1989): The "greenhouse" effect and climate change. *Reviews of Geophysics* 27(1), 115-139.
- [165] Moncur, M. W., Rattigan, K., Mackenzie, D. H., McIntyre, G. N. (1989): Base temperatures for budbreak and leaf appearance of grapevines. *Am J Enol Vitic* 40(1):21–26.
- [166] Morin, X., Chuine, I. (2005): Sensitivity analysis of the tree distribution model PHENOFIT to climatic input characteristics: implications for climate impact assessment. *Global Change Biology* (2005) 11, 1493–1503, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00996.x
- [167] Murray, M. B., Cannell, M. G. R., Smith, R. I. (1989): Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. *Journal of Applied Ecology* 26: 693±700.
- [168] Murray, M. B., Smith, R. I., Leith, I. D., Fowler, D., Lee, H. S. J., Friend, A. D., Jarvis, P. G. (1994): Effects of elevated CO₂, nutrition and climatic warming on bud phenology in

- Sitka (*Picea sitchensis*) and their impact on the risk of frost damage. *Tree Physiology* 14:691±706.
- [169] Myking, T. és Heide, O. M. (1995): Dormancy release and chilling requirements of buds of latitudinal ecotypes of *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Tree Physiology* 15, 697–704.
- [170] Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar, G., Nemani, R. R. (1997): Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386:698-702.
- [171] NASA, Earth Observing System (1999): Volcanoes and Climate Effects of Aerosols. Lead authors: Hartmann, D. L., Mouginiis-Mark, P. <http://eospso.gsfc.nasa.gov>
- [172] Nelson, E., A., Lavender, D.,P. (1979): The chilling requirement of western hemlock seedlings. *Forest Science* 25, 485–490.
- [173] New, M., Hulme, M., Jones, P. D. (1999): Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate* 12, 829-856.
- [174] Németh, M. (1970): Ampelográfiai album. Termesztett borszőlőfajták 2. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. 276 p.
- [175] Nicholas, P. (Comp. & Ed.). (2004): Soil, irrigation and nutrition. In *Grape Production Series: No. 2*. Adelaide: South Australian Resource and Development Institute.
- [176] Nicholas, P., Magarey, P. Wachtel, M. (1994): Diseases and pests. *Grape Production Series, Winetitles*, Adelaide, 106.
- [177] Nienstaedt, H. (1966): Dormancy and dormancy release in white Spruce. *Forest Science* 12: 374±384.
- [178] Nigond, J. (1967): Recherches sur la dormance de la vigne. *Ann Amelior Veget* 9:I:107–152 II:197–232; III:273–338.
- [179] Nizinski, J. J., Saugier, B. (1988): A model of leaf budding and development for a mature *Quercus* forest. *Journal of Applied Ecology* 25, 643–652.
- [180] Oliveira, M. (1998): Calculation of budbreak and flowering base temperatures for *Vitis vinifera* cv. Touriga Francesa in the Douro Region of Portugal. *Am J Enol Vitic* 49(1):74–78. Proceedings of XIV International GESCO Viticulture Congress, Geisenheim, Germany, 23–27 August, 2005, pp 485–490.
- [181] Or, E., Nir, G., Viložny, I. (1999): Timing of hydrogen cyanamide application to grapevine buds. *Vitis* 38:1-6
- [182] Or, E. (2009): Grape bud dormancy release – the molecular aspect. Department of Fruit Tree Sciences, Institute of Horticulture, Agricultural Research Organization, The Volcani Center, Bet Dagan 50250, Israel.

- [183] Parmesan, C., Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37-42.
- [184] Passioura, J. D. (1973): Sense and nonsense in crop simulation. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 39. pp. 181-183.
- [185] Penuelas, J., Finella, I. (2001): Phenology: responses to a warming world. *Science* 294:793-794.
- [186] Penuelas, J. et al. (2004): Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes. *New Phytol.* 161, 837–846.
- [187] Pernes, Gy. (2004): New resistant table grape cultivars bred in Hungary Proceedings of the First International Symposium on Grapewine Growing, Commerce and Research, *Acta Horticulturae* (652): 321.
- [188] Perry, T.O. és Wang, L.W. (1960): Genetic variations in the winter chilling requirement for date of dormancy break for *Acer robur*. *Ecology* 41, 790–794.
- [189] Perry, T. O. (1971): Dormancy of trees in winter. *Science* 171: 29±36.
- [190] Peterson, M. A. (1997): Host plant phenology and butterfly dispersal: causes and consequences of uphill movement. *Ecology* 78:167-180.
- [191] Peynaud, E., Ribéreau-Gayon, J. (1971): The grape. In: *The biochemistry of fruits and their products*. Vol. II. Ed by Hulme AC, Academic Press, London and New York.
- [192] Pongrácz R., Bartholy J. (2007): Detected trends in extreme temperature and precipitation indices in the Central/Eastern European region. 87th AMS Annual Meeting (AMS Forum: Climate Variations and Change Manifested by Changes in Weather). San Antonio, TX, 14-18 January 2007.
- [193] 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. PhD Thesis Bordeaux University & *Ann Amelior Plantes* 13 Special Issue.
- [194] Pouget, R. (1968): Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis* 7:201–205.
- [195] Pouget, R. (1988): Le débourrement des bourgeons de la vigne: méthode de prévision et principes d'établissement d'une échelle de précocité de débourrement. *Conn Vigne-Vin* 22(2):105–123.
- [196] Prentice, I. C., Sykes, M. T., Cramer, W. (1991): The possible dynamic response of northern forests to global warming. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1: 129±135.
- [197] Price, M. V., Waser, N. M. (1998): Effects of experimental warming on plant reproductive phenology in a subalpine meadow. *Ecology* 79:1261-1271.

- [198] Randerson, J.T., Field, c. B., Fung, I. Y, Tans, P. P. (1999): Increases in early season ecosystem uptake explain recent changes in the seasonal cycle of atmospheric CO₂ at high northern latitudes. *Geophys. Res. Lett.* 26, 2765–2768.
- [199] Réaumur, R. A. F. (1735): Observations du thermomètre, faites à Paris pendant l'année 1735, comparées 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. *Académie des Sciences de Paris* 545.
- [200] Ribereau-Gayon, P., Guimberteau, G. (1996 a): *Vintage Reports: 1988–1996*, University of Bordeaux, Bordeaux, France.
- [201] Ribéreau-Gayon, J., Peynaud, E., Ribéreau-Gayon, P. and Sudraud, P. (1975) : *Traité d'oenologie Sciences et techniques du vin. Vol. 2.* Ed. Dunod, Paris (1975).
- [202] Ribéreau-Gayon, J., Peynaud, E., Ribéreau-Gayon, P. and Sudraud, P. (1976) *Traité d'oenologie Sciences et techniques du vin. Vol. 3.* Ed. Dunod, Paris (1976).
- [203] Richard, P. (1985): Contribution aéropalynologique à l'étude de l'action des facteurs climatiques sur la floraison de l'Orme (*Ulmus campestris*) et de l' If (*Taxus baccata*). *Pollen and Spores* 27, 53–94.
- [204] Richardson, E. A., Seeley, S. D., Walker, D. R. (1974): A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. *HortScience* 9(4):331–332
- [205] Richardson, E. A., Seeley, S. D., Walker, R. D., Anderson, J., Ashcroft, G. (1975): Phenoclimatology of spring peach bud development. *HortScience* 10:236–237
- [206] Riou, C. (1994): The effect of climate on grape ripening: application to the zoning of sugar content in the European community. CECACEE- CECA, Luxembourg.
- [207] Rodriguez-Trellis, F., Rodriguez, M. A. (1998): Rapid micro-evolution and loss of chromosomal diversity in *Drosophila* in response to climate warming. *Evol Ecol* 12:829-838.
- [208] Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornblueh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U. Schulzweida, U., Tompkins, A. (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. Max Planck Institute for Meteorology Rep. 349, 127 pp.
- [209] Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D. J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T. L., Seguin, B., Tryjanowski, P. (2007): Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Pages 79–131 in Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E., eds. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

- [210] Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., Pounds, J. A. (2003): Fingerprints of global warming on the wild animals and plants. *Nature* 421:57-60.
- [211] Sabatelli, M. P., Stendardi, M. L. (1981): Influence of some meteorologic factors during the first months of the vegetative cycle on the sugar content in the berries of some grape cvs. *Riv. Viticolt. Enol. (Conegliano)*, 34 271-276.
- [212] Salinari, F., Giosuè, S., N, Tubiello, F., Rettori, A., Rossi, V., Spanna, F., Rosenzweig, C., Gullino, M. L. (2006): Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biology* 12 (7), 1299–1307.
- [213] Salinger, M. J., Sivakumar, M. V. K., Motha, R. (2005): Reducing vulnerability of agriculture and forestry to climate variability and change: Workshop summary and recommendations, *Climatic Change* Volume 70, Issue 1-2, May 2005, Pages 341-362.
- [214] Salma, I. (2006): A légköri aeroszol szerepe a globális éghajlatváltozásban. *Magyar tudomány. MTA folyóirata*. Budapest. 167 (2) 205-211.
- [215] Saloni, P. (2002): A new climate index for grape growing in short season areas, *Minnesota Grape Growers Association Annual Report*, 2002.
- [216] Sarvas R. (1974): Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Autumn dormancy and winter dormancy. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 84, 101.
- [217] Saure, M. (1985): Dormancy release in deciduous fruit trees. *Hort Rev* 7:239-300.
- [218] Schemske, D. W. (1977): Flowering phenology and seed set in *Claytonia virginica* (Portulacaceae). *Bull Torrey Bot Club* 104: 354-363.
- [219] Schmitt, J. (1983): Density dependent pollinator foraging flowering phenology and temporal pollen dispersal patterns in *Linanthus bicolor*. *Evolution* 37:1247-1257.
- [220] Schnelle, F., Volkert, E. (1974): International phenological observations. In *Phenology and Seasonality Modelling* (ed. H. Lieth), pp. 383–387. Springer Verlag, New York.
- [221] Schwartz, M. D. (2003): Phenoclimatic measures. In *Phenology: An Integrative Environmental Science* (Schwartz, M.D., ed.), pp. 331– 343, Kluwer.
- [222] Schwartz, P., Randall, D. (2003): An abrupt climate change scenario and its implications for United States National Security. <http://www.grist.org/pdf/AbruptClimateChange2003.pdf>
- [223] Sefc, K., Steinkeller, H., Wagner, H. W., Gloessl, Regner, F. (1997): Application of microsatellit markers to parentage studies in grapevine. *Vitis* 36 (4), 179-183.
- [224] Sellers, W. D. (1965): *Physical climatology*. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- [225] SEG, 2007, *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*, http://www.unfoundation.org/files/pdf/2007/SEG_Report.pdf

- [226] Sherry, R. A. et al. (2007): Divergence of reproductive phenology under climate warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 198–202.
- [227] Singleton, V. L., Esau, P. (1969): Phenolic substances in grapes and wine, and their significance. *Adv. Food Res. Supp.* 1, 112–133.
- [228] Smart, R. E., Dry, P. R. (1980): A climatic classification for Australian viticultural regions. *The Australian Grapegrower and Winemaker* 196: 8, 10 & 16.
- [229] Sparks, T. H., Carey, P. D. (1995): The responses of species to climate over two centuries: an analysis of the Marsham phenological record, 1736-1947. *J. Ecol.* 83, 321–329.
- [230] Sparks, T. H., Tryjanowski, P. (2005): The detection of climate impacts: some methodological considerations. *Int. J. Climatol.* 25, 271–277.
- [231] Sparks, T. H., Menzel, A., Stenseth, N. C. (2009): European cooperation in plant phenology: Introduction. *Climate Research* 39: 175–177.
- [232] Stafne, E. T., Ker, K. (2009): Grapevine Phenology and Data Collection. Oklahoma State University.
<http://www.grapes.okstate.edu/PDFs/2009/GrapevinePhenologyandDataCollection2009.pdf>
- [233] Suthurst, R. W., Russell, B., Maywald, G. F. (2000): Predicting the effects of climate change on pests of grapes using the CLIMEX model. In: *Proceedings of 5th International Symposium on Cool Climate Viticulture and Oenology*, January, 2000, Melbourne, Australia.
- [234] Szász, G., Tőkei, L. (1997): *Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek.* Mezőgazda Kiadó, Budapest. 209-219.
- [235] 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 (review). *Kertgazdaság*, 2009/4.
- [236] Tomana, T., Utsunomiya, N., Dataoka, I. (1979): The effect of environmental temperatures on fruit on ripening on the tree. II. The effect of temperatures around whole vines and clusters on the coloration of ‘Kyoho’ grapes. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 48, 261–266.
- [237] Tonietto, J., Carbonneau, A. (2004): A multicriteria climatic classification system for grape growing regions worldwide. *Agricultural and Meteorology*, 124: 81-97.
- [238] Torma, Cs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Barcza, Z., Coppola, E., Giorgi, F. (2008): Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. – *Időjárás*, 112(3-4.): 233-247.
- [239] Torma, Cs., E. Coppola, F. Giorgi, J. Bartholy, R. Pongrácz, (2011): Validation of a high resolution version of the regional climate model RegCM3 over the Carpathian Basin. *Journal of Hydrometeorology*. 12. (No 1.), pp 84-100.

- [240] Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Guldberg, O. H., Bairlein, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- [241] Walther, G. R., Burga, C. A., Edwards, P. J. (eds). (2001): „Fingerprints” of climatic change—Adapted behaviour and shifting species Ranges. Kluwer Academic/Plenum, New York, pp 123-137.
- [242] Webb, L. B., Whetton, P. H., Barlow, E. W. R. (2005): Impact on Australian Viticulture from Greenhouse Induced Temperature Change. International congress on modeling and decision making, 2005, Modelling and Stimulation Society of Australia and New Zealand, 2005: 1504 ~ 1510.
- [243] Weise, T. (2009): Global Optimization Algorithms – Theory and Application – <http://www.it-weise.de/projects/book.pdf>.
- [244] Winkler, A. J., Cook, J. A., Klier, W. M., Lider, L. A. (1974): General Viticulture (2nd ed.). University of California Press. ISBN 0-520-02591-1.
- [245] Wit, de C. T., van Keulen, H. (1972): Simulation of transport processes in Soils. Pudoc, Wageningen. 100 p.
- [246] Wit, de C. T., Goudriaan, Y. (1974): Simulation of Ecological Processes. Pudoc, Wageningen, 175 p.
- [247] Wit, de C. T. (1982): Simulation of living systems. In: Simulation of plant growth and crop production. ed. by F. W. T. Penning de Vries and H. H. Van Laar. pp. 3-8. Centre for Agric. Pub. and Doc. (PUDOC) Wageningen.
- [248] Wolf, J., Semenov, M. A., Eckersten, H., Evans, L. G., Iglesias, A., Porter, J. R. (1995): Effects on winter wheat: A comparison of five models. In: Harrison P., Butterfield R. E., Downing T. E. (eds): Climate Change and Agriculture in Europe. Assessment of impacts and adaptation. Environmental Change Unit, University of Oxford. pp. 231-279.
- [249] Wolf, T. K., Boyer, J. D. (2003): "Vineyard Site Selection," Virginia Cooperative Extension Publication Number 463-020. <http://www.ext.vt.edu/pubs/viticulture/463-020/463-020.html>
- [250] Wood, R. A., Vellinga, M., Thorpe, R. (2003): Global Warming and THC stability. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 361, 1961–1976.
- [251] Wookey, P. A., Parsons, A. N., Welker, J. M., Potter, J. A., Callaghan, T. V., Lee, J. A., Press, M. C. (1993): Comparative responses in phenology and reproductive development to simulated environmental change in sub-arctic and high arctic plants. *Oikos* 67:490-502.

- [252] World Meteorological Organization (2009): Strategic Plan for the Implementation of WMO's World Weather Research Programme (WWRP): 2009-2017.
http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/final_wwrp_sp_6_oct.pdf
- [253] Wuethrich, B. (2000): How climate change alters rhythms of the wild? *Science* 287:793-795.
- [254] Zanathy, G. (2008): Gondolatok a klímaváltozás szőlőtermesztésre gyakorolt hatásáról. *Agro Napló* 2008/2.
- [255] Zhou, L., Tucker, C. J., Kaufmann, R. K., Slayback, D., Shabanov, N. V., Myneni, R. B. (2001): Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *J. Geophys. Res. Atmos.* 106, 20069–20083.
- [256] Zorer, R. (2008): Impacts of Climate Variability and Change on Wine Grape Quality. *Klímaváltozás hatása a szőlő- és bortermelésre Konferencia*. 2008. november 24-25. Budapest.
- [257] Zsolnai B. 2006. Egy új szőlőkártevő jelent meg Magyarországon. www.agraroldal.hu/uj-szolo-kartevo-jelent-meg-magyarorszagon-elorejelzes.html

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

A1	Globális gazdasági scenárió
A1B	kiegyensúlyozott szcenárió
A1FI	fosszilis intenzív szcenárió
A1T	nem fosszilis energiaforrások használatú szcenárió
A2	gazdasági regionális szcenárió
ACIA	Arctic Climate Impact Assessment
ANOVA	Analysis of Variance
AR	Annual Rainfall
AR4	Fourth Assessment Report
B1	Globális környezeti szcenárió
B2	Regionális környezeti szcenárió
BBCH	Lorenz féle szőlő fenológiai skála
BEDD	Biologically Effective Day Degrees
BPR	Bloom Period Precipitation
Ch	Chardonnay fajta
CH	mélynyugalmi hatás (chilling effect)
Ch_75	Chardonnay 75 klón
Ch_96	Chardonnay 96 klón
CNI	Cool Night Index
CO	Continentality
DR	Diurnal Range
D _{start}	kezdőnap
$D_{ij, mod}^{rf}$	a modell által becsült rügyfakadási időpont (nap)
$D_{ij, mf}^{rf}$	megfigyelt rügyfakadási időpont (nap)
EHM	Egyszerű Hőösszeg Modell
EL00	Eichorn-Lorenz féle szőlő fenológiai skála
ENSZ	Egyesült Nemzetek Szervezete
ET	Sum of Daily Temperature Excursion
F	kényszernyugalmi hatás (forcing effect)
FAR	First Assessment Report
GDD	Growing Degree Days
GDD _{krit}	fajtánkénti kritikus hőösszeg (°C)
GDH	Growing Degree Hours
GSATG	Growing Season Average Temperature
GSATN	Growing Season Average Minimum Temperature
GSATX	Growing Season Average Maximum Temperature
GSR	Growing Season Rainfall
GSRD	Number of Growing Season Rain Days
HHM	Hideghatás Modell
HI	Huglin Index
HI_K9	Hárslevelű K9 klón
HI_P41	Hárslevelű P41 klón
HMX	Harvest Maximum Temperature
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MADR	Mean April Daily Range
MHDR	Mean Harvest Daily Range
MJaT	Mean January Temperature
MJuT	Mean July Temperature
NEHD	Number of Extremely Hot Days

NFD	Number of Frost Days
NFFD	Number of Fall Frost Days
NHD	Number of Hot Days
NID	Number of Icy Days
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPP	Net Primary Product
NSD	Number of Summer Days
NSFD	Number of Spring Frost Days
OMSz	Országos Meteorológiai Szervezet
Pb_54	Pinot blanc 54 klón
Pb_55	Pinot blanc 55 klón
Pb_D55	Pinot blanc D55 klón
RAT	Ripening Average Temperature
RegCM	Regionális klímamodell
RGP	Ribéreau-Gayon-Peynaud Index
RMSE	Root Mean Square Error
RPR	Ripening Period Precipitation
Rr_239	Rajnai rizling 239 klón
Rr_378	Rajnai rizling 378 klón
Rr_391	Rajnai rizling 391 klón
Rr_49	Rajnai rizling 49 klón
SAR	Second Assessment Report
SFI _{Glad}	Spring Frost Index by Gladstones
SFI _{WB}	Spring Frost Index by Wolf-Boyer
SR	Summer Rainfall
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
Szb	Szürkebarát fajta
Szb_34	Szürkebarát 34 klón
Szb_52	Szürkebarát 52 klón
TAR	Third Assessment Report
T _{bázis}	bázis hőmérséklet
T _{k_átl}	napi középhőmérséklet (°C)
WCRP	World Climate Research Programme
WI	Winkler Index
WMN	Winter Minimum Temperature
WMO	World Meteorological Organization
WR	Winter Rainfall

MELLÉKLETEK

1. Melléklet: A Huglin- és Winkler-indexek, a biológiailag hatásos hőösszegek (BEDD), a júliusi és januári átlaghőmérsékletek (MJuT, MJaT), valamint a tenyészidőszakok átlaghőmérséklete (GSAT), átlagos maximum és minimum hőmérséklete (GSATX, GSATN) [°C] 1977 és 2003 között

Év	Huglin	Winkler	BEDD	MJuT	MJaT	GSAT	GSATX	GSATN
1977	1918	1490	1208	21	0	17	22	10
1978	1691	1270	1124	20	0	16	20	10
1979	2035	1567	1265	20	-3	17	22	10
1980	1707	1304	1137	20	-4	16	20	10
1981	2045	1595	1298	21	-3	17	22	11
1982	2158	1736	1373	22	-4	18	22	11
1983	2297	1799	1373	24	3	18	23	11
1984	1936	1518	1288	21	0	17	22	10
1985	2053	1589	1281	23	-6	17	22	10
1986	2344	1777	1399	22	0	18	24	11
1987	2111	1614	1307	24	-5	17	23	11
1988	2259	1651	1288	24	2	17	24	10
1989	2175	1596	1320	23	-1	17	23	11
1990	2196	1607	1282	22	0	17	24	9
1991	2124	1550	1246	24	0	17	23	10
1992	2535	1906	1389	24	0	19	24	10
1994	2545	2026	1377	26	3	19	24	11
1995	2258	1847	1392	26	0	18	24	10
1996	2085	1691	1368	21	-2	18	22	10
1997	2200	1750	1315	22	-3	17	22	9
1998	2279	1831	1352	24	4	19	23	11
1999	2337	1895	1458	24	0	19	23	11
2000	2558	2157	1594	22	-1	20	25	12
2001	2232	1883	1452	23	1	19	23	11
2002	2439	1957	1404	25	1	19	24	12
2003	2512	1833	1373	22	-3	18	24	11

2. Melléklet: A szüretidő maximum hőmérséklete (HMX), a téli minimum hőmérséklet (WMN), az érésidő átlagos hőmérséklete (RAT), hideg éjszaka-index (CNI) és a kontinentális (CO) hatás értékei [°C] 1977 és 2003 között

Év	HMX	WMN	RAT	CNI	CO
1977	24	-20	16	8	21
1978	23	-17	15	10	20
1979	25	-16	16	10	23
1980	24	-17	16	9	24
1981	25	-18	17	12	24
1982	26	-21	18	13	27
1983	26	-15	17	11	21
1984	25	-13	17	11	21
1985	25	-22	18	10	29
1986	26	-18	17	9	21
1987	26	-27	18	12	29
1988	27	-11	17	11	22
1989	26	-12	16	11	24
1990	26	-14	17	9	22
1991	27	-18	17	10	24
1992	29	-13	18	8	24
1994	29	-15	19	13	23
1995	27	-13	18	10	27
1996	24	-19	16	8	23
1997	27	-20	19	8	25
1998	27	-15	17	10	20
1999	27	-18	19	13	24
2000	27	-14	20	10	24
2001	25	-13	19	10	22
2002	27	-18	18	10	25
2003	28	-22	17	10	25

3. Melléklet: Az extrém meleg napok száma (NEHD), a meleg napok száma (NHD), a nyári napok száma (NSD), a fagyos napok száma (NFD), a jeges napok száma (NID), a szőlő fagyindex (F8D), a szőlő súlyos fagyindex(FS15D), valamint a tavaszi (NSFD) és őszi (NFFD) fagyos napok száma 1977 és 2003 között

Ev	NEHD	NHD	NSD	NFD	NID	F15D	F8D	NSFD	NFFD
1977	0	10	82	41	4	1	7	8	11
1978	0	2	46	56	8	1	7	12	16
1979	0	18	78	57	9	2	12	8	14
1980	0	7	43	70	8	2	14	17	14
1981	1	17	64	53	10	1	20	7	13
1982	0	18	87	64	11	6	21	14	8
1983	0	27	88	49	1	0	3	9	25
1984	2	14	59	64	0	0	4	20	8
1985	1	20	75	71	34	18	37	13	13
1986	0	31	96	74	11	4	15	16	20
1987	2	22	77	68	18	9	33	19	10
1988	9	34	95	55	1	0	1	19	33
1989	1	26	78	46	4	0	4	2	18
1990	7	35	89	55	4	0	4	8	14
1991	4	29	89	63	18	6	19	9	15
1992	15	53	106	67	3	0	4	19	9
1994	14	61	107	50	4	0	8	14	15
1995	7	42	95	56	4	0	6	15	23
1996	0	20	68	82	12	2	20	26	12
1997	1	36	94	96	7	0	18	29	25
1998	14	46	77	61	7	1	11	25	18
1999	3	22	100	72	4	0	6	15	19
2000	10	46	111	66	2	0	4	13	8
2001	4	31	85	47	1	0	6	8	22
2002	5	35	103	48	2	1	6	15	3
2003	4	56	120	89	26	10	31	25	14

4. Melléklet: A Gladstones (SFIGlad) és a Wolf-Boyer féle (SFIWB) tavaszi fagyindex, a júliusi hőmérsékleti terjedelem (DR), az áprilisi átlagos napi hőingás (MADR), és a szüreti átlagos napi hőingás (MHDR), az érésidő napi hőingás összege (ET) és a Riberau-Gayon-Peynaud index (RGP) értékei [°C] 1977 és 2003 között

Év	SFI_Glad	SFI_WB	DR	MADR	MHDR	ET	RGP
1977	11	5	21	10	11	1800	1912
1978	10	5	21	11	11	1706	1443
1979	9	5	21	11	13	1796	1907
1980	9	4	22	9	11	1618	1426
1981	12	6	22	12	11	1712	1903
1982	10	5	24	10	11	1719	2076
1983	13	5	22	11	12	1843	2190
1984	13	6	26	11	11	1773	1820
1985	11	5	25	11	13	1857	1900
1986	15	7	23	13	15	2058	2308
1987	10	6	26	11	13	1837	1918
1988	12	6	30	12	12	2082	2141
1989	13	7	25	13	12	1954	1996
1990	11	5	31	11	14	2233	2093
1991	12	6	24	13	13	1967	1864
1992	14	7	26	13	16	2167	2272
1994	13	6	23	12	13	2103	2390
1995	17	6	27	12	13	2183	2034
1996	13	6	28	13	11	1815	1847
1997	14	5	23	11	15	2166	2088
1998	13	6	29	11	10	1937	1979
1999	13	6	25	12	12	1877	2054
2000	17	7	26	13	13	2060	2604
2001	12	6	25	12	12	1750	2078
2002	19	6	29	12	12	1841	2294
2003	15	7	25	13	13	2038	2293

5. Melléklet: Csapadékindexek [mm]: éves (AR), nyári (SR), téli (WR) csapadékmennyiségek, a tenyészedőszak (GSR), a virágzás (BPR), az érési időszak (RPR) csapadékmennyisége, valamint a tenyészedőszak csapadékos napjainak száma (GSRD [nap]).

Év	AR	SR	WR	GSR	BPR	RPR	GSRD
1977	367	71	237	169	2	49	50
1978	472	182	113	388	63	51	67
1979	457	110	148	250	66	32	54
1980	609	126	180	408	62	125	76
1981	454	117	167	307	59	84	65
1982	360	131	184	229	42	39	56
1983	348	67	126	240	45	96	52
1984	421	44	95	289	66	88	68
1985	521	92	157	311	106	64	62
1986	335	69	240	182	59	24	49
1987	551	96	144	364	90	42	63
1988	461	83	213	268	62	94	56
1989	483	86	126	357	66	109	77
1990	413	80	101	276	24	67	56
1991	515	117	156	403	74	62	71
1992	469	169	77	344	156	49	53
1994	378	57	158	269	29	77	58
1995	698	141	153	465	159	184	55
1996	550	117	201	400	28	142	70
1997	393	138	119	256	91	47	54
1998	605	111	155	455	53	143	77
1999	732	186	183	440	66	64	68
2000	360	47	269	209	12	50	36
2001	576	186	199	390	35	125	51
2002	383	86	101	273	39	82	63
2003	412	101	148	291	26	75	49

6. Melléklet: Becsült Huglin- és Winkler-indexek, biológiailag hatásos hőösszegek, júliusi és januári átlaghőmérsékletek, valamint a tenyésztidőszakok átlaghőmérséklete, átlagos maximum és minimum hőmérséklete [°C] 1961 és 1990 között

Ev	Huglin	Winkler	BEDD	MJuT	MJaT	GSAT	GSATX	GSATN
1961	1868	1292	1111	23	0	15	21	10
1962	1821	1256	1098	21	-1	15	21	10
1963	1836	1269	1064	22	2	15	20	10
1964	1948	1400	1226	20	5	16	22	12
1965	2284	1608	1238	24	1	17	23	11
1966	1762	1203	987	20	3	15	21	10
1967	1793	1322	1190	20	1	16	21	11
1968	2030	1399	1068	23	3	16	22	10
1969	1765	1224	1097	20	2	15	21	11
1970	1575	1021	931	18	0	14	20	10
1971	1461	1000	957	18	-6	14	19	10
1972	1656	1122	978	19	-4	15	20	10
1973	1753	1215	1064	19	4	15	21	11
1974	1903	1272	1123	20	0	16	22	11
1975	1795	1267	1102	20	1	16	21	11
1976	2162	1563	1270	23	4	17	23	12
1977	1627	1110	965	20	2	14	19	10
1978	1683	1182	1002	19	2	15	21	11
1979	1881	1293	1141	20	1	15	21	11
1980	1998	1354	1137	20	3	16	22	10
1981	1748	1177	1068	20	2	15	20	10
1982	1574	1099	955	20	1	14	19	10
1983	1896	1332	1150	21	5	16	21	11
1984	1798	1215	1031	20	3	15	21	10
1985	1764	1167	989	18	0	15	21	10
1986	1951	1455	1181	23	4	16	22	12
1987	1740	1190	1033	18	1	15	21	10
1988	1584	1052	900	20	2	14	20	9
1989	1904	1282	1032	21	2	16	21	10
1990	1892	1307	1084	21	2	15	21	10

7. Melléklet: A szüreti időszak maximum hőmérséklete (HMX), a téli minimum hőmérséklet (WMN), az érésidő átlagos hőmérséklete (RAT), hideg éjszaka-index (CNI) és a kontinentális (CO) hatás értékei [°C] 1961 és 1990 között

Ev	HMX	WMN	RAT	CNI	CO
1961	24	-9	15	11	22
1962	25	-18	15	10	22
1963	25	-14	15	12	20
1964	24	-7	15	12	16
1965	27	-11	15	12	23
1966	24	-10	13	8	17
1967	24	-12	16	11	19
1968	27	-13	16	12	19
1969	23	-10	15	12	18
1970	22	-13	13	11	18
1971	22	-19	14	9	24
1972	23	-19	14	11	23
1973	24	-4	15	12	16
1974	25	-10	16	11	20
1975	24	-9	16	9	19
1976	26	-13	16	10	19
1977	24	-10	14	11	17
1978	24	-9	13	9	17
1979	24	-10	15	11	20
1980	26	-13	16	10	16
1981	23	-12	13	9	18
1982	23	-10	14	10	19
1983	25	-4	15	11	17
1984	24	-15	16	12	17
1985	23	-12	12	7	19
1986	26	-9	17	12	19
1987	24	-14	16	12	18
1988	23	-11	13	10	18
1989	25	-14	13	9	20
1990	26	-10	16	11	19

8. Melléklet: Az extrém meleg napok száma (NEHD), a meleg napok száma (NHD), a nyári napok száma (NSD), a fagyos napok száma (NFD), a jeges napok száma (NID), valamint a tavaszi (NSFD) és őszi (NFFD) fagyos napok száma 1961 és 1990 között

Ev	NEHD	NHD	NSD	NFD	NID	F15D	F8D	NSFD	NFFD
1961	1	20	62	41	0	0	1	7	8
1962	3	19	63	41	10	1	10	9	9
1963	1	19	66	53	0	0	0	19	7
1964	0	18	55	35	0	0	0	4	0
1965	16	44	89	50	2	0	3	18	12
1966	3	26	65	45	1	0	5	7	7
1967	0	17	53	47	4	0	8	10	13
1968	11	39	80	41	2	0	2	9	7
1969	1	9	55	31	0	0	2	8	15
1970	0	14	39	51	4	0	6	11	19
1971	0	2	25	74	19	5	21	23	7
1972	2	16	52	63	18	6	22	16	8
1973	0	17	58	33	0	0	0	14	0
1974	0	20	66	37	0	0	0	6	7
1975	2	19	54	35	0	0	0	9	3
1976	10	33	84	38	2	0	2	9	4
1977	0	18	44	70	0	0	1	25	3
1978	4	22	44	42	0	0	0	7	5
1979	2	13	59	48	0	0	2	11	9
1980	1	29	66	41	0	0	1	7	26
1981	2	8	58	57	5	0	9	15	2
1982	0	12	51	64	0	0	3	21	9
1983	1	20	59	24	0	0	0	8	13
1984	0	22	66	37	3	0	3	13	8
1985	8	20	50	61	2	0	5	16	5
1986	6	33	74	46	0	0	1	16	9
1987	1	17	56	55	5	0	6	10	10
1988	3	17	51	61	3	0	7	32	22
1989	7	31	67	46	3	0	7	4	5
1990	2	30	66	50	0	0	5	17	3

9. Melléklet: A Gladstones (SFIGlad) és a Wolf-Boyer féle (SFIWB) tavaszi fagyindex, a júliusi hőmérsékleti terjedelem (DR), az áprilisi átlagos napi hőingás (MADR), és a szüreti átlagos napi hőingás (MHDR), érésidei napi hőingás összege (ET) és a Riberau-Gayon-Peynaud index (RGP) értékei [°C] 1961 és 1990 között

Ev	SFI_Glad	SFI_WB	DR	MADR	MHDR	ET	RGP
1961	12	4	26	9	9	1525	1590
1962	10	5	25	10	10	1588	1620
1963	11	4	23	8	10	1590	1486
1964	12	5	22	9	9	1434	1610
1965	14	6	30	11	10	1771	2114
1966	11	4	24	7	10	1623	1456
1967	13	5	22	10	10	1536	1598
1968	10	4	27	9	12	1867	1883
1969	11	4	24	9	10	1506	1481
1970	11	5	24	9	9	1537	1220
1971	10	4	22	7	9	1420	1046
1972	9	4	29	8	9	1497	1447
1973	11	4	25	9	9	1555	1368
1974	13	5	24	10	12	1680	1670
1975	12	5	25	10	10	1619	1627
1976	13	5	27	10	11	1732	2037
1977	10	4	24	9	9	1513	1303
1978	9	4	26	9	9	1572	1313
1979	11	5	28	9	10	1530	1593
1980	11	5	23	10	12	1773	1791
1981	14	5	26	10	9	1465	1388
1982	10	4	24	8	8	1411	1216
1983	9	4	24	9	10	1575	1584
1984	11	6	24	11	10	1599	1444
1985	13	5	27	11	10	1636	1541
1986	14	4	27	9	11	1649	1827
1987	10	5	24	10	10	1635	1553
1988	11	4	28	9	9	1652	1305
1989	13	5	26	10	10	1710	1666
1990	10	4	27	8	12	1854	1680

10. Melléklet: Csapadékindexek [mm]: éves (AR), nyári (SR), téli (WR) csapadékmennyiségek, a tenyészidőszak (GSR), a virágzás (BPR), az érési időszak (RPR) csapadékmennyisége, valamint a tenyészidőszak csapadékos napjainak száma (GSRD) 1961 és 1990 között

Ev	AR	SR	WR	GSR	BPR	RPR	GSRD
1961	565	91	92	314	82	88	89
1962	609	116	308	289	38	76	103
1963	720	124	342	393	30	151	92
1964	649	150	317	413	58	131	107
1965	498	61	158	220	34	117	64
1966	628	111	341	381	46	125	101
1967	763	153	302	387	88	118	96
1968	425	29	355	177	16	26	75
1969	683	80	271	367	29	54	87
1970	773	94	245	414	55	130	101
1971	734	118	331	496	51	117	119
1972	543	82	214	252	39	70	98
1973	668	150	262	497	69	121	109
1974	577	82	271	293	64	77	77
1975	568	135	255	308	54	95	87
1976	523	79	229	253	52	53	76
1977	648	80	253	383	34	112	98
1978	782	115	272	510	49	101	94
1979	605	104	290	327	18	54	90
1980	554	40	294	243	64	56	80
1981	797	133	368	404	59	90	97
1982	750	129	395	442	37	134	107
1983	626	75	241	403	46	119	103
1984	724	130	263	413	100	172	87
1985	527	83	255	279	30	76	87
1986	539	34	289	288	18	65	96
1987	594	166	247	305	16	57	87
1988	670	52	329	348	80	115	96
1989	515	33	283	287	40	102	76
1990	587	41	190	300	50	26	85

11. Melléklet: Becsült Huglin- és Winkler-indexek, biológiailag határos hőösszegek, júliusi és januári átlaghőmérsékletek, valamint a tenyésztőidőszakok átlaghőmérséklete, átlagos maximum és minimum hőmérséklete [°C] 2021 és 2050 között

Ev	Huglin	Winkler	BEDD	MJuT	MJaT	GSAT	GSATX	GSATN
2021	1616	1085	950	19	0	15	20	10
2022	2268	1656	1267	23	3	17	24	12
2023	1722	1186	1118	18	3	15	20	11
2024	1804	1220	1060	21	1	15	21	10
2025	2047	1517	1276	20	2	17	23	12
2026	1725	1168	1035	17	2	15	20	10
2027	1757	1189	1041	21	3	15	21	10
2028	1901	1353	1215	19	4	16	22	11
2029	1743	1289	1229	19	3	16	21	12
2030	2150	1636	1323	21	2	17	24	12
2031	2192	1582	1302	21	3	17	23	12
2032	2007	1454	1199	22	2	16	23	11
2033	2030	1530	1283	22	5	17	23	12
2034	2198	1569	1235	25	1	17	23	12
2035	2159	1578	1295	20	1	17	23	12
2036	2135	1496	1229	22	0	16	22	11
2037	2235	1617	1331	21	0	17	23	12
2038	1663	1141	1058	20	3	15	20	11
2039	1979	1383	1164	20	3	16	22	12
2040	1885	1341	1165	21	4	16	22	12
2041	2289	1632	1280	23	3	17	24	12
2042	2266	1592	1240	23	3	17	23	11
2043	2102	1501	1228	20	4	17	23	12
2044	2142	1518	1190	23	-1	17	23	12
2045	1899	1329	1114	22	6	16	22	11
2046	2175	1622	1325	21	7	17	23	13
2047	1950	1411	1194	22	4	16	22	12
2048	2357	1749	1342	25	6	18	24	13
2049	2062	1453	1210	22	4	17	23	11
2050	1900	1387	1177	22	2	16	22	12

12. Melléklet: A szüreti időszak maximum hőmérséklete (HMX), a téli minimum hőmérséklet (WMN), az érésidő átlaghőmérséklete (RAT), hideg éjszaka-index (CNI) és a kontinentális (CO) hatás értékei [°C] 2021 és 2050 között

Ev	HMX	WMN	RAT	CNI	CO
2021	23	-16	14	9	19
2022	27	-10	15	11	20
2023	23	-11	14	12	15
2024	24	-10	15	11	20
2025	25	-8	16	10	18
2026	22	-4	13	8	15
2027	24	-10	15	10	19
2028	24	-3	15	10	15
2029	22	-5	16	12	17
2030	27	-10	18	14	19
2031	26	-5	18	13	18
2032	26	-8	16	11	19
2033	26	-5	17	11	17
2034	27	-11	16	11	24
2035	25	-7	16	12	19
2036	26	-11	16	12	22
2037	26	-11	18	13	21
2038	23	-9	14	10	17
2039	25	-4	16	13	17
2040	24	-6	16	11	18
2041	26	-7	15	10	20
2042	28	-11	16	11	20
2043	26	-10	15	10	16
2044	27	-8	15	10	24
2045	24	-9	14	9	15
2046	25	-3	15	10	14
2047	24	-10	15	10	18
2048	28	-5	17	12	19
2049	26	-7	16	12	18
2050	25	-11	16	11	19

13. Melléklet: Az extrém meleg napok száma (NEHD), a meleg napok száma (NHD), a nyári napok száma (NSD), a fagyos napok száma (NFD), a jeges napok száma (NID), valamint a tavaszi (NSFD) és őszi (NFFD) fagyos napok száma 2021 és 2050 között

Ev	NEHD	NHD	NSD	NFD	NID	F15D	F8D	NSFD	NFFD
2021	0	15	48	69	8	1	14	25	0
2022	14	45	88	49	0	0	0	17	12
2023	0	2	54	41	1	0	3	3	8
2024	0	20	62	41	0	0	7	13	3
2025	2	31	70	47	0	0	1	17	10
2026	0	16	50	41	0	0	0	3	13
2027	1	17	55	35	0	0	0	5	0
2028	1	13	64	32	0	0	0	4	3
2029	0	4	36	33	1	0	1	11	11
2030	10	41	89	41	0	0	2	21	2
2031	4	32	89	40	0	0	0	8	2
2032	5	26	79	30	0	0	0	7	7
2033	9	25	70	28	0	0	0	7	2
2034	11	39	89	41	0	0	0	3	7
2035	7	27	77	30	0	0	0	0	14
2036	12	35	65	40	1	0	4	5	13
2037	9	32	85	46	1	0	3	7	2
2038	0	7	40	18	0	0	2	2	5
2039	4	25	68	34	0	0	0	8	7
2040	4	19	50	22	0	0	0	2	8
2041	18	41	100	21	0	0	0	5	3
2042	18	38	85	34	2	0	3	1	9
2043	8	34	79	18	0	0	0	7	9
2044	11	36	84	40	0	0	2	11	7
2045	7	24	75	25	0	0	0	12	9
2046	6	32	94	19	0	0	0	11	7
2047	4	23	69	35	0	0	0	16	14
2048	15	53	93	10	0	0	0	1	3
2049	8	27	80	31	0	0	0	12	0
2050	7	21	61	33	2	0	5	2	0

14. Melléklet: A Gladstones (SFIGlad) és a Wolf-Boyer féle (SFIWB) tavaszi fagyindex, a hőmérséklet (DR), az áprilisi átlagos napi hőingás (MADR), és a szüreti átlagos napi hőingás (MHDR), az érésidei napi hőingás összege (ET) és a Riberau-Gayon-Peynaud index (RGP) értékei [°C] 2021 és 2050 között

Ev	SFI_Glad	SFI_WB	DR	MADR	MHDR	ET	RGP
2021	12	4	25	8	10	1628	1391
2022	14	5	28	10	10	1727	2164
2023	13	5	20	10	8	1339	1180
2024	12	6	24	12	10	1586	1567
2025	13	6	23	11	10	1638	1935
2026	11	6	20	12	10	1479	1382
2027	12	5	25	10	11	1666	1502
2028	13	5	26	10	11	1632	1648
2029	10	6	18	12	9	1358	1459
2030	13	5	26	9	13	1921	2211
2031	15	5	26	11	12	1754	2053
2032	10	5	24	9	11	1804	1844
2033	12	5	30	11	10	1667	1948
2034	16	6	25	12	9	1639	1841
2035	12	6	26	12	9	1538	1792
2036	12	5	30	9	10	1704	1879
2037	14	6	32	12	11	1689	2049
2038	11	5	22	10	8	1412	1189
2039	12	5	23	10	9	1595	1721
2040	9	5	26	9	10	1615	1718
2041	15	6	28	12	9	1666	2058
2042	11	5	30	10	11	1892	2125
2043	11	4	26	9	10	1712	1959
2044	13	5	31	9	9	1712	1942
2045	8	5	26	10	9	1579	1664
2046	7	4	26	9	10	1610	1953
2047	10	5	28	9	9	1557	1741
2048	11	5	28	9	11	1827	2223
2049	13	5	27	11	11	1794	1986
2050	12	5	28	10	9	1511	1603

15. Melléklet: Csapadékindexek [mm]: éves (AR), nyári (SR), téli (WR) csapadékmennyiségek, a tenyészidőszak (GSR), a virágzás (BPR), az érési időszak (RPR) csapadékmennyisége, valamint a tenyészidőszak csapadékos napjainak száma (GSRD) 2021 és 2050 között

Ev	AR	SR	WR	GSR	BPR	RPR	GSRD
2021	521	70	157	312	46	119	89
2022	533	64	165	233	19	127	68
2023	863	131	341	584	93	205	119
2024	670	56	317	316	28	163	88
2025	618	74	388	278	33	83	89
2026	621	157	253	412	45	117	85
2027	581	110	183	359	59	72	91
2028	766	61	261	397	35	67	88
2029	752	210	362	477	96	90	97
2030	404	32	187	209	37	26	67
2031	487	121	214	257	56	71	70
2032	521	127	238	330	47	72	70
2033	532	95	248	297	19	114	67
2034	664	71	222	432	52	232	79
2035	663	167	177	467	101	119	85
2036	562	33	199	306	44	76	82
2037	494	70	298	308	59	84	82
2038	721	199	117	579	153	218	107
2039	581	57	155	338	39	123	88
2040	475	109	267	302	50	60	95
2041	465	77	133	323	64	148	85
2042	475	57	188	223	16	30	74
2043	537	76	285	278	75	47	82
2044	537	46	170	287	20	107	87
2045	500	67	292	339	60	125	79
2046	689	69	211	380	55	132	86
2047	584	53	318	348	94	85	98
2048	434	89	120	307	46	87	71
2049	502	71	254	204	26	65	63
2050	754	149	290	438	78	151	88

16. Melléklet: Becsült Huglin- és Winkler-indexek, biológiailag hatásos hőösszegek, júliusi és januári átlaghőmérsékletek, valamint a tenyészidőszakok átlaghőmérséklete, átlagos maximum és minimum hőmérséklete [°C] 2071 és 2100 között

Ev	Huglin	Winkle	BEDD	MJuT	MJaT	GSAT	GSATX	GSATN
2071	2636	2058	1540	23	2	20	26	14
2072	2250	1681	1252	22	6	18	23	13
2073	2336	1720	1319	22	4	18	24	13
2074	2336	1774	1319	24	1	18	24	13
2075	2544	1918	1366	25	2	19	25	13
2076	2199	1652	1282	25	4	18	24	13
2077	2412	1799	1312	26	3	18	24	13
2078	2274	1789	1473	22	5	18	24	14
2079	2187	1740	1381	24	5	18	24	13
2080	2318	1773	1325	24	5	18	24	13
2081	2494	1874	1402	23	3	19	25	14
2082	2437	1854	1420	26	4	19	25	14
2083	2526	1950	1344	24	6	19	25	13
2084	2238	1723	1379	23	5	18	24	13
2085	2375	1804	1322	26	7	18	24	13
2086	2716	2119	1447	25	5	20	26	14
2087	2390	1814	1395	22	5	18	24	13
2088	2747	2120	1430	26	7	20	26	14
2089	2767	2140	1547	24	7	20	26	15
2090	2248	1781	1422	21	7	18	24	13
2091	2579	1996	1465	25	5	19	25	14
2092	2302	1751	1354	23	6	18	24	13
2093	2120	1544	1259	22	6	17	22	13
2094	2528	1944	1352	26	-2	19	25	13
2095	2459	1876	1478	23	5	19	24	14
2096	2395	1786	1377	23	-1	18	24	13
2097	2732	2047	1444	25	6	19	26	14
2098	2331	1736	1322	24	4	18	24	13
2099	3175	2462	1577	29	6	21	28	15
2100	2822	2159	1504	23	7	20	27	14

17. Melléklet: A szüreti időszak maximum hőmérséklete (HMX), a téli minimum hőmérséklet (WMN), az érésidő átlagos hőmérséklete (RAT), hideg éjszaka-index (CNI) és a kontinentális (CO) hatás értékei [°C] 2071 és 2100 között

Ev	HMX	WMN	RAT	CNI	CO
2071	29	-5	21	15	21
2072	27	-3	16	11	16
2073	28	-4	18	14	18
2074	28	-7	18	13	23
2075	30	-5	20	16	23
2076	27	-3	18	13	20
2077	29	-7	16	11	24
2078	26	-5	17	14	17
2079	27	-7	19	13	20
2080	27	-3	16	11	20
2081	28	-6	18	15	20
2082	28	-9	18	12	21
2083	30	-3	20	15	19
2084	26	-7	17	13	18
2085	29	-8	18	14	19
2086	30	-4	20	15	20
2087	28	-6	19	16	17
2088	31	-3	21	16	19
2089	30	-3	19	14	17
2090	26	-4	19	12	14
2091	28	-3	18	15	21
2092	27	-6	16	12	17
2093	26	-4	16	12	16
2094	30	-14	18	13	28
2095	27	-4	17	14	18
2096	28	-9	19	14	24
2097	30	-4	20	16	19
2098	27	-4	16	11	20
2099	32	-6	19	14	22
2100	31	-2	20	13	16

18. Melléklet: Az extrém meleg napok száma (NEHD), a meleg napok száma (NHD), a nyári napok száma (NSD), a fagyos napok száma (NFD), a jeges napok száma (NID), valamint a tavaszi (NSFD) és őszi (NFFD) fagyos napok száma 2071 és 2100 között

Ev	NEHD	NHD	NSD	NFD	NID	F15D	F8D	NSFD	NFFD
2071	20	56	118	32	0	0	0	2	3
2072	12	43	88	17	0	0	0	0	3
2073	15	49	90	28	0	0	0	8	0
2074	22	50	88	43	0	0	0	17	0
2075	22	63	111	42	0	0	0	12	1
2076	15	40	80	24	0	0	0	4	0
2077	25	49	94	27	0	0	0	5	3
2078	6	33	92	14	0	0	0	0	0
2079	9	35	87	35	0	0	0	20	3
2080	26	46	80	7	0	0	0	0	0
2081	14	49	107	26	0	0	0	0	1
2082	19	41	97	28	0	0	5	7	3
2083	21	64	112	19	0	0	0	7	0
2084	8	38	86	35	0	0	0	9	2
2085	21	54	99	40	0	0	0	15	0
2086	27	75	128	15	0	0	0	11	1
2087	8	44	96	11	0	0	0	1	2
2088	39	79	119	9	0	0	0	3	1
2089	23	63	127	12	0	0	0	2	0
2090	8	35	100	4	0	0	0	0	5
2091	14	55	108	13	0	0	0	2	2
2092	13	42	90	15	0	0	0	2	0
2093	4	28	80	13	0	0	0	7	2
2094	31	62	103	44	5	0	6	3	5
2095	9	41	96	13	0	0	0	2	3
2096	13	54	100	34	0	0	1	0	2
2097	28	58	117	21	0	0	0	9	0
2098	15	49	98	19	0	0	0	1	2
2099	46	93	139	25	0	0	0	2	1
2100	25	89	129	5	0	0	0	1	4

19. Melléklet: A Gladstones (SFIGlad) és a Wolf-Boyer féle (SFIWB) tavaszi fagyindex, a júliusi hőmérsékleti terjedelem (DR), az áprilisi átlagos napi hőingás (MADR), és a szüreti átlagos napi hőingás (MHDR), érésidei napi hőingás összege (ET) és a Riberau-Gayon-Peynaud index (RGP) értékei [°C] 2071 és 2100 között

Ev	SFI_Glad	SFI_WB	DR	MADR	MHDR	ET	RGP
2071	13	6	32	11	14	1901	2690
2072	11	4	25	8	10	1686	1977
2073	9	5	28	9	12	1849	2320
2074	9	5	28	10	10	1691	2004
2075	12	5	27	10	12	1815	2368
2076	9	4	26	8	11	1759	2080
2077	15	6	31	11	11	1824	2161
2078	13	5	29	11	9	1550	2041
2079	8	4	28	9	11	1738	2200
2080	13	5	34	10	8	1652	2099
2081	10	5	23	10	10	1679	2350
2082	9	5	26	10	12	1728	2275
2083	10	5	25	10	11	1827	2442
2084	12	5	23	9	9	1578	2075
2085	12	4	31	7	12	1876	2282
2086	12	4	28	7	12	1889	2585
2087	13	4	24	8	10	1660	2122
2088	11	4	27	9	11	1848	2603
2089	10	6	26	11	10	1720	2483
2090	13	5	21	9	11	1645	2053
2091	9	6	26	11	9	1664	2369
2092	10	5	25	10	9	1584	2000
2093	8	3	25	7	9	1518	1747
2094	11	5	28	9	11	1763	2320
2095	13	5	27	9	10	1603	2259
2096	9	5	29	9	11	1771	2158
2097	10	5	34	11	11	1752	2465
2098	12	5	26	11	10	1677	2176
2099	12	7	31	13	12	1913	3084
2100	11	5	31	10	13	1991	2834

20. Melléklet: Csapadékindexek [mm]: éves (AR), nyári (SR), téli (WR) csapadékmennyiségek, a tenyészidőszak (GSR), a virágzás (BPR), az érési időszak (RPR) csapadékmennyisége, valamint a tenyészidőszak csapadékos napjainak száma (GSRD) 2071 és 2100 között

Ev	RGP	AR	SR	WR	GSR	BPR	RPR	GSRD
2071	2690	472	119	188	189	89	18	57
2072	1977	615	102	232	393	56	118	89
2073	2320	285	43	131	182	31	67	71
2074	2004	690	110	198	470	86	226	96
2075	2368	556	61	244	316	22	122	67
2076	2080	651	28	288	305	16	58	79
2077	2161	584	48	261	387	46	147	79
2078	2041	728	146	189	451	44	169	81
2079	2200	504	22	241	285	44	56	73
2080	2099	646	33	251	373	3	195	67
2081	2350	585	47	316	268	29	61	79
2082	2275	694	67	417	338	90	70	76
2083	2442	533	88	247	267	40	78	58
2084	2075	630	107	281	362	92	147	73
2085	2282	567	43	243	287	58	90	72
2086	2585	507	74	230	321	41	39	77
2087	2122	704	96	346	388	103	73	91
2088	2603	499	65	108	292	21	121	79
2089	2483	738	79	261	449	26	160	76
2090	2053	828	172	372	455	110	72	85
2091	2369	716	35	335	367	42	117	83
2092	2000	852	42	393	450	71	169	86
2093	1747	792	66	411	431	30	85	101
2094	2320	719	75	319	354	11	101	69
2095	2259	590	90	348	350	13	140	80
2096	2158	643	31	258	367	54	156	66
2097	2465	627	130	263	344	57	124	68
2098	2176	499	33	202	288	19	117	72
2099	3084	448	37	174	244	11	52	56
2100	2834	527	90	278	197	22	24	47

21. Melléklet: Tenyésztidőszakok Helvécián 2000-2004 között

	I. módszer		II. módszer		I. módszer		II. módszer	
Helvécia	Tenyésztidő kezdete				Tenyésztidő vége			
Év	Dátum	JD	Dátum	JD	Dátum	JD	Dátum	JD
2000	04. 12.	103	03. 31.	91	10. 10.	284	11. 14.	324
2001	04. 19	109	04. 10.	100	10. 24.	297	12. 01	336
2002	04. 13.	103	04. 05.	95	09. 25.	268	10. 20.	293
2003	04. 22	112	04. 16	106	10. 06	280	10. 10.	284
2004	05. 10.	130	04. 07.	98	10. 10.	284	11. 03.	313

22. Melléklet: Tenyésztidőszakok Kecskeméten 1977-2003 között

	I. módszer		II. módszer		I. módszer		II. módszer	
<i>Kecskemét</i>	Tenyésztidő kezdete				Tenyésztidő vége			
Év	Dátum	JD	Dátum	JD	Dátum	JD	Dátum	JD
1977	04. 22.	111	04. 19.	109	11. 13.	315	11. 05.	287
1978	05. 15.	136	04. 10.	100	10. 25.	298	10. 23.	286
1979	05. 14.	134	04. 12.	102	10. 18.	291	10. 12.	285
1980	05. 15.	136	04. 23.	114	10. 19.	293	10. 24.	298
1981	05. 06.	115	04. 04.	94	11. 03.	305	10. 29.	302
1982	05. 02.	122	04. 27.	117	10. 28.	301	10. 23.	286
1983	04. 17.	107	03. 29.	88	10. 20.	293	10. 18.	291
1984	05. 12.	133	04. 09.	100	10. 27.	301	10. 31.	305
1985	05. 05.	125	04. 07.	97	10. 12.	285	10. 17.	290
1986	04. 21.	111	04. 04.	94	10. 23.	296	10. 18.	291
1987	05. 24.	144	04. 11.	101	10. 26.	299	10. 23.	296
1988	04. 27.	118	04. 12.	103	10. 18.	292	10. 16.	290
1989	05. 02.	122	03. 25.	84	11. 06.	308	10. 24.	297
1990	04. 24	114	03. 28.	87	10. 20.	293	10. 22.	295
1991	05. 25.	145	04. 18.	108	10. 18.	291	10. 15.	288
1992	04. 21.	112	04. 01.	92	10. 28.	301	10. 15.	289
1993	04. 15.	105	04. 07.	97	10. 25.	298	11. 06.	288
1994	04. 20.	110	03. 23.	82	10. 05.	278	10. 17.	290
1995	05. 16.	136	04. 05.	95	10. 21.	294	12. 01.	333
1996	04. 17.	108	04. 08.	99	10. 19.	293	12. 03.	336
1997	04. 27.	117	04. 08.	98	10. 13.	286	10. 16.	289
1998	04. 15.	105	05. 11.	131	10. 26.	299	11. 09.	291
1999	05. 06.	126	04. 03.	93	11. 07.	309	10. 24.	297
2000	04. 11.	102	03. 27.	87	10. 20.	294	12. 21.	354
2001	04. 24.	114	03. 25.	84	10. 24.	297	12. 01.	333
2002	04. 14.	104	03. 27.	86	10. 30.	303	10. 23.	286
2003	04. 12.	102	04. 07.	97	10. 12.	285	10. 10.	283

23. Melléklet: A korai fajták és klónjainak megfigyelt rügyfakadási időpontjai a kétféle módszerrel számított tenyészidőszak kezdeteihez viszonyítva Helvécián

Helvécia	Teny.i.kezd. I. m.	Teny.i.kezd. II. m.	Ch	Ch75	Ch96	Szb	Szb34	Szb52
2000	április 12.	március 31.	április 19.	április 19.	április 21.	április 25.	április 25.	április 25.
2001	április 19.	április 10.	április 26.	április 28.	április 26.	április 30.	április 29.	május 1.
2002	április 13.	április 5.	április 23.	április 23.	április 24.	április 29.	április 29.	április 30.
2003	április 22.	április 16.	április 28.	április 28.	április 28.	április 30.	május 1.	április 30.
2004	május 10.	április 7.	április 28.	április 29.	április 29.	április 26.	április 29.	április 28.

24. Melléklet: A közepes érésű Pinot blanc klónok megfigyelt rügyfakadási időpontjai a kétféle módszerrel számított tenyészidőszak kezdeteihez viszonyítva Helvécián

Helvécia	Teny.i.kezd. I. m.	Teny.i.kezd. II. m.	Pb54	Pb55	PbD55
2000	április 12.	március 31.	április 21.	április 25.	április 25.
2001	április 19.	április 10.	április 25.	április 26.	április 26.
2002	április 13.	április 5.	április 23.	április 24.	április 22.
2003	április 22.	április 16.	április 30.	április 30.	április 29.
2004	május 10.	április 7.	április 27.	április 30.	április 29.

25. Melléklet: A kései érésű Rajnai rizling és Hárslevelű klónok megfigyelt rügyfakadási időpontjai a kétféle módszerrel számított tenyészidőszak kezdeteihez viszonyítva Helvécián

Helvécia	Teny.i.kezd. I. m.	Teny.i.kezd. II. m.	RfRr239	RfRr378	RfRr391	RfRr49	RfHIP.4	RfHIK.9
2000	április 12.	március 31.	április 25.	április 25.	április 25.	április 25.	április 25.	április 25.
2001	április 19.	április 10.	április 30.	május 1.	május 1.	május 1.	április 30.	április 30.
2002	április 13.	április 5.	április 25.	április 27.	április 24.	április 27.	április 26.	április 26.
2003	április 22.	április 16.	április 30.	április 30.	április 30.	április 30.	április 30.	április 29.
2004	május 10.	április 7.	május 4.	május 3.	május 3.	április 29.	május 1.	május 1.