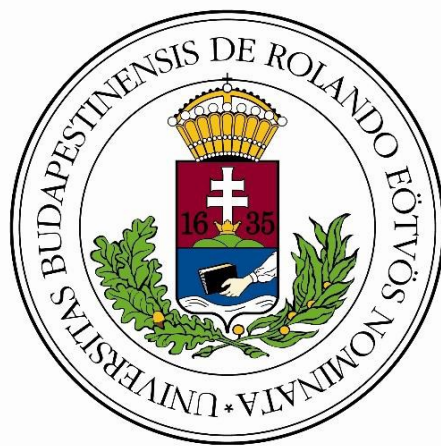


# DOKTORI ÉRTEKEZÉS

KOVÁCS ERIK



Budapest, 2018

**A Soproni és a Zalai borvidék agroklimatikus jellemzése és a  
borszőlő (*Vitis vinifera* L.) fajták fenofázisainak válasza az  
éghajlat változására**

Doktori értekezés

Készítette:  
**Kovács Erik**

Témavezető:  
**Dr. habil. Puskás János PhD**  
főiskolai tanár

Doktori Iskola:  
**ELTE Környezettudományi Doktori Iskola**

Vezető:  
**Dr. Jánosi Imre DSc**  
egyetemi tanár

Doktori Program:  
**Kitaibel Pál Multidiszciplináris Doktori Program**

Program vezető:  
**Dr. Kolláth Zoltán Sámuel DSc**  
egyetemi tanár

Kutatóhely:  
Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar,  
Savaria Természettudományi Centrum, Savaria Földrajzi Tanszék

Budapest, 2018

*”Mi az irónia, ha nem ez? Azokra az élőlényekre, amiknek árnyékában ülünk, amiknek gyümölcsét esszük, amiknek végtagjaira felmászunk, amik vizet adnak nekünk, legritkább esetben gondolunk. El kell jönnie a pillanatnak, amikor a legmélyebb tisztelettel gondolunk a fákra, bokrokra és az erdőkre, amik létfontosságú szerepet játszanak életünkben és a legbiztosabb szövetségeseink lesznek a bizonytalan jövőben.”*

**(Jim Robbins)**



*A Bussay Pincészet ősszel (saját kép)*

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezetés és célkitűzés</b> .....	5
<b>2. Irodalmi áttekintés</b> .....	8
2.1. Az éghajlatváltozás globális sajátosságai.....	8
2.2. Az éghajlatváltozás Európában.....	13
2.3. Az éghajlatváltozás hazánkban.....	16
2.4. Az éghajlatváltozás és a növények fenológiai válaszadása.....	20
2.5. Matematikai modellek és alkalmazásuk.....	22
2.5.1. Éghajlati modellek.....	22
2.5.2. Fenológiai modellek.....	25
2.6. Éghajlati paraméterek és indikátorok a szőlőtermesztésben.....	27
<b>3. Anyag és módszer</b> .....	32
3.1. A kutatási terület.....	32
3.1.1. Soproni borvidék.....	32
3.1.1.1. Geomorfológia, talaj.....	32
3.1.1.2. Éghajlat.....	33
3.1.1.3. Szőlőfajták.....	35
3.1.2. Zalai borvidék.....	36
3.1.2.1. Geomorfológia, talaj.....	36
3.1.2.2. Éghajlat.....	38
3.1.2.3. Szőlőfajták.....	40
3.2. Megfigyelés és kutatás.....	41
3.2.1. A megfigyelés módszere, adatgyűjtés.....	41
3.2.2. A vizsgált fajták jellemzése.....	47
3.3. Statisztikai módszerek.....	48
<b>4. Eredmények</b> .....	52
4.1. Az éghajlatváltozás hatása a vizsgált borvidékeken.....	52
4.1.1. Hőmérséklet.....	52
4.1.2. Csapadék.....	55
4.1.3. Napsütés.....	59
4.1.4. R-index.....	60

4.1.5. Szélsőséges-indexek.....	61
4.1.6. „Vitis” indikátorok.....	69
4.1.6.1. Hőmérsékleti indikátorok.....	69
4.1.6.2. Csapadékindikátorok.....	75
4.1.7. Fagyindexek.....	77
4.2. Fenológiai válaszáadás.....	79
4.2.1. Rügyfakadás.....	79
4.2.2. Virágzás.....	82
4.2.3. Zsendülés-szüret.....	84
4.3. Érésí index.....	92
4.4. Új tudományos eredmények.....	96
<b>5. Következtetés.....</b>	<b>98</b>
<b>6. Összegzés.....</b>	<b>102</b>
<b>Abstract of the PhD Thesis.....</b>	<b>103</b>
<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>104</b>
<b>Köszönetnyilvánítás.....</b>	<b>116</b>
<b>Mellékletek.....</b>	<b>117</b>
<b>Tudományos közlemények jegyzéke.....</b>	<b>121</b>

## 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Az éghajlatváltozás az időjárási elemek statisztikai eloszlásában bekövetkezett változás. Ez lehet hosszútávú, középtávú vagy rövidtávú. A statisztikai mérőszámok viszonyítási alapja az úgynevezett éghajlati normálidőszak, mely az utolsó lezárt három évtizedre meghatározott normálértékeket tartalmazza.

A jelenkori globális és a regionális éghajlatváltozás a 21. század egyik legjelentősebb természeti, ökológiai, társadalmi és gazdasági kihívása. A fejlett világ növekvő társadalmi, gazdasági és politikai erőfeszítései ellenére a legfontosabb üvegházhatású gázok (széndioxid, metán, dinitrogén-oxid) kibocsátása csak mérsékelten csökkent az elmúlt években, évtizedben. A feltörekvő gazdasági területeken (pl. Kína, India) az üvegházhatású gázok kibocsátása egyre erőteljesebb. *Fearnside* (2000) tanulmányában olvasható, hogy nemcsak az ipari területekről, hanem a fitomassza égéséből is jelentős mennyiségű CO<sub>2</sub> (kb. 29 %) kerül a légkörbe (*Fearnside*, 2000).

Az IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) 2013-as jelentésében olvasható, hogy a klímaváltozás és a globális felmelegedés a jövőben is folytatódni fog (*IPCC*, 2013). Bár a 2013-as jelentés azt vázolja, hogy a felmelegedés üteme a korábbiakhoz képest lassult, mivel a légkör egy kissé kevésbé reagál érzékenyen az üvegházhatású gázok - hangsúlyosan a CO<sub>2</sub> és a CH<sub>4</sub> - felhalmozódására, illetve a déli félteke óceánjai sokkal több energiát képesek elnyelni (a korábbi adatokhoz képest 24-58 %-kal többet), mint azt feltételezték korábban (*Durack et al.*, 2014; *Mika*, 2014). Azonban a felmelegedés ütemének lassulása valószínűleg csak átmeneti jellegű (*Held*, 2013). Ez az átmeneti lassulás nem azt jelenti, hogy globális és regionális szinten nem emelkedik a hőmérséklet továbbra is. Ezt igazolja az is, hogy a kiterjedt mérések kezdete óta 2016, 2017 és 2015 volt a három legmelegebb év a Földön, Európában és a Kárpát-medencében is.

Az egész bolygóra kiterjedő éghajlatváltozás hatásai nem kerülnek el a mezőgazdaság egyetlen ágazatát, köztük a szőlészet-borászat ágazatát sem. Az elmúlt 30-40 év melegedése eddig kedvező hatással volt a termés és a borok minőségére Európában. A 20. század közepe óta nagyjából 50-100 km-rel tolódott északabbra Európában az ideális bortermő területek határa (*Bowen et al.*, 2004), mely a 21. század közepére további jelentős északi irányba való terjeszkedést jelent (*Hoffmann et al.*, 2007). Olyan területek is alkalmassá válnak borszőlő (*Vitis vinifera* L.) termesztésére, ahol korábban elképzelhetetlen volt, hogy jó minőségű, magas cukortartalmú borszőlő teremjen (pl. Észak-Németország, Baltikum, Svájc magasabb területei stb.). Számolni kell az öntözés és

a vízhiány problémájával, a fenológiai fázisok időpontjainak eltolódásával és a szélsőséges meteorológiai események gyakoribbá válásával. Az északi félteke borvidégein az elmúlt 50 évben a tenyészidőszak átlaghőmérséklete 1,6 °C-kal emelkedett, Európában pedig már közel 2 °C-os emelkedést mértek a tenyészidőszakban (április 1. - szeptember 30.) (*Fraga et al.*, 2016; *Mozell és Thach*, 2014).

Az éghajlatváltozásnak egyaránt vannak negatív és pozitív hatásai. Negatív hatások közé sorolható a szélsőséges időjárási események (pl. aszályok, néhány óra alatt lehullott szélsőségesen nagy mennyiségű csapadék, egyre intenzívebb villámárvizek stb.) növekvő száma. A számos negatív hatás mellett egyes mezőgazdasági területek inkább haszonélvezői az éghajlatváltozásnak.

A szőlő termésének minősége és mennyisége jelentősen függ az adott térség mikro- és mezoklimatikus adottságaitól. Nagyon fontos minden esetben a talaj-klíma-fajta egyensúlyt figyelembe venni a termesztéshez (*Fraga et al.*, 2013). Ezen egyensúlyi helyzet inoghat meg negatív és pozitív irányba a klíma megváltozásának eredményeként (*Fraga et al.*, 2014), ezért rendkívül fontos azon szőlőfajták és klónjaik telepítése, melyek képesek alkalmazkodni a változásokhoz (*Grzeskowiak et al.* 2013; *Ignaciuk és Mason-D’Croz*, 2014).

Az éghajlat módosulásának már látható jelei vannak a növények tenyészidőszakának változásában (*Laget et al.*, 2008). Míg egyes területek, ahol korábban nem lehetett borszőlőt - kiváló minőségű bor készítéséhez - termesztetni vagy egyáltalán nem voltak alkalmasak borszőlő termesztésére, a növekvő hőmérséklet, a kiegyenlítettebb csapadék hatására alkalmassá válhatnak, míg ahol eddig is alkalmas volt a klíma jó minőségű borszőlő termesztésére, ott a növekvő hőmérséklet, az esetleges szélsőséges csapadék gyakoribbá válása következtében, csak kellő intézkedések segítségével lehet borszőlőt termesztetni (*Jones*, 2005; *Schultz és Jones*, 2010).

Az éghajlatváltozás hatásai iránt erősen megnövekedett az érdeklődés. A szőlő (*Vitis vinifera* L.) fenológiai vizsgálata fontos lehet a sikeres növényvédelem és a termesztési technológia tervezésének szempontjából.

Munkám céljából így azt választottam, hogy megvizsgáljam a Soproni és Zalai borvidék leggyakoribb borszőlő fajtáinak eddigi válaszadását a klimatikus változásokra. Kutatásom során arra kerestem a választ, hogy az éghajlatváltozás regionálisan milyen szinten változtatta meg a két borvidék éghajlati kondícióit a sikeres borszőlő termesztés szemszögéből, illetve hogy a leggyakoribb fajták miként reagáltak a lehetséges

változásokra és egy érési index kidolgozása a tudományos szakemberek, döntéshozók és a gazdálkodók számára, mely a későbbiekben akár az összes szőlőfajtán alkalmazható lesz.

A fentiek alapján a következő célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. A Soproni és a Zalai borvidék éghajlatának elemzése az elmúlt bő 35 évre vetítve.
2. A szakirodalom felhasználása alapján egy összesített klimatikus indikátorrendszer összeállítása a két borvidékre.
3. A leggyakoribb borszőlőfajták fenológiai válaszadásának megfigyelése és leírása. A fenológiai fázisok, amelyeket vizsgáltam a rügyfakadás, a virágzás, a tömeges virágzás, a zsendülés és a szüretnek időpontja.
4. Az 1996 és 2017 közötti időszakban a szüretet megelőző Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek és a must cukorfoka közötti kapcsolat leírása.
5. Egy olyan kis adatigényű (hőmérséklet, csapadék) érési index kialakítása, melynek segítségével jól jellemezhető egy régióban az érés ideje, gyorsasága és ezáltal a várható bor minősége.



## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS GLOBÁLIS SAJÁTOSSÁGAI

Az éghajlatváltozásnak több oka van. A klíma tényleges változása három valószínűleg egymással párhuzamosan ható okra vezethető vissza: az éghajlati rendszer (minden külső hatás nélküli) belső ingadozásai, a természetes külső és belső tényezők és az antropogén hatások (IPCC, 2013; Mika, 2011).

Az éghajlati rendszer egy rendkívül bonyolult és ingatag nem lineáris szisztéma, nem csak a légkör, hanem a légkör és a vele érintkezésben levő négy geoszféra (krioszféra, hidroszféra, bioszféra, atmoszféra) kölcsönhatásban álló együttese (Stocker, 2011). Az éghajlati rendszer központi, leginkább instabilis és legnagyobb változékonyságú komponense a légkör (Hantel, 2013). Amennyiben az éghajlati rendszer bármely komponense változik, úgy az éghajlat is változik (Stocker, 2011). Ebben a rendszerben bizonyos változékonyság minden külső kényszer nélkül is ki tud alakulni. Ezt a globális éghajlati modellek kontroll futtatásai bizonyítják, melyeket sem természetes, sem antropogén hatások sem befolyásoltak (Mika, 2011).

A Föld történetében számos jelentős, az egész bolygót megváltoztató éghajlatváltozás történt (Károssy, 2004). Ezek főleg természetes külső és belső okokra vezethetők vissza. Ilyen külső tényezők pl. vulkán kitörések, Naptevékenység változása, bolygópálya változás stb., belső tényezők pl. lemezmozgások (tektogenezis), belső vulkanizmus, az óceáni és a termohalin áramlás változása stb. (Salma, 2006).

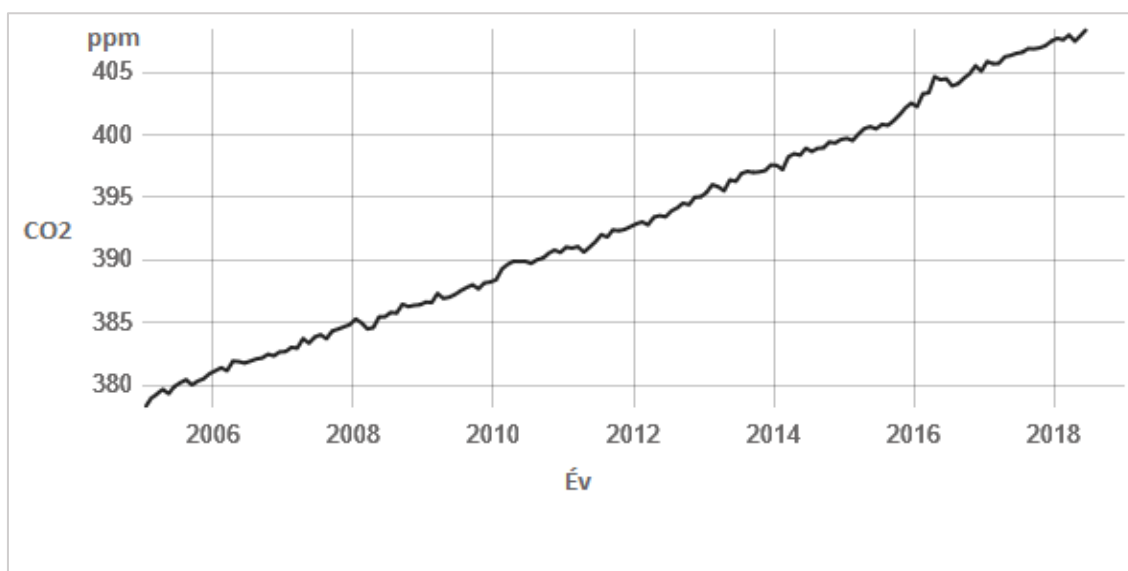
A jelenkori éghajlatváltozás azonban bizonyítottan az ember által kiváltott folyamat. Mint fentebb említettem a földtörténet során számos jelentős klímaváltozás zajlott a bolygón. Bár a jelenkori változás kismértékű a korábbiakhoz képest, de a jelentőségét nem szabad lebecsülni, mivel a változások túl gyorsan történnek (Bartholy et al., 2007). Antropogén hatások közé sorolható az üvegházhatású gázok és az aeroszolok (por, korom, szulfátok stb.) emissziója, a földi növényzet szerkezetének alakítása, a kiterjedt terület átalakítás, az extenzív mezőgazdaság stb. (Cline, 2008).

Már az első ipari forradalom idején és a 19. század közepén ismert volt, hogy bolygónk felszínének átlaghőmérséklete lényegesen magasabb, mint ami pusztán a közvetlenül elnyelt Napból származó energia alapján várható lenne (Haszpra és Barcza, 2005).

A jelenkori éghajlatváltozás és globális felemelkedés fő kiváltó oka az üvegház gázok légkörben való felgyülemelése. A CO<sub>2</sub> 50-150 évig, a CH<sub>4</sub> 4-10 évig, a különböző

CFC-k akár 1000 évig is képesek a légkörben tartózkodni. Az üvegházhatású gázok pozitív sugárzási kényszerrel rendelkeznek. Az IPCC 2007-es és 2013-as jelentése szerint a legnagyobb pozitív sugárzási kényszerrel a CO<sub>2</sub> bír. A magas légköri CO<sub>2</sub> koncentráció növekedésének antropogén eredetére bizonyítékul szolgál a szén ipari felhasználására vonatkozó 1751 és 2009 közötti, *Boden és Andres (2010)* által összeállított adatsor (*Kristóf, 2013*). A metán és a dinitrogén-oxid légköri mennyisége főleg a mezőgazdaság termelés fokozódása miatt emelkedett az elmúlt 100-150 évben (*IPCC, 2013*).

A CO<sub>2</sub> koncentrációja az iparosodás előtt 280 ppm volt, a NOAA mérései alapján mára eléri a 400 ppm feletti szintet (a rekordot 2017-ben mérték 408 ppm értékkel), ez az elmúlt 650 ezer év koncentrációját is felülmúlja (180-300 ppm) (*1. ábra*).



*1. ábra A légköri CO<sub>2</sub> mennyisége napjainkban (Forrás: NOAA/NASA)*

A CO<sub>2</sub> növekedés 1960 és 1995 között 1,4 ppm/év volt, 1995 és 2015 között ez az érték már 2,1 ppm/év. A CH<sub>4</sub> iparosodás előtti mennyisége a légkörben 715 ppb volt, mára ez 1830-1850 ppb-re nőtt. Az utolsó 650 ezer évben (320-790 ppb), a N<sub>2</sub>O mennyisége 270 ppb-ről 2015-re közel 330 ppb-re emelkedett (*NOAA, 2017*).

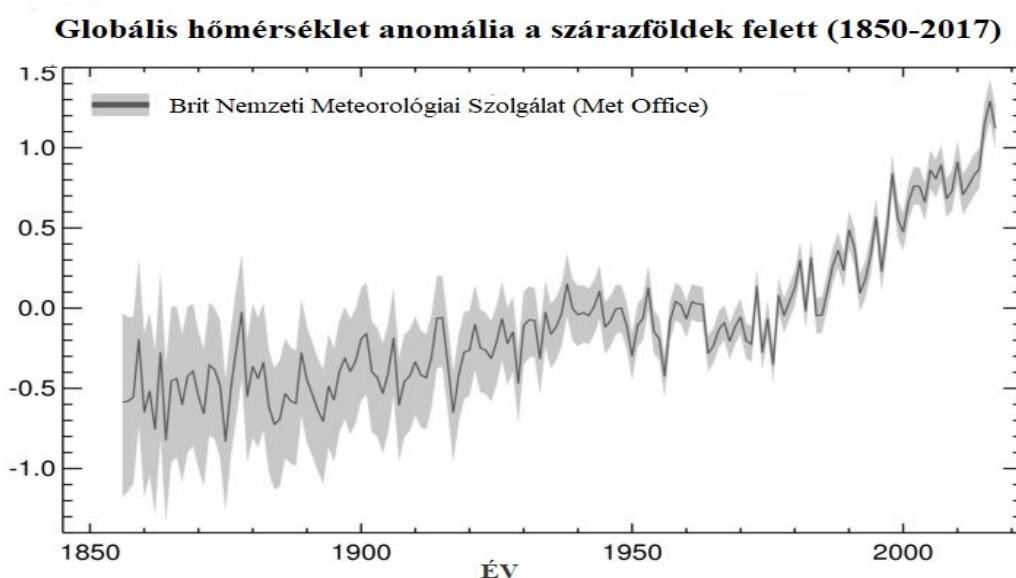
Az üvegházhatású gázok által elnyelt és visszajuttatott energia következtében a Föld felszínén a globális átlaghőmérséklet +15 °C, szemben a -18 °C-kal, ami az említett gázok nélkül alakulna ki (*Mitchell, 1989*).

1880 és 2012 között a globális átlaghőmérséklet (óceánok-szárazföld) 0,85 °C-kal emelkedett (*IPCC, 2013*). A hőmérséklet nem emelkedik párhuzamos mértékben a kibocsájtott üvegházhatású gázokkal, mivel az óceánok nagy mennyiségű energiát képesek

elnyelni. Az 1980-as évek eleje óta a troposzféra alsó rétegében a hőmérséklet emelkedés eléri a 0,11-0,12 °C-ot évente. Ez egy átlag érték, mely évenként különböző értékeket mutat (Hartmann *et al.*, 2013).

A légköri üvegházhatás antropogén erősödése miatt a 21. század közepére a Föld hőmérséklete magasabbra emelkedhet, mint az emberi történelem során valaha (IPCC, 2013; Mika, 1996).

A globális felmelegedés eredménye, hogy a kiterjedt mérések óta a 10 legmelegebb évből 10-et 1980 óta mérték a Föld felszínén (2. ábra). A három legmelegebb év a Földön 2016, 2017 és 2015 volt a NASA és a WMO jelentése szerint.

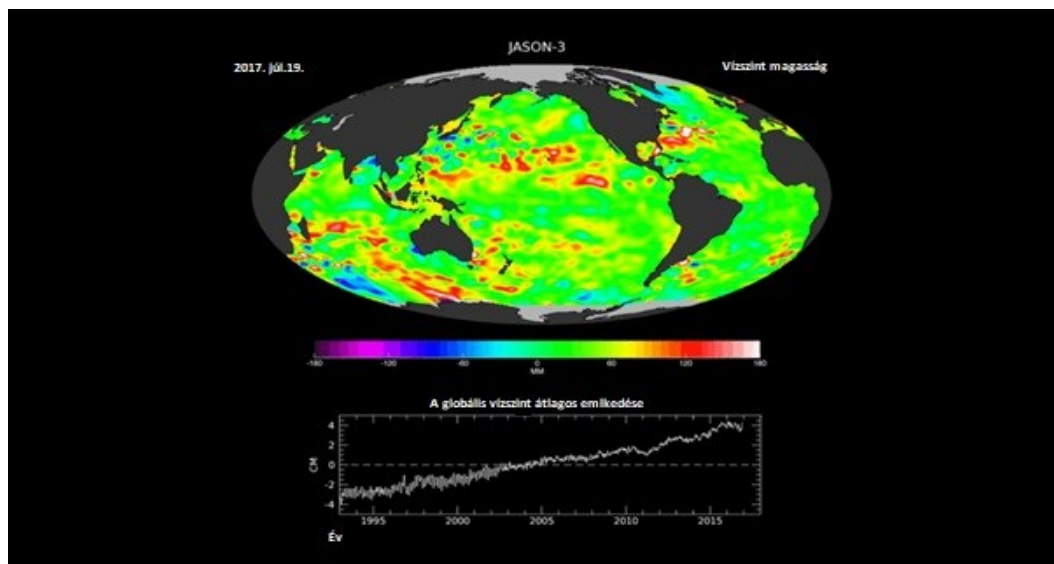


2. ábra A szárazföldek felett mért évi középhőmérsékletek a Brit Nemzeti Meteorológiai Szolgálat (Met Office) adatai alapján. Az y tengely az 1961-1990 közötti időszaktól való eltérést mutatja (°C)

A globális felmelegedés következtében a sarki jég erőteljes olvadása és a gleccserek visszahúzódása elkerülhetetlen. Az Északi-sarkvidék területén a jégvesztés jelentősebb, mint a Déli-sarkvidéken, mivel az üvegházhatású gázok nagy része az Északi féltekén halmozódik fel (Stroeve *et al.*, 2007). Egyes pesszimista scenáriók alapján a jelenlegi trend folytatódásával a 2030-as évek második felére nyáron teljesen jégmentessé válhat az Északi-sarkvidék (Wang és Overland, 2009). A sarki jég csökkenés jelentős, 2,7 %/év, nyáron 7,9 %/év (Wang és Overland, 2009).

A sarki jég csökkenésének és a gleccserek visszahúzódásának következménye a tengerszint emelkedés. A vízszint emelkedés 1993 és 2014 között átlagosan 2,9-3 mm/év, ez közel kétszer akkora, mint 1963 és 1993 között (1,3 mm/év) (Watson *et al.*, 2015) (3.

ábra). Amennyiben az emelkedés nem mérséklődik, az egyes előrejelzések szerint a 21. század végére átlagosan 50-200 cm-rel emelkedhet a tengervízszint (ez függ a sarki jég olvadásának gyorsaságától) (Williams, 2013). A tengervíz savasabbá vált (pH értéke 0,1-0,2 %-kal csökkent) az iparosodás óta (NCADAC, 2013).



3. ábra A globális tengerszint emelkedés mértéke a '90-es évektől napjainkig a NASA műholdas és a Globális Tengerszint Megfigyelő Rendszer (Global Sea Level Observing System; GLOSS) állomásai által mért adatokból

A szárazföldekhez hasonlóan az óceánokban is egyre gyakoribbak az ún. óceáni hóhullámok, melyek száma 1982 és 2016 között megduplázódott. Az óceáni hóhullámok Ausztrália keleti partjainál a Nagy-korallzátony sekélyvízi koralljainak mintegy felét megölték, ennek jelentős hatása van a korallzátonytól függő más élőlényekre is (Frölicher et al., 2018).

Az IPCC Ötödik Helyzetértékelő Jelentésében (AR5) olvasható, hogy az elmúlt három évtized mindegyike melegebb volt az azt megelőző évtizedeknél és 2035-ig a globális átlaghőmérséklet valószínűleg további 0,3-0,7 °C-kal fog emelkedni. A hosszútávú, 2100-ig tartó időszak utolsó három évtizedében várhatóan átlagosan 1,5 °C-kal vagy akár 2 °C-kal is meghaladhatja a globális felszínhőmérséklet az iparosodás előtti szintet. A Jelentés is megerősíti, hogy az óceánok felső, 700 méterig terjedő szintje melegebb lett és az óceánok mélyebb szintjei is valószínűleg melegedtek (főleg a déli-félteke óceánjai). A Jelentés szerint a hó a felszíntől a mély óceánok felé fog terjedni és hatással lesz az óceáni cirkulációra is. Egyértelműen bizonyított, hogy a gleccserek tovább

olvadnak, és világszerte veszítenek tömegükből és kiterjedésükből, néhány kivételtől eltekintve. 2100-ra a méretük akár 85 %-kal is csökkenhet egyes forgatókönyvek szerint, pl. RCP 8.5 (IPCC, 2013). A Jelentés egyik legfontosabb megállapítása, hogy a 20. század közepe óta valószínűleg az emberi tevékenység is hatással volt a globális vízkörforgalomra, pl. nőtt a száraz időszakok hossza Eurázsia belső területein, illetve nőtt a csapadék az északi félteke közepes szélességein.

1950 óta számos szélsőséges időjárási és éghajlati eseményben figyeltek meg változásokat. Néhányat ezek közül az emberi tevékenységgel egyértelműen összefüggésbe hoztak a kutatók. Ilyen többek között a hideg szélsőségek csökkenése, a meleg szélsőségek extrém növekedése, illetve a szélsőséges időjárási események számának gyarapodása.

A fentiekben bemutatott hatásokon túl feltehetőleg az alábbi események bekövetkezését is eredményezi az éghajlatváltozás (Collins és Walsh, 2017; IPCC, 2007; AR5, 2014; Knutson et al., 2010, Lugo, 2009):

- A szavanna területeken növekszik a száraz időszak hossza és gyakran elmarad az évi nagymennyiségű esőzés.
- Hevesebb trópusi viharok (nem egyértelműen igazolt): A trópusi viharok száma nem növekedett és csökkent szignifikánsan az elmúlt évtizedekben. Azonban, az erősségük jelentősen növekedett. A legalább hármaskategóriába sorolt hurrikánból a hetvenes és a nyolcvanas években 16, illetve 17 volt, a kilencvenes évektől azonban egyre több: 27, a kétezresekben már 36 (ez az évtizedes történelmi rekord), a 2010-es években pedig egyelőre 22. Míg 25 éve egy észak-atlanti hurrikánnak átlagosan 60 órára volt szüksége, hogy elérje a (178 km/h-nál kezdődő) 3-as kategóriát, ma már 40 óra alatt felgyorsul erre a sebességre (Collins és Walsh, 2017, Lugo, 2009).
- A félszáraz élőhelyeken nő a tűzveszély, ezáltal a fitomassza éghetővé válik, így egyre nagyobb mennyiségű CO<sub>2</sub> kerül a légkörbe.
- Nagy változások történnek az ökoszisztémában és csökken a biodiverzitás.
- A víz pH csökkenése miatt jelentős a korall pusztulás, 2010-ig a korallzátonyok közel 20 %-a elpusztult.
- A vízkészletek elpárologása ivóvízhiányt okoz (pl. Szomália, Dél-Szudán).
- Csökkenő termőterületek, jelentős öntözés, talajromlás (szikesedés).
- Európában és Észak-Amerikában a szélsőségesebb időjárás melegebb, szárazabb (aszályos) nyarakat és enyhébb, csapadékosabb teleket okoz.

- A növények fenológiájának változása, az invazív növény és állatfajok markáns terjedése.

## 2.2. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS EURÓPÁBAN

Az éghajlatváltozásnak látható és érezhető jelei vannak a kontinensen. A WMO és az Európai Környezeti Ügynökség (EEA) jelentése szerint, az elmúlt 30 év átlaghőmérséklete ~1,5 °C-kal volt magasabb, mint az iparosodás előtt.

Európában kimutatható, hogy az északi és déli természetföldrajzi régiók között jelentős eltérés van az éghajlatváltozás hatásaira való érzékenység tekintetében (EEA, 2008). Az eddig is melegebb és szárazabb déli régiókat súlyosabban érintik a változások, mint a hűvösebb és csapadékosabb északi és nyugati régiókat.

Az európai régiókat érintő változások (EEA, 2008; Suzuki et al., 2005):

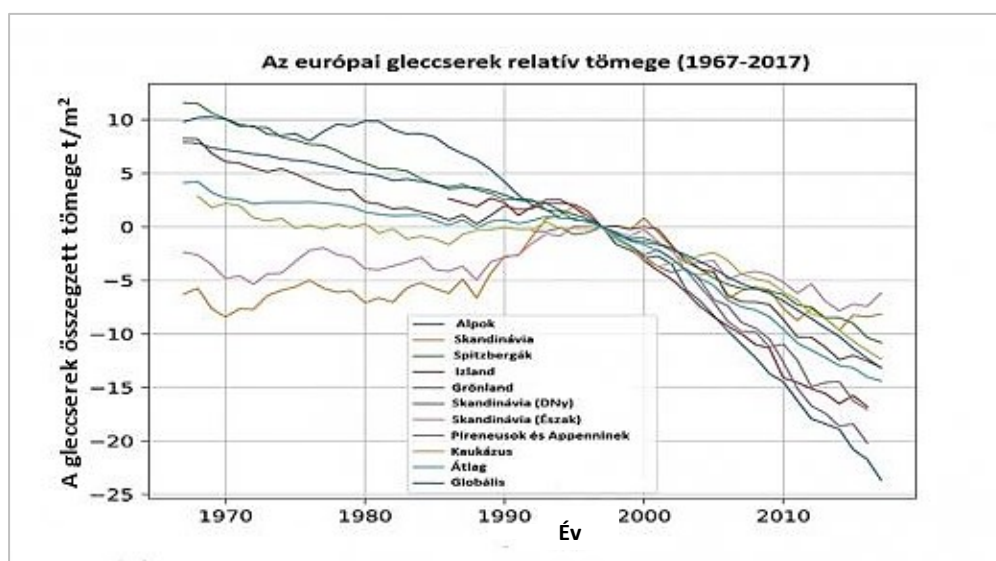
- *Atlanti régió:* növekvő parti erózió, áradások, téli viharok nagyobb kockázata, nyáron hőhullámok, élőhelyek átalakulása, turizmus javulása a hőmérséklet emelkedés miatt.
- *Közép-Európa régió:* hőhullámok növekedése és növekvő egészségügyi kockázata, téli és fagyos napok további csökkenése, blokkoló anticiklonok számának növekedése nyáron, terméshozam növekvő kockázata, biodiverzitás csökkenése.
- *Mediterrán régió:* Növekvő aszályos időszakok, erdőtüzek, erőteljes dezertifikáció, csökkenő vízenergia, nyári turizmus csökkenése, parti vizek növekvő sótartalma, hőhullámok növekvő egészségügyi kockázata, szikesedés.
- *Skandinávia és a boreális területek:* talaj víztelítettségének növekedése, növekvő parti erózió, téli viharok nagyobb kockázata, viharciklonok, téli sportok és síszezon rövidülése, kártevők téli áttelelésének javulása.
- *Sarkkörüli és tundra területek:* Kullancsok, szúnyogok populációjának növekedése, permafroszt területek olvadása.
- *Hegyvidék:* Visszahúzódó, eltűnő gleccserek, csökkenő hóborítottság, biodiverzitás csökkenése, síszezon rövidülése, növekvő kőomlás veszély, fluviátilis erózió.
- *Sztyeppe:* csökkenő terméshozam, növekvő tengerszint pozitív NAO esetén, hőhullámok, aszályos időszakok növekedése, erózió, elsivatagosodás.

A megfigyelt tendenciákkal összhangban a jövőben gyakrabban fordulnak elő extrém magas hőmérsékletű napok. Az éghajlat természetes változékonyságából adódóan azonban

ugyan ritkábban, de továbbra is számítanunk kell a múltbeli értékeknél hűvösebb nyarakra és hidegebb telekre is (IPCC, 2013).

Az éghajlatváltozás egyik következménye Európában, hogy nyáron egyre gyakoribbak a hóhullámok (Tomczyk, 2016). Az Országos Meteorológiai Szolgálat becslései szerint (a többi európai nemzeti meteorológiai szolgálattal összhangban) a hóhullámos napok száma a legoptimistább modellek szerint is a 21. század közepére legalább a múltbeli (1971–2000) érték kétszeresére növekszik, a század végére pedig az indikátor évi átlagos előfordulása megközelítheti az egy hónapot. A kiterjedt, megbízható európai meteorológiai mérések óta a kontinensen a legmelegebb nyarak 2015-ben, 2010-ben és 2003-ban voltak. 2003 nyarán a közvetlen halálos áldozatok száma a hivatalos becslések alapján eléri a 70 ezret (Beniston, 2004).

A jelentős felmelegedés valószínűsíthető eredménye, hogy az eddigi legjelentősebb olvadása a grönlandi és izlandi gleccsereknek 2012-ben, 2015-ben és 2016-ban volt az elmúlt 60 évben, illetve a sarki jég erőteljesebb olvadása (EEA, 2016; Engelhardt et al., 2013) (4. ábra).



4. ábra Az európai gleccserek tömegének változása (1967-2017) (Forrás: Copernicus Climate Change Service)

Télen a jelenleg még hóval borított területeken, a hótakaró jövőbeli csökkenése pozitív visszacsatolási folyamatot válthat ki, mellyel erősíti a melegedést. Dél- és Közép-Európa térségében a talaj nyári szárazodásával összefüggő visszacsatolási mechanizmusok

már napjainkban is fontos szerepet játszanak az éghajlati viszonyok kialakításában (*Christensen és Christensen, 2007*).

Az IPCC 2013-as jelentése alapján Európában a melegedés folytatódni fog az évszázad végéig, a legnagyobb melegedés Európa északi részén, télen, míg a mediterrán térségben nyáron valószínűsíthető. A melegedés tendenciája elérheti Észak-Európában a 2,3–5,3 °C-ot, Dél-Európában a 2,2–5,1 °C-ot (*IPCC, 2007, IPCC, 2013*).

A cirkulációs változások a nyugatias áramlás erősödése révén, télen, valamint nyár végén növelték a melegedés mértékét (*van Ulden és van Oldenborgh, 2006*). Az áramlás gyengülése következtében májusban és júniusban kissé csökkent a melegedés, melynek hatása Közép- és Kelet-Európában kevésbé érezhető, mint az Atlanti vagy a Skandináv régióban (*van Ulden és van Oldenborgh, 2006*).

A kontinensen nem csak a hőmérséklet és szélsőségei, hanem a csapadék is változik. Mivel a csapadék térben és időben eltérő, változékony paraméter – különösen a Kárpát-medencében –, ezért a kutatóknak nagyon fontos, hogy nagyszámú adat álljon rendelkezésükre.

A kontinensen Dél-Európa számít a legsérülékenyebb régióknak. A nyári szárazságok fokozódása és az elsivatagosodás egyszerre jelentkezik (*EEA, 2016*). A legtöbb klímaszenárió ebbe a térségbe várja a legjelentősebb csapadék csökkenést, míg Észak-Európában várhatóan emelkedni fog a lehullott csapadék mennyisége (*Bartholy et al., 2009a*). A mostani trendeknek megfelelően a legnagyobb csapadéknövekedés Észak- és Közép-Európában, télen várható (*Bartholy et al., 2009b*). A kontinens déli részén egyértelműen csökkenő tendencia jelentkezik, mely nyáron a legnagyobb mértékű. A csapadék csökkenés a nyári félévben, a mi régióinkban is megfigyelhető, mértéke eléri a 15-20 %-ot. A téli csapadék növekedés a nyugati áramlás erősödésére vezethető vissza, míg a nyári szárazabb viszonyok a keleties, anticiklonális helyzetek (blocking) következményeként jelennek meg (*IPCC, 2013*).

A nyári csapadékcsökkenés háttérében a kutatók több magyarázatot is találtak. Ilyen pl. a csökkenő talajnedvesség, melynek oka a tavaszi melegedés következtében jelentkező korábbi hóolvadás, illetve az, hogy a kontinentális melegedés a tengeri területekhez képest nagyobb mértékű (*van der Linden és Mitchell, 2009*).

Az "Éghajlatváltozás, hatások és sérülékenység Európában 2016-ban" (*Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016*) c. jelentés szerint az éghajlat megfigyelt változásainak szerteágazó hatásai már az ökoszisztémákban, a gazdaságban, valamint az emberi egészség és a jólét vonatkozásában is kimutathatóak a kontinensen.



### 2.3. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HAZÁNKBAN

Európa legsérülékenyebb területe Dél-Európa, ahol a jelentős hőmérséklet emelkedés és a csökkenő csapadékmennyiség együttes hatása olyan területeken jelentkezik, melyeken már most is vízhiánnyal küzdenek. Mivel Magyarország e régió határán fekszik, ezért hazánkban a klímaváltozás kockázatainak megítélésakor lényeges, hogy a Kárpát-medence az óceáni, a száraz kontinentális és a mediterrán éghajlati régió határán helyezkedik el (Károssy, 2004). E határzónában az éghajlati övek kisebb eltolódása is oda vezethet, hogy a Kárpát-medence és Magyarország átcsúszhat a három hatás valamelyikének erőteljesebb hatása alá (Ács *et al.*, 2013).

A műszeres megfigyelések nagyobb területen való elterjedése az 1860-as évek elejére tehető. Az azóta eltelt időszak Európára és Magyarországra vetítve az elmúlt 20 év volt, a legmelegebb, többségében 10 °C-ot meghaladó középhőmérsékletű évek voltak.

A magyarországi hőmérsékleti idősorok jellemzői jól illeszkednek a hőmérséklet globális tendenciáihoz, a kisebb terület miatt azonban a változékonyság nagyobb (Szalai *et al.*, 2005).

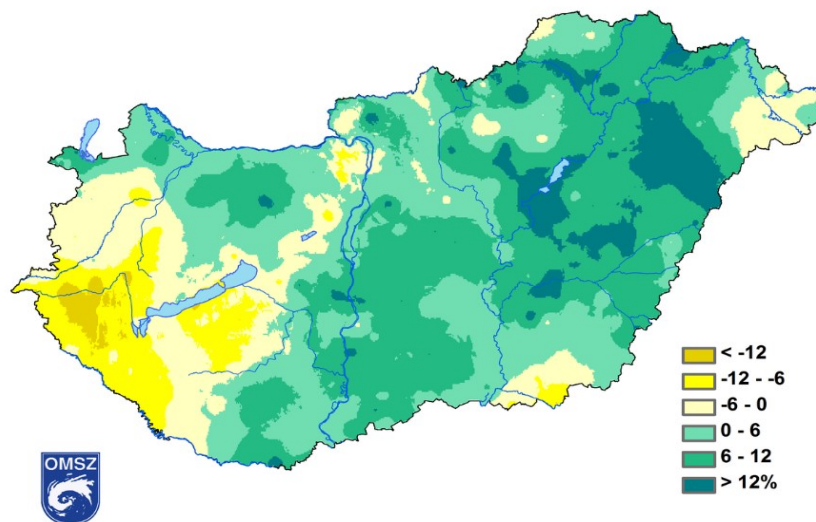
Az 1980-tól napjainkig tartó periódus a legintenzívebb melegedés korszaka, a jelen éghajlatot és a változás sebességét leginkább ezzel lehet jellemezni (Lakatos *et al.*, 2007).

Az évi középhőmérséklet területi eloszlása a következő (OMSZ adatok alapján): Észak-Alföld, Nyírség, Dél-Alföld, Dél-Dunántúl, Mecsek, Kisalföld térségében 1,6-1,8 °C, az ország többi részén 1,3-1,4 °C.

Az OMSZ jelentési alapján elmondható, hogy a tavaszi középhőmérsékletek a legutóbbi 30 évben jelentősen, 1,75 °C-kal nőttek. A melegedési tendenciát leginkább a nyarak hőmérséklete tükrözi, az utolsó 30 évben közel 2 °C-kal emelkedett az évszak középhőmérséklete. Előfordultak hűvösebb nyarak is, de ezek leginkább a 20. század első felét jellemezték. Az ősz esetében a lineáris melegedés 0,68 °C, mely nem egyértelmű, de jelentős, a tél középhőmérséklete 0,65 °C-kal emelkedett (Lakatos *et al.*, 2018).

A csapadék a Kárpát-medencében térben és időben eltérő paraméter, így a tendenciákat nehezebb kimutatni. Magyarországon az éves csapadék mennyisége csökken 110 éves idősoron, hazánkban Dél-Európához hasonló tendencia tapasztalható. Míg az évi középhőmérséklet az elmúlt 30 évben szignifikáns növekedést mutat, addig a csapadék változása nem mutatható ki egyértelműen (Lakatos *et al.*, 2018).

A múlt század közepétől végbement csapadékváltozás területi eloszlásában kijelenthető, hogy leginkább a Nyugat-magyarországi peremvidéken és a Dél-Alföldön csökkent a lehullott csapadék mennyisége, 10-15 %-kal (5. ábra).



5. ábra Az éves csapadékösszeg %-os változása 1961 és 2016 között (Lakatos et al., 2018)

A négy évszak összehasonlításában a legnagyobb csapadékcsökkenés tavasszal következett be, értéke megközelíti a 20 %-ot.

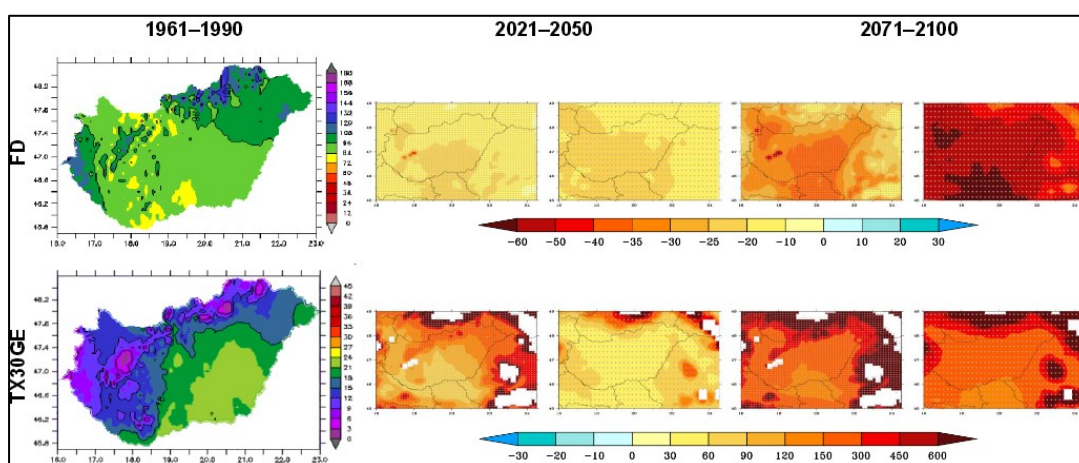
A mezőgazdaság szempontjából kritikus 500 mm-es szint alatti csapadék előfordulása gyakoribbá vált: ez 1901 és 1950 között 6 alkalommal, 1951 és 2000 között 10 alkalommal, 2001 és 2015 között 4 alkalommal, mely területi eloszlásban változó (Anda és Kocsis, 2010).

Szalai és munkatársai 2005-ös tanulmánya szerint tény, hogy az aszályhajlam Európán belül a mediterrán térségben növekszik, és hazánk éghajlata ebből a szempontból a déli szomszédjainkéval mutat hasonlóságot (Szalai et al., 2005). A cirkuláció várhatóan "anticiklonosabbá" válik majd, s ezzel együtt a nyári napfénytartam 10 %-kal emelkedik (mezőgazdasági szempontból pozitív változás) (Lakatos et al., 2014).

Az éghajlatváltozás következtében gyakoribbá váltak a szélsőséges, extrém időjárási események, és ugyancsak kedvezőtlen, hogy a kevés csapadék –különösen a nyári félévben- is egyenetlenebbül oszlik el. A tendencia valószínűleg a jövőben is folytatódni fog (Szépszó et al., 2012).

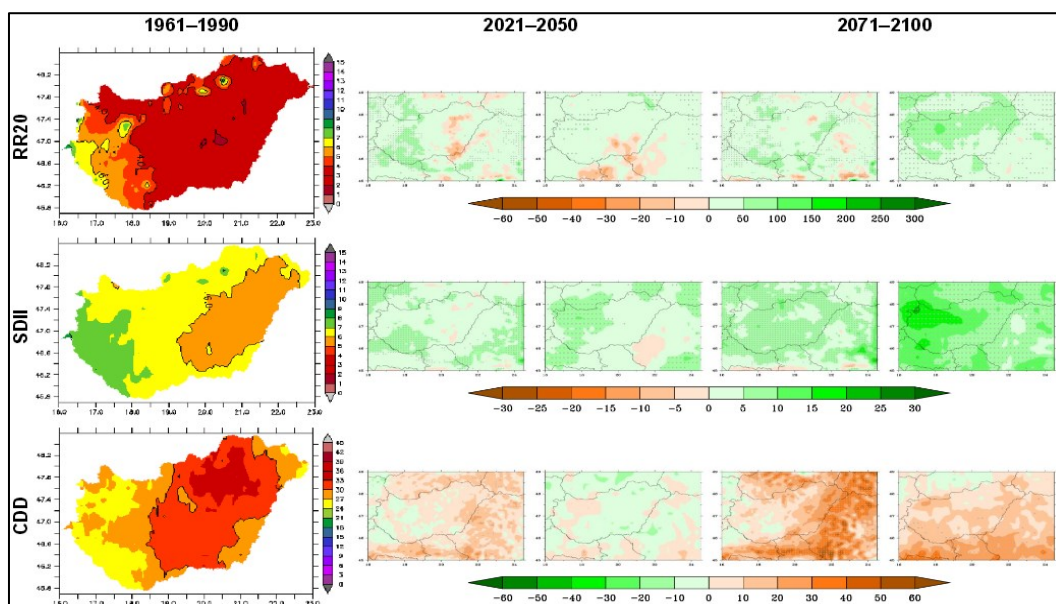
Az éghajlatváltozás várható tendenciája hazánkban 2100-ig (Bartholy et al., 2009b; Lakatos et al., 2014, Mokhov et al., 2014; Szépszó et al., 2012) :

- Egyes klímaszenáriók azt mutatják, hogy az euro-atlanti területeken egész évben – különösen télen és nyáron – gyakrabban fognak kialakulni erőteljes blokkoló anticiklonok. A növekvő anticiklonos helyzetek egyik releváns eredménye a csapadék nyári időszak alatti szignifikáns csökkenése és a hóhullámos időszakok növekedése és elhúzódása.
- Várhatóan 2050-ig további 1,5 °C-os évi középhőmérséklet emelkedés várható, a tendencia erősödése az évszázad második felében fokozódhat, mikor a hőmérséklet emelkedése elérheti a 2-2,5 °C-ot a Kárpát-medence nyugati területén.
- A csapadékváltozás is egyértelműen folytatódik. A nyári félévben az évszázad végéig 2,5-3 mm/nap átlagos csapadékcsökkenés prognosztizálható, a téli félévben átlagosan 3,5-4 mm/nap növekedés várható, különösen extrém emelkedés decemberben valószínűsíthető.
- A csapadék növekedésével egyidejűleg a hőmérséklet emelkedése is megfigyelhető a téli félévben és évszakban, így a csapadék halmazállapota mind inkább folyékony lesz szilárd helyett.
- A napi maximum- és a napi minimumhőmérséklet legnagyobb mértékben várhatóan nyáron fog növekedni, bár a modellbecslések legnagyobb bizonytalansága is pont erre az évszakra esik.



6. ábra A hőmérséklettel kapcsolatos szélsőindexek (fagyos napok, hőségnapok) várható változása két regionális klímamodell eredményei alapján 2021-2050-re és 2071-2100-ra az 1961-1990 időszakra szimulált átlagértékek százalékában. A statisztikailag szignifikáns változások helyét pontok jelölik (Szépszó et al., 2012)

- A fagyos napok száma (*FD*) várhatóan a jövőben is csökkenni fog, az évszázad végére elérheti a mai átlag felét (6. ábra). A várható csökkenés mértéke átlagosan 15-16 nap, illetve 45-50 nap a 21. század közepére és végére.
- A szélsőségesen meleg (nyári, hőség és forró) napok (*TX30GE*) esetében a várható változás mértéke a közeljövőre átlagosan 15-16 nap, az évszázad végére 38-40 nap.
- A várható melegedés egyértelműen növekedő tendenciát eredményezhet a vegetációs időszak hosszában.
- A 7. ábra mutatja a csapadékból származtatott szélsőségek változását két regionális klímamodell alapján.



**7. ábra** A csapadékkal kapcsolatos szélsőséges indexek mérések alapján számított átlagértéke (napban) az 1961-1990 időszakra, valamint két regionális klímamodell eredményei alapján várható változásuk 2021-2050-re és 2071-2100-ra az 1961-1990 időszakra szimulált átlagértékek százalékában. A statisztikailag szignifikáns változások helyét pontok jelölik (Szépszó et al., 2012)

- Az extrém nagycsapadékos napok száma (*RR20*) - mikor 24 óra alatt legalább 20 mm csapadék lehullik - az évszázad közepéig megduplázódhat, az évszázad végére akár 250-300 %-kal növekedhet, különösen nyáron és kora ősszel.
- A csapadék intenzitása (*SDII*) is növekedni fog a Kárpát-medencében.
- A száraz napok száma (*CDD*) megtriplázódhat az évszázad végére, bár ebben az egyes klímaszenáriók jelentős eltérést mutatnak.

## 2.4. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ÉS A NÖVÉNYEK FENOLÓGIAI VÁLASZADÁSA

A fenológia a növények és az állatok környezeti viszonyoktól függő, szabályszerű egymásutánban bekövetkező jelenségeinek vizsgálatával foglalkozó tudomány (Gilbert, 2015). A borszőlő (*Vitis vinifera* L.) esetében a fő fenológiai fázisok a rügyfakadás, virágzás, kötődés, zsendülés, érés + szüret, lombhullás.

A növények fejlődési fázisait az időjárás évente döntő mértékben befolyásolja. Mivel az időjárás évről-évre másként alakul, ezért a növények más-más (de közelítőleg hasonló) időpontokban érik el az adott fejlettségi szintjüket (Tonietto és Carbonneau, 2004). Ezen időpontok nélkülözhetetlenek az adott év és a jövőbeni termesztés, munkálatok és a termelés tervezésében, továbbá az agroklimatológiai vizsgálatokban. A hosszú, akár évtizedekre szóló növényfenológiai adatsorok nyomjelzőként mutatják az éghajlat változását, mivel a növények érzékenyen reagálnak az éghajlat akár kisebb módosulásaira is (Hajdu és Borbásné, 2009).

Az éghajlat melegedésének az ökoszisztémákra gyakorolt hatásait az Antarktiszon kívül, az összes kontinensen megfigyelték, és különböző hosszúságú fenológiai idősorok felhasználásával igazolták (Chmielewski és Rötzer, 2001; Visser és Both, 2005; Walther et al., 2002). Nagyon ritkák a hosszú 50 évet meghaladó adatsorok, de néhány értékes adatbázis így is található, pl. Root et al., 2003.

1957-ben a Nemzetközi Biometeorológiai Társaság kezdeményezésére Schnelle és Volkert létrehozták a fenológiai megfigyelő kertek hálózatát, mely ma is működik közel 89 kertből álló hálózattal (Schwartz, 2013). A több évtizedre kiterjedő növényfenológiai adatsorok alapján kimutatták, hogy a barack, cseresznye, alma, borszőlő, csemegeszőlő esetén a rügyfakadás évtizedenként 1-3 nappal korábbra tolódott, a virágzás 3-4 nappal (Menzel et al., 2003).

Magyarországon az MTA és az Országos Meteorológiai Szolgálat által az 1950-es évektől kezdődtek növényfenológiai megfigyelések, melyek a rendszerváltás után elsorvadtak, az ezredfordulón be is fejeződtek (OMSZ, 2017).

A növényfenológiai változások szoros összefüggésben vannak a megfigyelt hőmérséklet és csapadék változással. Az éghajlat melegedése különböző válaszidejű evolúciós módosulásra készítheti az élő rendszereket, változik a növények alkalmazkodó képessége, megváltozik az élő szervezetek szélesebb közösségi szerkezete és az ökoszisztéma működése (Galen és Stanton, 1993; Holfman és Parson, 1997; Hughes, 2000; Scholze et al., 2006). A hőmérséklet emelkedése felgyorsuló növényi fejlődést jelent,

csökken a biomassza felhalmozódása és több növény (pl. cseresznye, meggy) esetében kimutatták, hogy kevesebb lesz a termés (*Yasuyuki és Keiko, 2008*).

*Khanduri és munkatársai (2008)* az átmeneti évszakokban a 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 (*Khanduri et al., 2008*).

*Varga és munkatársai (2012)* úgy találták, hogy a 20. század végének hőmérsékletemelkedési tendenciája szoros összefüggésben van az akác és a bodza fenológiai adatsorainak alakulásával Közép-Európában. A termikus elemek értékeinek megfigyelt növekedése általában a fehér akác vegetációs időszakának meghosszabbodásával járt (*Varga et al., 2012*).

Európában a gyümölcsök esetében általában a melegebb ősz, korábbi gyümölcséréshez vezet, viszont késik a levelek öregedése, ezáltal rövidülhet a nyugalmi időszak (*Bergant et al., 2001; Cleland et al., 2007*).

*Dunne és munkatársai (2003)* a melegedéssel párhuzamosan több vadnövény esetében a korai rügyfakadás, növekedés és a virágzás gyorsulását dokumentálták az Amerikai Egyesült Államokban (*Dunne et al., 2003*). A tenyészidőszakban később fakadó növények esetében arról is beszámoltak, hogy nem reagálnak szignifikánsan a melegedésre, illetve a vizsgált később fakadó növények 38 %-ának változott csak a fenológiai fázisa észrevehetően (*Dunne et al., 2003*).

Az éghajlatváltozásra, azon belül is a gyors melegedésre és a csapadék csökkenésére rendkívül érzékenyen reagálnak a kárpát-medencei erdősök (*Rakonczai, 2011*). A fáknek nyáron van a legtöbb vízre szüksége a sejtépítés miatt, amelyre leginkább hatása van a klímaváltozásnak. Az egyre gyakoribb aszályok miatt a fák életereje gyengül, ritkul a koronájuk, levélzetük már nyár közepén száradni kezd. Ezzel párhuzamosan a melegedés miatt a kártevők életterei is elmozdulnak, és olyan területeken is megjelennek, ahol korábban nem voltak jelen. Ebből kifolyólag a klímaváltozás már a szárazságtűrő fafajokat is veszélyezteti (*Berki et al., 2007; Szalai és Mika, 2007*).

## 2.5. MATEMATIKAI MODELLEK ÉS ALKALMAZÁSUK

### 2.5.1 ÉGHAJLATI MODELLEK

A jövőbeli mezőgazdasági tervezések, fenológiai kutatások egyik legfontosabb segédeszköze az éghajlati modell. Az éghajlat fontos sajátossága, hogy fő jellemzőit csak részben alakítják a helyi, vagy regionális fizikai-földrajzi feltételek. Ennél általában nagyobb szerepet játszik a légkörzés teljes földi rendszere. Az éghajlat-alakító tényező, nem-lineáris differenciál-egyenletek rendszerével leírható rendjét az utóbbi évtizedekben egyre erősebben veszélyezteti a globális felmelegedés (*Mika, 1996; Mika, 2011*).

Az időjárás előrejelzését a légkör három alapvető fizikai mennyisége, a tömeg, az impulzusmomentum és a termodinamikai energia megmaradásának törvénye határozza meg (*Mika, 2011*). Az éghajlatot is ugyanazok a fizikai törvények irányítják, mint az időjárást (*Hantel, 2013*). Az éghajlati rendszer működésének és az abban zajló változások megértéséhez a légkör és a vele érintkezésben levő négy geoszféra kölcsönhatásban álló együttesét kell vizsgálni (*Dickinson, 1984; Pierce et al., 2009*).

A kutatók ma már olyan komplex és nagy adatigényű modelleket hoztak létre, mint pl. az óceáni modellek, a tengeri jég szimulációs modellje, a bioszféra, mint a felszínek fizikai jellemzőit befolyásoló összetevő modellezése stb. (*Gottelman és Rood, 2016*).

Az éghajlati modellek az éghajlat jelenlegi állapotának, változékonyságának és esetleges változásainak számszerű vizsgálatát biztosító kutatási eszközök. Legfejlettebb típusai az általános cirkulációs modellek, amelyek az anyag, az energia és az impulzusmomentum megmaradását leíró egyenleteken alapulnak (*Mika, 2011*).

A modellek képesek a légkör és az óceán fizikai állapotjelzőiben érvényes övezetes elrendeződés sokszorosítására, a globális átlaghőmérséklet külső tényezőkkel szembeni érzékenységének legfeljebb 50 százalékos bizonytalanságú meghatározására és a globális éghajlatváltozások reprodukálására. Ugyanakkor, a megfigyelési és számítási korlátok által behatárolt fizikai tartalom miatt, ma még nem elég pontos az éghajlat regionális léptékű szimulációja, és kevésbé megbízhatóak a nagyfokú változásokkal (*Mika, 2011*).

A globális klímamodellek (*GCM*) a fizikai törvényszerűségeken túl a klimatikus viszonyokat nagymértékben befolyásoló gazdasági és társadalmi folyamatok jellemzésére szolgáló úgynevezett alapszenáriók feltételrendszerére épülnek (*IPCC, 2007, IPCC, 2013*).

Négy alapszenáriót dolgoztak ki. Ezek a következők (*IPCC, 2007*):

- A1: globális gazdasági scenárió (a gazdasági-társadalmi problémákra elsősorban globális és rövidtávon is gazdaságos megoldások születnek).

Ezt további három részre bontották:

- o A1F1: fosszilis intenzív használat
  - o A1B: egyensúly a fosszilis és a megújuló energiaforrások között
  - o A1T: megújuló energiaforrások dominanciája
- A2: gazdasági regionális scenárió (a gazdasági-társadalmi problémákra elsősorban regionális megoldások születnek)
  - B1: globális környezeti
  - B2: regionális környezeti scenárió (a gazdasági-társadalmi problémákra elsősorban regionális és rövidtávon nem feltétlenül gazdaságos, a környezet védelmét előtérbe helyező megoldások. Ez a legvalószínűtlenebb a globális gazdasági érdekek és a politika miatt).

Az A1 forgatókönyv (legvalószínűbb) három alcsoportja közül leggyakrabban az A1B emissziós scenáriókat alkalmazzák. Ez egy olyan jövőt prognosztizál, amelyben a népességszám 2050-ig gyors ütemben növekszik, a populáció eléri a 9 milliárdot, 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 (*Harnos et al., 2008*). Továbbá feltételezi a fosszilis és megújuló energiaforrásokra támaszkodó energiatermelő rendszerek technológiai fejlődését, különösen a fejlett világban (*IPCC, 2007*). Az A1B forgatókönyv tehát egy mérsékelten optimista és egy mérsékelten pesszimista jövőkép (*Harnos et al., 2008*).

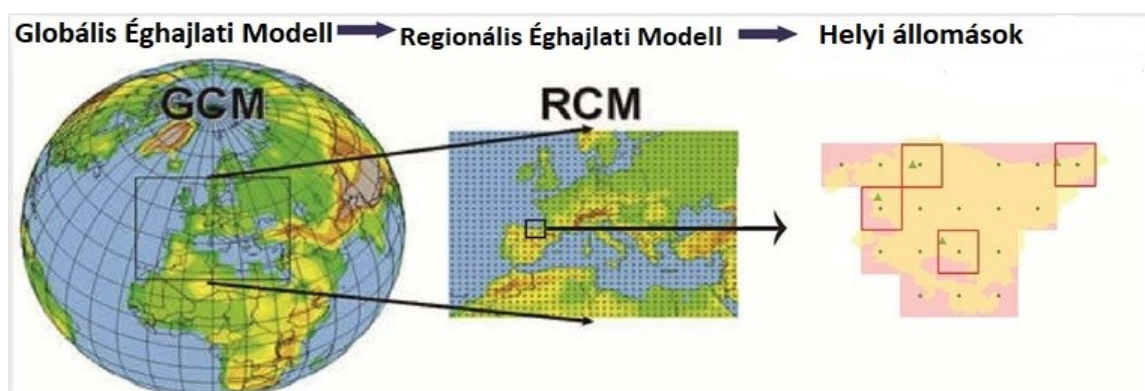
Az IPCC 2013-as jelentésében változtattak és fejlesztették az alapszenáriókat, ebben már figyelembe vették a mitigációt is, frissítették a forgatókönyveket,  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  felbontásban megadták a felszínborítottság-földhasználati tulajdonságokat és a légszennyező anyagokat, továbbá a jövőre vonatkozó éghajlati projekciókat (*RCP*) kiterjesztették a 2100-2300 közötti időszakra (*IPCC, 2013; van Vuuren et al., 2011*).

Jelenleg is számos kutatás, vizsgálat folyik, amelyek alapjául az *RCP (Representative Concentration Pathway)* scenáriók szolgálnak. Az *RCP*-k egyedülállóan részletes és átfogó adatot biztosítanak az éghajlati modellek projekcióihoz, mind térbeli felbontás, mind információtartalom tekintetében. A létrehozásukkor támasztott követelményeknek teljes mértékben megfelelnek, hiszen amellet, hogy a szakirodalomban fellelhető összes



forgatókönyvet megfelelően képviselik, figyelembe veszik az éghajlatváltozás módosítására törekvő szabályozásokat és rendelkezéseket, továbbá viszonylag nagy földrajzi pontossággal ábrázolják a jövőbeli viszonyok térbeli eloszlását (Mester, 2015).

A regionális éghajlatváltozás a globálissal ellentétes lehet, ezért a finomabb térbeli eredmények elérésének érdekében nagyobb felbontású regionális (korlátos tartományú) modellek használatosak, tehát a globális információk finomítása (Moss *et al.*, 2010) (8. ábra).



8. ábra A globális klímamodellek regionális leskálázása (IPCC, 2013; IS-ENES)

A globális információk finomítása szükséges, mely két módon történhet (Jacob *et al.*, 2013):

- statisztikus-empirikus leskálázással,
- dinamikai módszerekkel (finomabb felbontású cirkulációs modellek és regionális modellek).

A regionális modellek is a légköri folyamatokat szimulálják, kisebb területre koncentrálódnak, 10-25 km felbontásúak (a globális éghajlati modellek esetében 100-200 km a vízszintes rácssűrűség), de van példa ennél részletesebb leírást használó alkalmazásra is, melyek segítségével a folyamatok pontosabban leírhatók (Jacob *et al.*, 2013; Lindstedt *et al.*, 2015). A globális modellektől eltérően a domborzati viszonyokat, felszíni jellemzőket részletesebben figyelembe veszi.

Egy éghajlati modell (globális és regionális) telepítését követően azt először alapos tesztelésnek kell alávetni, hogy meghatározzák azokat az optimális beállításokat, amelyekkel jó minőségű hosszútávú szimulációk készíthetők. A vizsgálatok során

alapvetően a modell felbontására, regionális modell esetén a tartomány méretére és elhelyezkedésére, valamint az alkalmazott fizikai közelítő módszerekkel fókuszálnak (Szépszó *et al.*, 2015).

Magyarországon az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) és az ELTE TTK vesz részt klímaprojekciókban. Az OMSZ a 10 km felbontású ALADIN és a 25 km felbontású, a hamburgi Max Planck Intézetben kifejlesztett REMO-t alkalmazza (Szépszó és Horányi, 2008; Szépszó *et al.*, 2015). Az ELTE az éghajlatváltozás hazai jellemzőinek vizsgálatára a 25 km felbontású PRECIS-t és a 10 km felbontású RegCM-et használja (Bartholy *et al.*, 2009, 2010; Pieczka, 2012). Ezekon kívül pl. városi környezet modellezésére az NCEP és az NCAR kooperációjában kifejlesztett WRF időjárás előrejelző modellt is használják (Göndöcs *et al.*, 2017).

Bár a rácsponatok sűrítésével előállított regionális klímamodellek bizonytalansága az idők során nagymértékben csökkent, még mindig elég magas maradt, azonban nagy segítségére lehet az agroklimatológiai és növényfenológiai vizsgálatoknál a szakembereknek, döntéshozóknak és a gazdáknak.

### 2.5.2. FENOLÓGIAI MODELLEK

A növényfenológiai jelenségek bekövetkezésének ismerete fontos elméleti szempontból, mert a növényekre gyakorolt külső környezeti hatások megítéléséhez mindenekelőtt azt kell tudnunk, hogy a növény milyen fejlettségi állapotban van (Varga-Haszonits és Varga, 2013). A fejlettségi állapot számszerű formában adja meg a növény fiziológiai korát, amelyhez morfológiai jelenségek kapcsolódnak (Penning de Vries *et al.*, 1989; Varga-Haszonits és Varga, 2013). Emellett a fejlettségi állapot nem egyszerűen csak az idő által meghatározott kort fejez ki, mert egyes környezeti tényezők, mint pl. a hőmérséklet, felgyorsíthatják vagy lelassíthatják a növény fejlődésének ütemét, s ennek megfelelően ugyanabba a fejlettségi állapotba hol korábbi, hol pedig későbbi időpontban ér el (Varga-Haszonits és Varga, 2013).

Ezáltal az 1960-as, 1970-es években a nagy nyugati kutatóintézetek felismerték a fenológiai kutatások fontosságát. Míg korábban főleg az erdészeti tudományok területén voltak elterjedtek a fenológiai modellek, ma már a lágyszárúak és a gyümölcsök esetében is használják (Hlaszny, 2012).

A fenológiai modelleket az éghajlatváltozás hatásainak kutatásában először az 1980-as években használták (Hlaszny, 2012).

A fenológiai modellekre szükség van az ökoszisztémák környezeti szolgáltatásának becsléséhez, előrejelzéséhez és a szükséges helyreállítást célzó stratégiák kidolgozásához, ezen túlmenően a fajok térbeli és időbeli elterjedése az éghajlat szezonális változásának függvényében (*Kramer et al.*, 1996). A fenológiai modellekben a hőmérséklet a legfontosabb szabályozó változó, amely meghatározza a különböző fejlődési szakaszok időszerűségét (pl. rügyfakadás, virágzás, zsendülés) (*Lieth*, 1971, *Kramer et al.*, 1996).

A fenológiai modelleknek három típusát különböztetjük meg az egyes fenofázisok kezdetét illetően. Ezek az elméleti modellek, a folyamat alapú modellek és a statisztikai modellek. Folyamat alapú és statisztikai fenológiai modelleket használnak a múlt éghajlati változásainak rekonstruálásához történelmi fenológiai közép- és hosszútávú idősorokat felhasználva (*Jones és Davis*, 2000).

Ma már a tudományos világ nagy része egyetért azzal, hogy nincs olyan egyszerű fenológiai modell, mely minden növényfaj rügyfakadását és virágzását pontosan előrejelzi. Ezt először *Chuine és munkatársai* írták le, akik nyolc rügyfakadási modellt hasonlítottak össze (*Chuine et al.*, 1999). A fenológiai modellezéshez négy lépést fogalmaztak meg: a modell meghatározását, hogy milyen fenológiai fázist és fajtát akarnak vizsgálni, az adatgyűjtést, a modell "kalibrálását" az adatokhoz és a modell hipotézisének tesztelését (*Chuine et al.*, 1999). Az adatgyűjtés történhet a természetben, ültetvényeken vagy fenológiai kertekben, illetve üvegházi kísérletek során.

A szakirodalomban 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, *Hlaszny*, 2012). Ezek a hőösszegeken alapuló fenológiai modellek. A legtöbb modellben közös, hogy a bázishőmérséklet +10 °C és e feletti hőösszegeket akkumulálnak egy kritikus érték eléréséig (*Hlaszny*, 2012). Fontos szempont, hogy az akkumulálást mely időponttól kezdik, ezt a legtöbb esetben január elsejére teszik (*Riou*, 1994).

A hőösszeg modellek közül a legismertebbek az 1944-ben kialakított és fejlesztett Winkler-index, mely a +10 °C bázishőmérsékletet meghaladó hőösszegek alapján definiálja a régiókat (*Winkler et al.*, 1974). A 2000-es évek elejére készült el a *Growing Degree Day (GDD)* modell, melynél az akkumulált napi átlaghőmérsékletet számolják a bázishőmérséklet felett, január elsejétől (*Bonhomme*, 2000). A kutatások során számos hőösszeg és folyamat modellt fejlesztettek ki, többek között pl. a *Growing Degree Hours (GDH)* modellt, a hideghatás modelljét (*Cold Action Model*), a Brin-modellt, a Riou-

modellt, Pouget-modelljét stb. (Bidabe, 1965; Liennard, 2002; Pouget, 1968; Richardson et al., 1975; Riou, 1994).

## 2.6. ÉGHAJLATI PARAMÉTEREK ÉS INDIKÁTOROK A SZŐLŐTERMESZTÉSSEN

A szőlészet-borászat ágazatában a borvidékek jellemzésére és a szőlő igényeinek kifejezésére, az éghajlatváltozás hatásainak megfigyelésére úgynevezett klimatikus paramétereket és indikátorokat alkalmaznak. Az éghajlati paraméterek és az indikátorok elemzéséhez több évtizedes klimatológiai adatsorokat használnak fel. Ezek közvetlenül kapcsolhatók a növényi válaszadás jelleméhez (Botos és Hajdu, 2004). Az indikátorok segítségével a növényi válaszadás pontosabban leírható. Az éghajlati paraméterek vizsgálatával a jövőbeni termeszthetőségi feltételekre, illetve a kockázati tényezőkre következtethetünk (Menzel, 2005). Minden esetben statisztikailag tisztított, hosszútávú adathalmazra van szükség az indikátoranalízishez.

Az indikátorok elemzéséhez figyelembe kell venni, hogy a szőlő érzékenyen reagál az éghajlat módosulásaira, mivel csak egy szűk területen termeszthető és a kisebb változások is a termés minőségi és mennyiségi kockázatát képezik (Frankel, 2014).

A szakirodalom segítségével összegyűjtöttem az európai szőlőtermesztésben használt hőmérsékletből és a csapadékból kalkulált legfontosabb szélsőséges éghajlati paramétereket. Ezeket az 1. táblázat tartalmazza.

**1. táblázat A szőlőtermesztés klimatikus vizsgálatánál használt leggyakoribb általános éghajlati paraméterek (Karl et al., 1999)**

Megnevezés	Definíció
Nyári napok	$T_{\max} > 25\text{ °C}$
Hőségnapok	$T_{\max} > 30\text{ °C}$
Forró napok	$T_{\max} > 35\text{ °C}$
Trópusi éjszakák	$T_{\min} > 20\text{ °C}$
Fagyos napok	$T_{\min} < 0\text{ °C}$
Téli napok	$T_{\max} < 0\text{ °C}$
Zord napok	$T_{\min} < -10\text{ °C}$
Nagy csapadékú napok	$R_{\text{nap}} > 10\text{ mm}$
Extrém nagycsapadékú napok	$R_{\text{nap}} > 20\text{ mm}$
Száraz időszakok maximális hossza	$R_{\text{nap}} < 1\text{ mm}$
Csapadékinzintezés	Az időegység alatt lehullott csapadék mennyisége (mm/h)

A szőlőtermesztés területén használt éghajlati indikátorok közül a legfontosabbak a következők:

- Januári középhőmérséklet ( $M_{jaT}$ ): A kényszernyugalmi időszakról ad hasznos információkat.
- Júliusi középhőmérséklet ( $M_{juT}$ ): A zsendülés utolsó ciklusa, és az érés kezdeti időszaka. A bogyók cukortartalmát és savtartalmát befolyásolja.
- 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 (*Hlaszny, 2012; Jones et al., 2009*).
- Huglin-index ( $HI$ ): a borvidékek számára kialakított, majd finomított és pontosított bioklimatikus meleg-index, amely a 10 °C-ot meghaladó középhőmérsékletű napok április 1. és szeptember 30. közötti összegét adja meg, a 40-50° szélességi körök között változó fotoperiódust figyelembe véve (*Hoppmann, 2010*).

A Huglin-index kalkulációja a következő az északi féltekére (*Huglin, 1986; Maaß és Schwab, 2011; Mullins et al., 1992*):

$$HI = K \cdot \sum_{04.01.}^{09.30.} \frac{(T_{\text{átl}} - 10) + (T_{\text{max}} - 10)}{2}$$

- Winkler-index (skála) ( $WI$ ): Azon az alapelven működik, hogy a szőlő nem képes +10 °C alatt növekedni. Az április 1. és október 31. közötti időszakot veszi figyelembe (vegetációs időszak) napi lebontásban. Winkler a földrajzi területeket öt éghajlati régióra osztotta.

Ezek a következők:

- Hűvös régió:  $WI \leq 1390$
- Mérsékelt:  $1391 < WI \leq 1670$
- Meleg mérsékelt:  $1671 < WI \leq 1940$
- Meleg:  $1941 < WI \leq 2220$
- Forró:  $2220 < WI$

A Winkler-index kalkulációja (*Winkler et al., 1974*):  $\sum_{04.01.}^{10.31.} \max[(T_{\text{átl}} - 10); 0]$

- A tenyészidőszak alatti közép- (*GSAT*), maximum- (*GSATX*), és minimumhőmérséklet (*GSATN*): A növény növekedési és reprodukív életciklusában meghatározza a fenológiai fázisok dinamikáját, főleg az érés gyorsaságát. Mind három indikátor az április 1. és október 31. közötti időszakban használatos.
- Szüretidei maximum (*HMX*)- és minimumhőmérséklet (*HMN*) indikátor: A borszőlőt ért hőstresszről adnak információt a június 1. és szeptember közötti időszakban.
- Az érésidei középhőmérséklet-indikátor (*RAT*): az augusztus 15. és október 15. 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 (*Hlaszny, 2012; Jackson és Lombard, 1993*).
- Radiotermikus-index (*R-index*): Egy-egy táj, tájrész, borvidék borszőlőtermesztésre való alkalmasságát a hőmérséklet-napsugárzás közötti kapcsolat kifejezésére szolgáló úgynevezett radiotermikus-index-szel (*R-index*) is számszerűen jellemezhetjük. Úgy is megfogalmazható, hogy az egységnyi sugárzásra eső hőmérsékletváltozást fejezi ki. Mivel a szőlő számára szükséges optimális meleg mennyiség nem feltétlenül jár együtt nagy sugárzás értékkel, illetve napfényben gazdag időszakokban is előfordulhatnak alacsony, kedvezőtlen hőmérsékletek, ezért dolgozták ki szakemberek a radiotermikus-indexet (*Dunkel et al., 1981*). Az *R-index* értéke megfelel egyes termőhelyeken a szőlő hőmérséklet- és sugárzásellátottságának térbeli és időbeli jellemzésére.

$$R = \left( A \cdot \frac{G}{n} \right) \cdot 10^{-2}$$

**A** a vegetációs időszak aktív hőösszege (°C),

**G** a globálsugárzás a vegetációs időszak alatt (J/cm<sup>2</sup>),

**n** a vegetációs időszak hossza évenként (*Dunkel et al., 1981*).

- Hideg éjszaka index (*CNI*): a szeptemberi minimum-hőmérsékletek átlagát jelenti.
- Tavaszi fagyos napok száma (*NSFD*): A március 1. és május 31. közötti fagyos napokat veszi figyelembe. *Hajdu és Borbásné 2009-es tanulmánya* szerint a 0 °C alatti hőmérséklet súlyosan károsítja az éppen kifakadt rügyeket, vagy már az

intenzíven növekvő hajtásokat a rajtuk fejlődő virágzatokkal együtt (Hajdu és Borbásné, 2009).

- Őszi fagyos napok (NFFD): A kora őszi fagyok (szeptember vége, október) kontinentális éghajlaton, így a Kárpát-medencében is lerövidíthetik a vegetációs időszakot. A lombhullást a fagyok gyorsíthatják (Hajdu és Borbásné, 2009).
- Gladstones-féle Tavasz Fagyindex (SFIg): A tavaszi fagy kockázatának becslésére az egyik legmegfelelőbb indikátor. Az áprilisi átlagos maximumhőmérsékletek, átlagos minimumhőmérsékletekből és a hónap legalacsonyabb éjszakai értékéből kalkuláljuk (Gladstones, 1992).

$$SFIg = \frac{AT_{max} + AT_{min}}{2} - \min T_{min}$$

**AT<sub>max</sub>** = havi átlagos maximum hőmérséklet

**AT<sub>min</sub>** = havi átlagos minimum hőmérséklet

**min T<sub>min</sub>** = legalacsonyabb hajnali hőmérséklet április hónapban

- Wolf-Boyer-féle Tavasz Fagyindex (SFIwb): Kalkulálása hasonló, mint a Gladstones-féle Tavasz Fagyindex, csak itt a minimumhőmérsékletek átlagát vonjuk ki.
- A Gladstones Tavasz Fagyindexen túl pontosabban is megbecsülhető egy adott termőhely tavaszi fagykockázata.

Ezek a következők:

- $T_{min4i5}$  = átlagos minimum hőmérséklet április-május hónapban
  - $T_{min+5 4i5}$  = átlagos minimum hőmérséklet április-május hónapban a talaj felett 5 cm-es magasságban
  - $T_{min+50 4i5}$  = átlagos minimum hőmérséklet április-május hónapban a talaj felett 50 cm-es magasságban.
- Szőlő Fagyindex (F8D): A -8 °C alatti napok száma.
  - Szőlő Súlyos Fagyindex (FSI5D vagy F-15D): A -15 °C alatti napok száma. A szőlő különböző súlyosságú fagykockázatának szempontjából különösen fontos a -8 °C, illetve a -15 °C alatti minimumhőmérsékletű napok száma. Mindkét indikátort a november 1. és a jövő év október 31. közötti időszakra vizsgáljuk.

- Hőmérsékleti Terjedelem (*DR*): Értékéből a júliusi hőmérsékletingadozásra következtethetünk. Túlságosan magas hőingás nagyobb stresszel jár a növény számára.
- Evapotranspirációs index (*Ribéreau-Gayon-Peynaud index*): Franciaországban a Bordeaux-i borvidéken használják a bogyók és a bor sav és cukortartalmának becslésére (*Ribéreau-Gayon et al., 1975*).
- Évi csapadékmennyiség (*AR*): A január 1. és december 31. között lehullott csapadék mennyisége. Egy átlagos, közelítő értéket ad.
- Tenyészidőszaki csapadék (*GSRD*): A vizsgált borvidék csapadékos napjainak száma adott évben a tenyészidőszak ideje alatt.
- Tenyészidőszaki lehullott összes csapadék (*GSR*): A vizsgált borvidéken a tenyészidőszak ideje alatt lehullott csapadék mennyisége.
- Nyári csapadékmennyiség (*SR*): A június 1. és augusztus 31. között lehullott csapadék mennyisége.
- Téli csapadékmennyiség (*WR*): A november 1. és február utolsó napja között lehullott csapadék mennyisége.
- Virágzás ideje alatti csapadék (*BPR*): A május 15. és június 15. közötti csapadékmennyiség.
- Érésidő alatti csapadékmennyiség (*RPR*): Augusztus 15. és október 15. között lehullott csapadék mennyisége.
- Hótakarós napok száma (*SD*): A november 1. és március 31. közötti hótakarós napok száma, azaz a felszínt hó borítja.
- Légköri Szárazsági Index (*LSZI*): A növényekben légköri szárazság hatására olyan fiziológiai változások zajlanak, amelyek gyakran a növény egyes részeinek (virág, hajtások, fűt, szár) teljes pusztulásához vezethetnek. Ehhez a hőmérsékletnek 25 °C fölé kell emelkednie és a levegő nedvességtartalmának 40 % alá kell csökkennie. Az *LSZI* képlete a következő (*Lakatos et al., 2005*):

$$LSZI = \frac{T_{\text{átl}}}{25} \cdot \frac{40}{RT_{13h}}$$

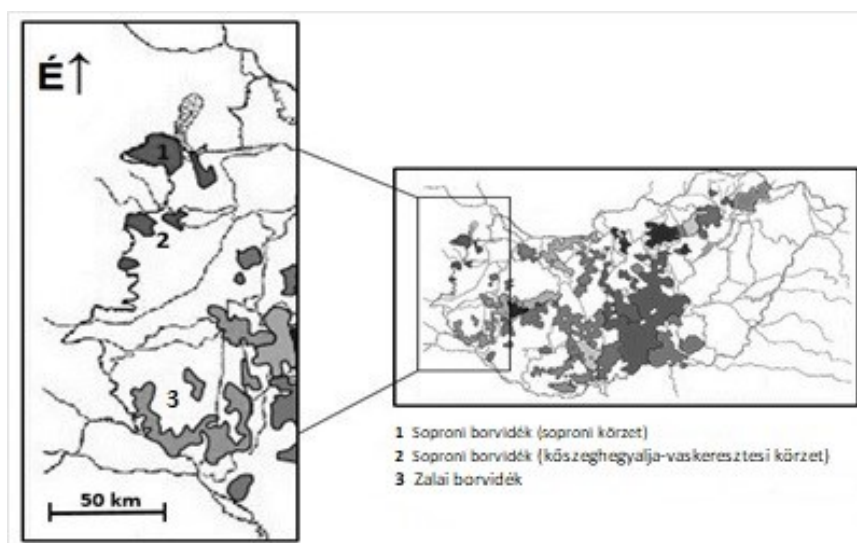
$T_{\text{átl}}$  = napi átlaghőmérséklet (°C)

$RT_{13h}$  = relatív páratartalom (%).



### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1. A KUTATÁSI TERÜLET



9. ábra A vizsgált borvidékek elhelyezkedése

A vizsgált terület a Kárpát-medence és Magyarország nyugati területén található két történelmi borvidék, a Soproni és a Zalai (9. ábra). Mindkét bortermő terület a Nyugat-magyarországi Peremvidék része.

A felhasznált adatok a Soproni borvidék soproni és kőszeghegyalja-vaskeresztesi körzetéről, illetve a Zalai borvidék teljes területéről származnak.

#### 3.1.1. A SOPRONI BORVIDÉK

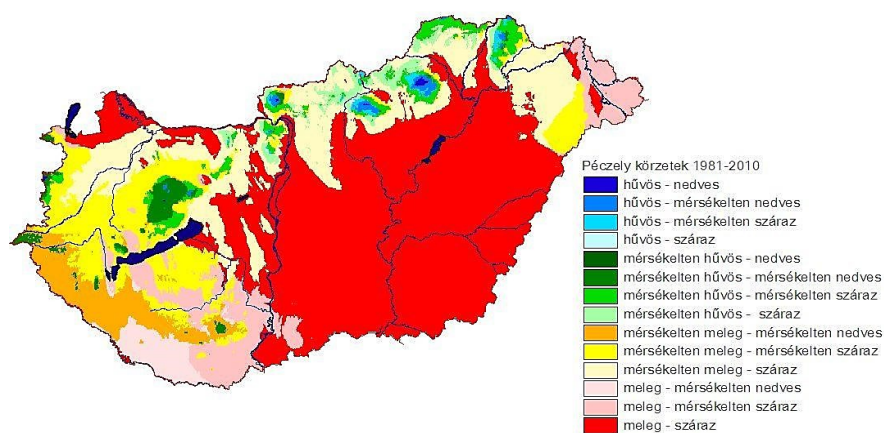
##### 3.1.1.1. GEOMORFOLÓGIA, TALAJ

A Soproni borvidék hazánk egyik legrégebbi történelmi borvidéke. A szőlészet-borászat már a római korban megjelent a régióban, de az egyes történelmi feljegyzések a keltáig vezetnek vissza a szőlőművelés elterjedését. A borvidék nagy része a Soproni-hegységhez és csak kisebb része tartozik Kőszeghegyaljához és Vas-hegyhez. A borvidéket két nagy körzetre lehet felosztani. Az egyik a soproni (kb. 1500 hektár), a másik a kőszeghegyalja-vaskeresztesi körzet (kb. 300-350 hektár). A borvidék szőlőtermő területének átlag magassága 230-300 m. Egyik körzet sem a legalkalmasabb borszőlő termesztéshez talajtani szempontból (Németh et al., 2013).

A soproni körzet területén a Soproni-hegységen, a Fertőmelléki-dombságon és még a Soproni-medence lejtőin is természetnek szőlőt. A soproni-körzet nagy része savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj, amely a területének 82 %-át foglalja el, míg kisebb részét agyagbemosódásos barna erdőtalaj borítja és csak 2 %-át kiváló minőségű öntéstalaj (Dövényi, 2010).

A kőszegi-körzet – természetföldrajzi szempontból – területének nagy része a Nyugat-magyarországi peremvidékhez tartozik. A terület geomorfológiai szempontból erősen tagolt átmeneti terület, ahol az idősebb rögök, a fennsíkszerű hegyláb felszínek, az alacsonyabb dombságok, a megsüllyedt medencék, a csermelyes völgyek egyaránt megtalálhatóak. Az Alpokalja legmagasabb és legnagyobb relatív reliefű középhegysége az 548 méteres átlagos tengerszint feletti magasságú, hegygerincekkel és szurdokvölgyekkel tagolt Kőszegi-hegység. Itt található a Dunántúl legmagasabb pontja, az Írott-kő (882 m). A körzet legidősebb képződménye, a Vas-hegy, melynek a legősibb maradványa a devonkorból származó dolomit és mészkő. Fennsíkszerű, dombsági területek közé tartozik a Pinka-sík és a Felső-Őrség. A Rába-völgy metszi az Alpokalja területéről az erősen szabdalt dombsági Vasi-hegyhátat. A körzet "központja" Kőszeghegyalja, a Kőszegi-hegység déli-délkeleti fekvésű, gyengén tagolt fennsíkos hegyláb felszíne. A kőszeg-vaskeresztesi körzet nagy részén agyagbemosódásos barna erdőtalajok találhatóak, amelyek erősen savanyú és rossz vízgazdálkodású talajok, de a területükön mégis mezőgazdasági tevékenység folyik (Dövényi, 2010).

### 3.1.1.2. ÉGHAJLAT



10. ábra Magyarország éghajlati körzetei Péczeley osztályozási rendszere szerint (1981-2010) (Bihari et al., 2015)

A Soproni borvidék éghajlata változékony. Ha a Kárpát-medencét valamely, globális rendszerezésre szolgáló éghajlati felosztás (Köppen, Trewartha-féle osztályozás) szerint szeretnénk besorolni, bármelyiket is alkalmaznánk az ország területére, az alkalmatlan lenne hazánk egyes nagy- és kistájai közötti éghajlati különbségek feltárására (Bartholy *et al.*, 2011). Ezért más osztályozási módszert kell követnünk. Ezt Péczely György munkája alapján tehetjük meg, aki – az ariditási index és a vegetációs időszak figyelembevételével – 16 éghajlati körzetet különített el (Károssy, 2004) (10. ábra).

Mivel a borvidék a Kárpát-medence nyugati területén fekszik, ezért a Péczely-féle éghajlati osztályozási rendszer szerint területének közel 85 %-a tartozott a mérsékelt nedves-mérsékelt hűvös éghajlati körzethez, azonban az éghajlatváltozás következtében az 1981-2010 közötti időszak átlaga alapján Kőszeghegyalja, Vas-hegy és a Vasi hegyhát déli területének éghajlata mérsékelt nedves-mérsékelt hűvös kategóriához tartozik.

Az évi középhőmérséklet 10,3-10,4 °C (Puskás *et al.*, 2011), az évi átlagos csapadékösszeg pedig 720-730 mm körüli (a kőszeg-vaskeresztesi körzet a csapadékosabb) (2. táblázat). A napsütéses órák száma 1800-1850 óra (Puskás és Károssy, 2013). Ha csak e három paraméter éghajlati törzsértékét nézzük, akkor megállapítható, hogy nem a legideálisabb hely a jó minőségű borszőlő termesztéséhez, mivel a legtöbb borszőlőfajta számára alacsony az évi középhőmérséklet, sok a csapadék és a szükségesnél kevesebb a napsütéses órák száma.

2. táblázat A Soproni borvidék éghajlati jellemzői az utolsó lezárt kerek 30 évtizedre vetítve. Megjegyzés: a havi napsütéses órák száma a szombathelyi OMSZ adatokat mutatja, adathiány miatt (OMSZ és saját mért adatok)

Soproni borvidék éghajlati jellemzői (1981-2010)													
Hónap	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ÉV
Középhőmérséklet (°C)	0,2	1,2	6,1	9,9	16	19,4	20,3	20,1	15,2	10,9	4,4	1,3	10,4
Csapadék (mm)	39	46	44	53	77	88	90	74	64	60	47	51	733
Havi napsütéses órák száma Szombathely	64	98	132	172	230	227	249	239	173	139	72	53	1848
Átlagos minimum hőmérséklet (°C)	-4,3	-3,6	0,4	4,6	9,5	12,6	14,3	14,2	9,9	4,8	0,9	-3,1	5,65
Átlagos maximum hőmérséklet (°C)	2,9	6,2	10,4	14,1	22,4	26,5	26,2	25,6	20,5	15,6	7,3	4,5	15,1

A legcsapadékosabb terület Kőszeghegyalja, ahol az évi lehullott csapadék átlagos mennyisége 785 mm, a legszárazabb pedig Vas-hegy és Gyöngyös-sík határán van, 645 mm-rel.

A borvidék területén a legtöbb csapadék a 30 éves átlag alapján, a május közepétől augusztus végéig terjedő időszakban hullik, közel 350 mm. Ez az időszak a szőlő tenyészidőszakában a virágzástól az érés fázisáig tartó periódus. Nagyon fontos tehát, hogy minden évben megfelelő mennyiségű csapadék hulljon, hogy a növény a sejtépítéséhez megfelelő mennyiségű nedvességet tudjon felhasználni.

Nem ritka, hogy a bőséges őszi esők következtében a téli félév a csapadékosabb (az esetek 20-30 %-ában áll ez fenn).

Az ősz és a tél folyamán az erősebb ciklonaktivitás miatt a terület jelentős részén kialakul egy másodlagos csapadékmaximum is.

A Keleti-Alpok felett orografikus zivatarok alakulnak ki nyaranta, melyek a Soproni borvidék időjárását a nyári évszakban jelentősen befolyásolják. Orografikus zivatarok akkor alakulnak ki, amikor egy adott irányú vízszintes légáramlás egy hegybe ütközik, és ott emelkedésre kényszerül. Ilyen esetben az áramlási oldalon a levegő folyamatosan hűl, és egy idő után telítetté válik, eléri a harmatpontot, vagyis ekkor megindul a felhőképződés (Sándor és Wantuch, 2005). Hazánkban az orografikus hatás a viszonylag alacsony tengerszint feletti magasság miatt nem túl jelentős, leginkább az Északi-középhegységben, a Bakonyban, a Mecsekben, illetve a Soproni-hegységben, Kőszegi-hegységben fordulnak elő ilyen zivatarok (Károssy, 2004).

A Soproni borvidék tartós és erős talaj menti és légköri aszálytól kevésbé veszélyeztetett, mint az ország keleti vagy dél-dunántúli területe (Bussay et al., 1999). Itt jegyezném meg, hogy aszályról akkor beszélhetünk, ha nagy hőséggel párosuló hosszan tartó csapadékhiány alakul ki. Más megfogalmazásban, ha a napi hőmérsékleti maximum meghaladja a 25 °C-ot és a talaj nedvességtartalma 20 % alá csökken (Keddy, 2007).

A tényleges párolgás évi összege 500-600 mm között mozog. Kőszeghegylja, Vas-hegy és a Soproni-hegység csapadékosabb területein a csapadékösszegek jelentősen meghaladják a tényleges párolgás összegeit (Németh et al., 2013).

Az átlagos szélesebbesség 12,6–14,4 km/h méréseink alapján. Főnös hatás az Alpokalján megfigyelhető (a Zalai borvidéken kevésbé) kisebb mértékben nyugatias, délnyugatias szél esetén.

### 3.1.1.3. SZŐLŐFAJTÁK

A Soproni borvidéken telepítésre javasolt kiemelt fajták a Soproni Borvidék Hegyközségi Rendtartása (2013) alapján:

- Vörösbort adó fajták: Kékfrankos, Zweigelt, Merlot, Cabernet franc
- Fehérbort adó fajták: Zöld veltelini, Chardonnay, Irsai Olivér
- Egyéb engedélyezett fajták: Pinot Noir, Syrah, Cabernet Sauvignon, Zenit, Olaszrizling, Rizlingszilváni, Szürkebarát, Zengő, Zala gyöngye, Cserszegi fűszeres, Ezerfürtű, Rajnai rizling, Sárga muskotály, Semillon, Nektár, Domina, Bianca, Kadarka.

Az alábbi szőlőművelési módok engedélyezettek:

- szűk soros telepítésekben az ernyőművelés, (soproni szálvesszős, Sylvóz kordon, alacsony kordon)
- széles soros telepítésekben fajtától függően Moser-féle művelésmód, közép magas kordon.
- a sortávolság nem lehet 1 méternél kevesebb, 3,2 méternél több, illetve a tőkehelyek száma nem lehet kevesebb 3500 tő/hektár.

A Soproni borvidéken telepített szőlők kb. 70 %-a kékfajta, amelyek összesen 70 %-át teszi ki a Kékfrankos, majd ezt követi a Zweigelt és a Merlot. A borvidék klímája miatt a vörösborkok hűvös karakterűek, frissek, főként piros bogyós gyümölcsökre emlékeztető aromákkal rendelkeznek. A legjobb termelők a vörösborkok készítésére specializálódtak, sok esetben nem is termelnek fehérbort, vagy ha igen, akkor csak kínálatuk alsó szegmensében találjuk meg ezeket (*Németh et al.*, 2016). A soproni fehérbor a borvidék határain kívül ritka, nehezen hozzáférhető. A borvidéken találkozhatunk vörös házasításokkal, ezek alapja jellemzően a Kékfrankos, amely kiegészülhet a cabernet fajták boraival, Merlottal, Zweigelttel, újabban egyre gyakoribb, hogy Syrahral (*Kirsch*, 2007, *Puskás és Károssy*, 2013).

### 3.1.2. A ZALAI BORVIDÉK

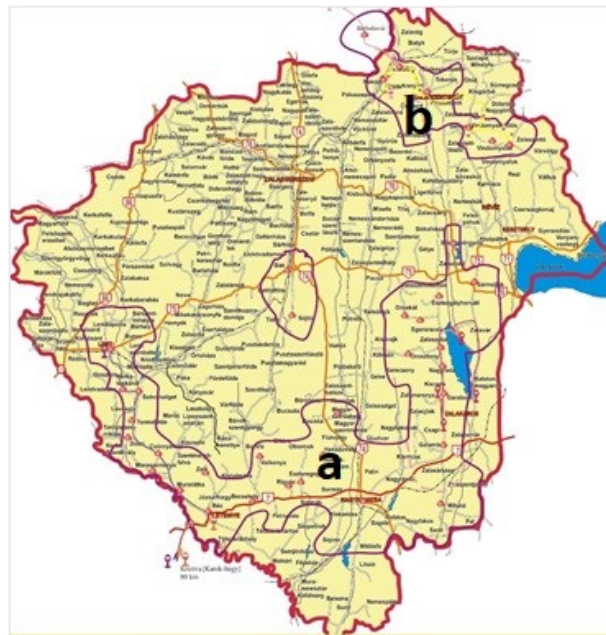
#### 3.1.2.1. GEOMORFOLÓGIA, TALAJ

A borvidék területe 6383 hektár, a hegyközségi nyilvántartás szerinti termőterület 1514 hektár. A borvidéket két nagy körzetre lehet felosztani, a Zala-menti körzetre és a Muravidéki körzetre (*11. ábra*).

A borvidék 95 %-a a Zalai dombság lankáin terül el, ami tipikus mezochor, a maradék kb. 5 % a Kemeneshát kistáj déli részén.

A Zalai dombságot 5 kiemelt helyzetű kistájra lehet osztani, melyek mindegyikén zajlik szőlőtermesztés. Ezek a következők:

- a legnyugatibb Kerka-vidék
- a központi, legnagyobb területű egység, Göcsej
- az É-D-i fekvésű Egerszeg-Letenyei-dombság
- a keleti legszárazabb egység, a Zalaapáti-hát
- a Keszthelyi-hegység szomszédságában a Zalavári-hát.



**11. ábra A Zalai borvidék és körzetei (a. Muravidéki körzet, b. Zala-menti körzet) (Az alapkép forrása: Zalai borvidék Hegyközségi Tanácsa)**

A borvidék különböző talajtípusai a dombvidéken fennmaradt folyóvízi kavics takaróra és az egykori Pannon-tenger pliocén korú üledékeire rakódtak (Dövényi, 2010).

Kerka-vidéken az eróziós dombsági részek felszíne horizontálisan és vertikálisan egyaránt tagolatlan. Az átlagos tengerszint feletti magassága 210-220 m. A Kerka-vidék legmagasabb pontja a Lendva-hegyen (Szlovénia, Muravidék) található Nagy-Tenke rög (332 m), a legalacsonyabb tengerszint feletti magasság a kistáj déli végpontján, a Kerka völgyében mérhető (152 m) (Dövényi, 2010). A kistáj kb. 60 %-a pszeudoglejes barna erdőtalaj és 3-4 %-a termékeny réti öntéstalaj (Dövényi, 2010).

Göcsej a Zalai-dombság legnagyobb kistája. Északról a Zala-völgye, keletről a Felső-Válicka-völgye, délről az Alsó-Válicka-völgye, valamint nyugatról a Kerka völgyei által

határolt, alacsony eróziós-deráziós dombság felszíne erősen tagolt. A kistáj átlagos tengerszint feletti magassága 248 méter, legmagasabb pontja az északkeleti részén található Kandikó (304 m), legalacsonyabb pontja a Felső-Válicka és a Zala összefolyásának közelében mérhető – a helybeliek által elnevezett – ”mélyedés” (142 m). Göcsej uralkodó talajtípusát a különféle erdőtalajok adják. Keleti területein az agyagbemosódásos barna erdőtalajok (50-52 %), nyugati vidékein a pszeudoglejes barna erdőtalajok (38-40 %) a jellemzőek, a kistáj északi sávjában, foltokban barnaföldek (2-3 %) alkotják a talajtakarót. Ezenkívül főleg a csermelyek, patakok völgyében jó minőségű öntéstalajok a jellemzőek (Dövényi, 2010).

Az Egerszeg-Letenyei-dombság egy kb. 643 km<sup>2</sup>-es területű kistája a Zalai dombságnak, ami a Mura balparti síkja és az Alsó-Válicka völgye között húzódik, szerkezetileg az északi irányban hosszan elnyúló Felső-Válicka és a Principális-csatorna völgyeitől közrezárt hátságokat foglalja magában (Dövényi, 2010). Nyugatról Kerka-vidék és Göcsej dombsági tájai, északról a Felső-Zala-völgy, keletről a Principális-völgy, délről pedig a Mura bal parti sík határolja. A kistáj átlagos tengerszint feletti magassága 230-240 m. A táj erdősültsége napjainkban is jelentős, uralkodó talajtípusa a pszeudoglejes barna erdőtalaj (40-42 %), a hátságok jelentős részét agyagbemosódásos barna erdőtalajok borítják (45 %) (Dövényi, 2010).

A Zalaapáti- és a Zalavári-hát két kistáj a Zala-dombság egységében. Területük együtt kb. 950 km<sup>2</sup>. A két erősen tagolt alacsony hátságot a Dráva, a Zala és a Principális-csatorna fogja közre. Nyugatról a Principális-völgy, északnyugatról a Felső-Zala-völgy, északkeletről az Alsó-Zala-völgy, keletről a Kis-Balaton-medence, délkeletről a Nyugat-Belső-Somogy, délről a Közép-Dráva-völgy, délnyugatról pedig a Mura bal parti sík határolja. Mindkét mikrochor erősen lepusztult deráziós-eróziós dombság. A deráziós völgyek közötti lejtők és gerincek erősen erodáltak. Átlagos tengerszint feletti magasságuk hozzávetőleg 210 m. A Zalaapáti-hát és a Zalavári-hát területének több mint 2/3 részét agyagbemosódásos barna erdőtalajok fedik, melyeken mezőgazdasági tevékenységet végeznek. Ezen kívül rossz vízgazdálkodású pszeudoglejes erdőtalajok és barna talaj fedi a két kistájukat. Kb. 1 %-ban borítja a területet réti talaj és lápos talaj (Dövényi, 2010).

### 3.1.2.2. ÉGHAJLAT

A Zalai borvidék területének nagy része a Péczely éghajlati osztályozási rendszer szerint a mérsékelt meleg - mérsékelt száraz körzetbe tartozik, a Zalaapáti-hát nagy

része a meleg-mérsékelt nedves körzethez. A borvidék keleti része a melegebb és szárazabb egység. A hűvösebb terület Kerka-vidék és Muramente, a legcsapadékosabb Lenti-hegy, Bázakerettye és a csörnyeföldi János-hegy.

Az évi középhőmérséklet 10,9-11 °C, az évi átlagos csapadékösszeg pedig 740-750 mm körüli. A napsütéses órák száma 1950-2100 óra (Kovács *et al.*, 2017) (3. táblázat). A beérkező sugárzás átlagos évi összege 4300-4400 MJ/m<sup>2</sup>, mely a Soproni borvidék 4100-4200 MJ/m<sup>2</sup> értékéhez képest magasabb.

Ha a Soproni-borvidékhez hasonlóan csak e három éghajlati paramétert vizsgáljuk, ideálisabb termőhely a jó minőségű borszőlő termesztéséhez (különösen fehér fajtáknak), mivel magasabb az évi középhőmérséklet és magasabb a napsütéses órák száma, mint a Zalai borvidéken.

**3. táblázat A Zalai borvidék éghajlati jellemzői az utolsó lezárt kerek 30 évtizedre vetítve. Megjegyzés: a havi napsütéses órák száma adathiány miatt csak az éves átlagot mutatja (OMSZ és saját mért adatok)**

Zalai borvidék éghajlati jellemzői (1981-2010)													
Hónap	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ÉV
Középhőmérséklet (°C)	0,4	1,8	6,7	10,5	16,7	19,9	21,1	20,6	16,4	11,5	4,8	2,1	11,1
Csapadék (mm)	49	58	61	60	68	77	72	68	63	58	54	61	749
Havi napsütéses órák száma	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	2080
Átlagos minimum hőmérséklet (°C)	-3,3	-3,1	2,6	6,2	10,9	12,9	14,9	13,9	10,7	6,6	1,8	0,1	6,2
Átlagos maximum hőmérséklet (°C)	3,7	6,8	10,9	14,8	23,1	26,8	27,4	27,2	22,1	16,4	7,9	4,1	15,9

A borvidék területén a legtöbb csapadék a nyári félévben hullik, a terület téli félévi csapadékkellátottságában rendkívül nagy szerepe van a mediterrán ciklonoknak, melyek az évi csapadék akár 60-65 %-át is adhatják. A hó formájában lehulló csapadék mennyisége vízre átszámítva 110 éves átlag alapján, 80-100 mm közötti, azonban enyhébb teleken, mikor gyakoriak a mediterrán ciklonok, eléri a 140-150 mm-t.

A hónap az évi csapadékösszegekből való részesedése a Zalai borvidék nagy részén 20-25 %, a Soproni borvidéken 15-20 %. A telente előforduló maximális hótakaró vastagságok átlagolásával kapjuk a hótakaró átlagos maximális vastagságát. Ez a Zalai borvidéken átlagosan 20 cm, a Soproni borvidék 300-400 m feletti területein (Vas-hegy, Kőszeghegyalja) 30-40 cm.

Kártétele miatt az egyetlen rendszeresen mért mikrocsepadék hazánkban a zúzmara, amely komoly károkat okozhat. A jég súlya gyakran leszaggatja a távvezetéseket vagy



letőri a faágakat, sőt enyhe teleken, amikor korán elkezdődik egyes korai növények rügyfakadása, a teljes rügy elfagyhat. Legzúzmarásabb területek Göcsej északi dombháta, a Kerka- és Muramenti Hegyközség Zalában és Kőszeghegyalja (10-12 nap/év) a Soproni borvidéken.

Nyáron konvektív eredetű események ritkábban fordulnak elő, mint a Soproni borvidéken. Míg a zivataros napok száma átlagosan a Zala borvidéken 20-22 nap évente, mely csökkenő számot mutat, a Soproni borvidéken ennek a száma eléri a 36-37-et (megfigyelésem csak a csapadékkal járó zivatarokra vonatkozik).

Tartós és erős aszálytól a Zalai borvidék is kevésbé veszélyeztetett, mint az ország keleti része, azonban előfordulnak évek, mikor mérsékelt aszály ezt a borvidéket sem kíméli. Ilyen évek voltak, pl. 2003, 2008, 2012, 2017 és 2018 ősze.

### 3.1.2.3. SZŐLŐFAJTÁK

A borvidék talaj- és klímaadottsága miatt főként a fehér fajtákat termesztik a gazdák és a pincészetek. A szőlők a dombok többnyire déli, délnyugati kitettségű (135°-225°) lejtőin helyezkednek el, de vannak tőkesorok melyek nyugati kitettségűek.

A Zalai borvidéken korábban telepítésre javasolt fajták a Balatonmelléki Borvidék Hegyközségi Rendtartása (2004) alapján:

- Fehérbort adó fajták: Rizlingszilváni, Szürkebarát, Királyleányka, Cserszegi fűszeres, Sauvignon, Chardonnay
- Engedélyezett fajták: Zöld veltelini, Zengő, Zenit, Rajnai rizling, Nektár, Pinot blanc, Leányka, Cabernet sauvignon, Kékfrankos, Portugieser, Merlot, Zweigelt, Syrah, Kadarka.

Miután 2009-ben létrejött az önálló Zalai borvidék, a Hegyközségi Tanács a korábban ajánlott és engedélyezett fajtákat termesztésre javasolja.

Az új és a már meglévő telepített ültetvényeknél a jelenlegi használatnak megfelelő művelési mód elfogadott: bak, egyes függöny, ernyő művelés, Moser, Sylvoz, valamint a hagyományos művelési módok.

A borvidéken csak az a bor kaphat m.t. minőségi bor minősítést, ahol a termesztésre beültetett terület minimum 3333 tő/hektár ültetvény sűrűségű.

A borvidék borai magas savtartalmúak, keményebb karakterűek, de az elmúlt bő 10 évben a cukortartalom nőtt, a savasság csökkent.

## 3.2. MEGFIGYELÉS, KUTATÁS

### 3.2.1. A MEGFIGYELÉS MÓDSZERE, ADATGYŰJTÉS

Az éghajlati adatok mérése, gyűjtése és a fenológiai fázisok megfigyelése a Soproni borvidék mindkét körzetén és a Zalai borvidék teljes területén (Zalaszentgróti Hegyközség, Nagykanizsai Hegyközség, Zalakaros Térsége Egyesült Hegyközség, Kerka- és Muramenti Hegyközség) történik.

A kutatást személyesen a borászok, pincészetek és gazdák segítségével végzem. Naponta terepen vagyok a rügyfakadás, fővirágzás és a szüretelés időpontjaiban. A többi fenofázis időszakában hetente többször végzek megfigyeléseket, a nyugalmi időszakban két hetente egyszer.

Kutatásom során fontosnak tartottam, hogy ne fenológiai modellekkel végezzek elméleti kutatást, hanem terepen a szakemberekkel és termelőkkel alkalmazott megfigyeléseket folytassak a borszőlő természetes életterében.

A fenológiai megfigyeléseket 2006-ban kezdtem a Zalai borvidék Kerka- és Muramenti hegyközségen a Bussay Pincészetnél. A fenológiai adatbázishoz magyar, horvát, szlovén és burgenlandi megfigyeléseket is felhasználtam.

Az éghajlati vizsgálatokhoz 32 meteorológiai állomás adatait használtam fel. A következő településeken és települések szőlőhegyeinek közvetlen közelében találhatóak a meteorológiai állomások: Sopron, Sopronkövesd, Ágfalva, Velem, Kőszeg, Bozsók, Szombathely, Vaskeresztes, Egyházásrádóc, Körmend, Lenti, Lenti-hegy, Iklódbördőce, Lovászi, Csörnyeföld, Bak, Bázakerettye, Letenye, Nagykanizsa, Keszthely, Zalaapáti, Sármellék. Továbbá négy állomás az országhatáron kívül, de közvetlenül a határ mentén található, Varasdon Horvátországban, Lendván Szlovéniában, Bildeinben és Rohonc-Weingebirgen Ausztriában (12. ábra). Ezek közül az Országos Meteorológiai Szolgálat állomása Sopron, Kőszeg, Szombathely, Körmend, Iklódbördőce, Nagykanizsa, Sármellék, Keszthely, a ZAMG állomása Bildein. A többi magán állomás, de mindegyik rendszeresen kalibrált. Egyes állomás adatokat az OMSZ-tól vásároltam meg. Az OMSZ-tól az előzőekben említett állomások hőmérsékleti és csapadék adatait vásároltam meg napi bontásban 1901-től, továbbá a rendelkezésre álló napi jelentésekből gyűjtöttem ki. Saját méréseim Letenye Öreghegyről, Csörnyeföld János-hegyről, Lenti-hegyről, Bázakerettyéről, Bakból, Lovásziból származnak. A legelső kalibrált mérést Letenyén végeztem 2005. november 17-én. A Soproni borvidék hegyközségi adatit a kutatásom során használhatom fel, melyeket pincészetektől, gazdáktól és Puskás Jánoséktól kaptam.

Mivel nem mindegyik állomás létezett korábban, illetve az állomások egy része el lett mozdítva, ezért az összes adatot statisztikailag tisztítottam, homogenizáltam.

A két legfontosabb paramétert, a hőmérsékletet és csapadékot vizsgáltam három évtizedes, egy évtizedes, éves menetében, továbbá a minél pontosabb leírás miatt, hogy ne csak egy felületes értéket kapjak, külön lebontottam évszakokra és hónapokra, továbbá agromklimatológiai vizsgálatnál nélkülözhetetlen a tenyészidőszak és a nyugalmi időszak elemzése is.



12. ábra A kutatásnál használt OMSZ (kék) és magán (bordó) meteorológiai állomások elhelyezkedése

A hőmérsékletből és a csapadékból származtatott szélsőséges klimatikus paraméterek közül a nyári napok ( $T_{\max} > 25\text{ °C}$ ), hőségnapok ( $T_{\max} > 30\text{ °C}$ ), forró napok ( $T_{\max} > 35\text{ °C}$ ), téli napok ( $T_{\max} < 0\text{ °C}$ ), fagyos napok ( $T_{\min} < 0\text{ °C}$ ), zord napok ( $T_{\min} < -10\text{ °C}$ ), trópusi éjszakák ( $T_{\min} > 20\text{ °C}$ ), hóhullámos időszakok, nagy csapadékú napok ( $R_{\text{nap}} > 20\text{ mm}$ ), száraz időszakok ( $R_{\text{nap}} < 1\text{ mm}$ ), havas napok, hótakarós napok (legalább 5 cm) vizsgálata került elvégzésre.

A borszőlő érzékenyen reagál a hőmérséklet és a csapadék változásra. Előfordul, hogy a hőmérséklet a biológiai bázishőmérséklet alatt marad, a növény élettevékenysége lassul vagy teljesen leáll. A növény így eljuthat egy olyan küszöbértékre, mikor már károsodik és nem képes regenerálódni, ez az ultraminimum-hőmérséklet. Ezt az indikátort a rügyfakadás és virágzás idején vizsgáltam. Azonban, ha a hőmérséklet –különösen nyáron, hóhullámos időszak alatt - elér egy kritikus küszöbértéket, leállhat a fotoszintézise, ezt nevezzük ultramaximum-hőmérsékletnek. Megfigyelésem szerint ez az érték a legtöbb fajta esetében a két borvidéken tartósan 38,5 °C felett kell lennie az értékeknek.

A hőmérséklettel és a csapadékkal összhangban a levegő párologtató képességének ( $E_0$ ) elemzése is fontos, mivel a hőmérséklet és a csapadék a fő szabályozója a növények vízellátottsági viszonyainak (*Dunai et al.*, 1968):

$$E_0 = \frac{1-f}{2-f} \cdot t_k$$

$f$  az átlagos relatív nedvesség

$t_k$  a középhőmérséklet.

Mivel a meteorológiában egy adott időszak párolgását nem az időszak átlagával, hanem összegével szokták jellemezni, a mm/nap értékben kapott párolgásmennyiséget meg kell szorozni az időszak napjainak számával (*Dunai et al.*, 1968). A talaj párolgásmérését Lenti-hegyen liziméterrel végeztem.

Az átlagosnál alacsonyabb és magasabb csapadékhozamú hónapok többszörös egymásra következtetésének gyakoriságát is elemeztem a két borvidékre.

Ezen szélsőséges paraméterek vizsgálata nem elegendő egy termőhely klimatikus adottságainak leírásához, ezért további indikátorok vizsgálata is nélkülözhetetlen volt.

Éghajlati adatok elemzésénél a növényeknél nem szabad elhagyni hőmérséklet szempontjából a tenyészidőszak alatti aktív hőösszeg (az a +10 °C feletti plusz hőösszeg, amikor a növény bizonyos életfolyamatai elindulnak) értékét.

A szőlőtermesztés területén használt klimatikus indikátorok közül a tenyészidőszak alatti átlaghőmérsékletet, a tenyészidőszak alatti maximumhőmérsékletet, a tenyészidőszak alatti minimumhőmérsékletet az április 1. és október 31. közötti időszakra vizsgáltam.

A virágzás ideje alatti átlaghőmérsékletet a május 15. és június 15. közötti időszakra, az érési idő alatti átlaghőmérsékletet a július 1. és szeptember 30. közötti időszakra, a

szüretidő alatti maximumhőmérsékletet az augusztus 15. és október 15. közötti időszakra vetítve elemeztem.

A tavaszi fagykockázatok elemzésére a Gladstones-féle Tavaszi Fagyindexet használtam, továbbá 2 méter, 50 cm és 5 cm magasságban mértünk hőmérsékletet áprilisban és májusban a kora tavaszi és késő tavaszi fagykárok megelőzése érdekében. Az utolsó két indikátort adathiány miatt csak a 2006 utáni időszakra tudtam elemezni.

A tavaszi fagyos napok számát és az őszi fagyos napok számát a március 1. és május 31, illetve a szeptember 1. és november 31. közötti időszakra analizáltam. A nyugalmi időszakban – a következő tenyészidőszakot határozza meg – a szőlő fagyindexet és a súlyos szőlő fagyindexet vizsgáltam a januári középhőmérséklettel kiegészítve.

A rügyszakadás előtti 30 nap középhőmérséklete határozza meg a rügypattanás időpontját, ezenkívül a szőlő virágzása előtti 20 nap középhőmérséklete a virágzás folyamatának elindulását. E két indikátort 1996-tól tudtam kielemezni a rügyszakadási és virágzási időpontok hiánya miatt.

Az egyik legrelevánsabb indikátor az érési idő alatti átlaghőmérséklet, mely a cukortartalmat és a savtartalmat befolyásolja a bogyóban.

A Huglin-index segítségével meghatároztam a két borvidék hőellátottságát április 1. és szeptember 30. között, illetve az egyes borszőlő fajták hőigényéből meghatároztam, hogy melyik fajta számára alkalmas és nem alkalmas a két borvidék. A Huglin-indexnél a *K* koefficiens esetében a két borvidék elhelyezkedése miatt 1,05-tel kalkuláltam.

A vizsgálat során elkülönítettem a nedves és száraz időszakokat összegzett értékek alapján. A gazdasági évet (eltér a naptáritól) vettem alapul.

A csapadékindikátorok közül a tenyészidőszak alatti lehullott csapadék mennyisége az április 1. és október 31. közötti időszakra lett összesítve. Nagyon fontos, hogy minden évben megfelelő mennyiségű csapadék hulljon az érési idő alatt, hogy a növény a sejtépítéséhez megfelelő mennyiségű nedvességet tudjon felhasználni. A fent említetteken kívül a virágzás ideje alatti csapadékot, a nyári és a téli összcsapadékot, a Légköri Szárazság Indexet és a hőmérsékletből és besugárzásból kalkulált R-indexet elemeztem.

Az így kapott adatokból már le tudtam írni a Soproni és a Zalai borvidék klimatikus kondícióját a szőlőtermesztés szempontjából.

Az éghajlati vizsgálatoknál lezárt kerek évtizedeket szoktak alkalmazni (pl. 1981-2010), azonban a pontos fenológiai válaszadás kiértékelésének érdekében a klimatikus viszonyokat és a fenofázisok alakulását, illetve a borvidékek éghajlati alkalmasságát az 1986-2015 közötti klímaperiódusra vizsgáltam.

A Kárpát-medence térségére meghatározható makroszinoptikus típusok a mérsékelt öv jellemző cirkulációs alaphelyzeteiből vezethetők le (meridionális északi, meridionális déli, zonális nyugati, zonális keleti és centrális), figyelembe véve ezeknek az adott földrajzi helyzetből következő speciális módosulásait (Károssy, 2004). Ezek közül a tipizálás szempontjából a Kárpátok, az Alpok, a Kárpát-medence és a Földközi-tenger erőteljes áramlást módosító hatásai a legfontosabbak. A Kárpát-medence időjárásában Péczely szerint 13 makroszinoptikus helyzetet különböztetünk meg (Péczely, 2002), közülük 6 ciklonális (általában csapadékos) és 7 anticiklonális (napsütéses, száraz, télen és ősszel ködös) típust (Károssy, 2004).

A 2001-2017-ig tartó időszakban meghatározott makroszinoptikus típusok közül évente vizsgáltam a szüretnek előtti 60 napra vonatkozókat. Ezután a két borvidék hat leggyakoribb szőlőfajtájának szüreti időpontjait átlagoltam a 2001-2017 közötti időszakra, illetve a must cukorfokát, kiegészítve a 2018-as előzetes adatokkal. Puskás és munkatársai (2011), 23 gazda, borász és pincészeti adatait dolgoztam fel. A nagy-skálájú helyzeteket az OMSZ napi jelentéséből gyűjtöttem ki és Károssy Csaba professzor úrtól kaptam meg (Károssy, 2017). A Péczely osztályozás hibája, hogy az időjárási helyzeteket 24 óráig tekinti érvényesnek, és a ciklonális, illetve anticiklonális jelleg megválasztásánál az 1015 hPa-t tekinti küszöbértéknek. Emiatt több esetben is pl. mediterrán ciklonok esetében, korrigálni kellett a tipizálást. A bárikus képződmények közül ciklonális és anticiklonális típusba soroltam a nyeret, teknőt és a gerincet is, attól függően, hogy csapadékos vagy nyugodt, napsütéses volt adott nap az időjárás. A korrigálás aránya megközelíti a 20 %-ot.

A Zalai borvidéken, Csörnyeföldön én, a Soproni borvidéken Kőszeghegyalján Németh László és Puskás János mérnek talajnedvességet 20 cm-es magasságban. A kőszeghegyaljai talajmérések adatait én összegzem, azok napi és heti adatokból származnak. A 2012-2017 közötti időszakra összegeztem dekádokra a felső 20 cm-es talajréteg víztartalmát.

A talajnedvességet és a talaj vízkészletének változását úgy tudjuk meghatározni (műszeres mérésen kívül), hogy egy adott időpontban megmérjük a talaj vízkészletét, ennek értéke  $W_1$ , majd egy meghatározott idő után ismét megmérjük az adott szinten ( $W_2$ ), a két adat különbsége ( $W_2 - W_1$ ) adja meg a vízkészlet változását ( $\Delta W$ ) (Erdős, 1975).

A kutatásom egyik fő célja egy új érési index kidolgozása volt a tudományos szakemberek, döntéshozók és a gazdálkodók számára 2013-tól.

Az érési index kalkulálást és finomítását eddig a Zalai és a Soproni borvidék kiválasztott ültetvényein végeztem. Így egyelőre csak e két borvidéken tudjuk alkalmazni.

Az érési index a Soproni és a Zalai borvidékre a következő:

$$Ri = (T_{max_{08.01.-09.15.}} + T_{\text{átl}_{08.01.-09.15.}}) \pm T_{min_t}$$

$T_{max}$  = a legmagasabb nappali hőmérséklet átlaga 5 cm, 50 cm és 2 m magasságban

$T_{\text{átl}}$  = a középhőmérséklet átlaga 5 cm, 50 cm és 2 m magasságban

$T_{min}$  = a legalacsonyabb minimumhőmérséklet átlaga 5 cm, 50 cm és 2 m magasságban.

Amennyiben a  $T_{min} + 3$  °C alá csökken vagy negatív értékű, akkor az értékét ki kell vonni, mivel ez lassítja jelentősen az érés folyamatát és a talajon (20 cm alatt) gyenge fagy is előfordulhat, főleg a szeptemberi időszakban. Az érési indexet minden esetben a csapadékkal korrelálni kell. Ugyanis a csapadék a gyümölcs savasságát, cukortartalmát, nagyságát befolyásolja, illetve a tenyészidőszak 2. felében a csapadék az egyik legfontosabb indikátor, a sejtépítéshez nélkülözhetetlen, de az érés gyorsaságát leginkább a hőmérséklet határozza meg.

Az érési fenofázis indexet meghatározza a hőmérsékleten és a csapadékon kívül a magasság, fajta, lejtőszög, lejtőkitettség és a talaj típusa is. A lejtőkitettség egyes esetekben 3-4 napos eltolódást okozott az érésben ugyanazon pincészetnél, ugyanazon fajtánál.

Az érési indexnél nagyon fontos, hogy a mérőállomás az adott tőkesoron vagy közelében legyen elhelyezve, a távoli állomások adataiból csak közelítő értéket tudunk kapni.

Ezek alapján elmondható, hogy egy adott évben milyen gyorsaságú érésre kell számítani az augusztus és szeptember közötti időszakban:

- I. 0-46 lassú érés,
- II. 46,1-49 átlagos az érési idő,
- III. 49,1-58 gyors érésű év (legjobb évjáratok),
- IV. 58,1- extrém gyors érésű év (rendkívül magas a cukortartalom, alacsony a savtartalom).

A kutatás során korreláció, regresszió, t-próba és szórás analízist végeztem az véletlenszerűségek kizárása végett.

### 3.2.2. A VIZSGÁLT FAJTÁK JELLEMZÉSE

A két borvidék hat leggyakoribb borszőlőfajtájának válaszadását figyeltem meg (*Laposa, 2003; Kovács, 2008; Kriszten, 1999*):

#### **Olaszrizling**

Származása: ismeretlen, valószínűleg a 21. század közepén Franciaországból Németországon át, került a Kárpát-medencébe. Az európai országokba főként a filoxéravész után terjedt el. Elterjedése: annak ellenére, hogy csak 100 éve ismerjük, egyike a Kárpát-medencében legjobban elterjedt fehérbort adó szőlőfajtáknak. A szőlőtermesztő országok közül hazánkban található a legnagyobb felületen. Bora többnyire fajtajelleges. Az érett szőlőből készült bor visszafogott illatú, zamatos, tüzes, telt, testes, inkább lágy, de harmonikus. A legjelentősebb magyar szőlőfajta. A vizsgált térség szőlőinek több mint a fele még ma is Olaszrizling, 16-18 cukorfokkal érik be, de jó évjáratokban október elején és közepén 20 cukorfok felett szüretelhető.

#### **Rizlingszilváni (Müller-Thurgau)**

Hasonnevei: a legtöbb országban nemesítőjéről elnevezve ismerik Müller Thurgau néven. Ismertebb nevei: Rizvanac, Müller Thurgau blanc-bijeli. Származása: Müller Thurgau állította elő (1891), leírása szerint Rajnai rizling és a Zöldszilváni keresztezésével Geisenheimben, majd Svájcba költözve tette nagy fajtává. Minősítése: 1956-ban lett államilag minősített fajta. Jelenleg a fő árufajták, közé tartozik. Bora lágy, illatos, zamatos, de gyorsan vénülő. Korai érésű, bőven termő, általában minőségi bort adó fajta. Szeptember közepétől 16-18 mustfokkal szüretelhető. Magasabb mustfok esetén savai lebomolnak, különösen a száraz és déli kitettséggű termőhelyeken. Középnagy fürtjei gyakran „egyik napról a másikra” kezdenek rothadni, s akkor csak a gyors szüret az egyedüli megoldás.

#### **Királyleányka**

Bora diszkréten fűszeres tartalmas, zamatban gazdag, finom savú minőségi bor. Erdélyi fajta, a kövérszőlő és a leányka természetes hibridje. Keszler Gyula és Lakatos András honosították meg a Balaton mellett. Bőtermő, sűrű lombzatot nevelő, ezért jelentős zöldmunkát igénylő fajta. Közepesen fagyűrő, rothadásra érzékeny. Fürtje középnagy, tömött. Bogyói kicsik, lapított gömbölydedek, fehéreszöldek, hamvasak, lédúsak, enyhén muskotályos ízűek. Rothadásra hajlamos, fagyérzékenysége közepes.



## **Zweigelt**

Sötétvörös, harmonikus, kellemes fanyarságú vörösborfajta, amely azonban a Kékfrankos minőségét nem minden évben éri el. A Kékfrankosnál korábban érik és a beérési foka is kedvezőbb. Szellős lombozatot alkot, de fagy- és rothadás érzékeny. Tőkéje közepes növekedésű, nagy fürtű fajta. Bogyói vastag héjúak, lédúsak, kellemes ízűek. Mustfoka október első felében 17-20 körül van.

## **Kékfrankos**

Származása nem tisztázott. Említik Nagyburgundi néven is, német nyelvterületen Blaufränkisch, illetve Limberger néven ismerik. Kielégítően, megbízhatóan terem, könnyen kezelhető fajta. A fekvés iránt kevésbé igényes, nem rothad és kifejezetten fagyűrő. Fürtje közepes nagyságú, a bogyók kicsik, vastag héjúak, sötétkékek és kissé hamvasak. A kevésbé jó évjáratokban is elfogadható minőséget terem. Október első felében 17-19 fok között szüretelhető. Fürtje sokáig a tőkén tartható. Érzékeny a lisztharmatra és a peronoszpórára, de viszonylag jól tűri a fagyot és a szárazságot.

## **Szürkebarát**

A Szürkebarát francia eredetű szőlőfajta, a burgundi Pinot családból, a Magyarországon kevésbé elterjedt Pinot blanc és Pinot noir közvetlen rokona. A magyar nagyüzemi művelésben 17-20 fok körüli cukortartalommal szüretelik. A hagyományos, kisebb hozamú bakművelésben nem ritka a 20-22 fok feletti érték, amiből egész más minőségű, testes, vastag bor készül.

### **3.3. STATISZTIKAI MÓDSZEREK**

A statisztikai próbák célja a nullhipotézis vizsgálat. Kérdéseink megválaszolására legtöbbször felállítunk egy úgynevezett nullhipotézist, amit statisztikai módszerekkel próbára teszünk. A statisztikai próbát legtöbbször egy próbafüggvény segítségével végezzük. A próbafüggvény értéke alapján döntünk a nullhipotézis mellett vagy ellene, tehát a hipotézisvizsgálat egyik legkézenfekvőbb gyakorlati alkalmazása az, amikor a vizsgálat eredménye alapján azt mérlegeljük, hogy a mintából nyert adatok igényelnek-e külön magyarázatot, elemzést. A döntést mindig valamilyen  $p$  szignifikancia szinten hozzuk meg. A hipotézisvizsgálat alkalmazott statisztikán belüli használata igen elterjedt és széles körű. A statisztikai próbázás egy segédeszköz (Ratkó, 1999).

## Korreláció

Két tetszőleges érték egymáshoz való viszonya, azt jelzi, hogy két tetszőleges érték nem független egymástól.

Kutatásom során a Pearson-féle korrelációs együtthatót használtam. Az együtthatót  $r$ -rel jelöljük, és a mérések közötti lineáris kapcsolat szorosságát méri. A korrelációs együttható ( $r$ ) számítása: Jelöljük a két változóra vett mintát:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  és  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  (Ratkó, 1999).

Ekkor a korrelációs koefficiens a következő képlet szerint számítható ki:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

A korrelációs együttható mindig -1 és 1 között van.

Ha a pontok nem fekszenek egy egyenes mentén, akkor azt mondjuk, hogy nincs korreláció közöttük ( $r=0$ ), vagy gyenge korreláció van közöttük. Ha a pontok egy egyenes mentén fekszenek, akkor  $r$  közel van +1-hez vagy -1-hez, ekkor azt mondjuk, hogy a két változó között szoros vagy magas korreláció van.

A természet- és környezettudományok területén *Guilford* (1965) megközelítése használatos:

$r=0$  nincs korreláció

$r=0-0,2$  vagy  $(0- -0,2)$  elhanyagolható a kapcsolat

$r=0,2-0,4$  vagy  $(-0,2- -0,4)$  biztos, de gyenge a kapcsolat

$r=0,4-0,7$  vagy  $(-0,4- -0,7)$  közepes korreláció, erős kapcsolat

$r=0,7-0,9$  vagy  $(-0,7- -0,9)$  magas korreláció, markáns kapcsolat

$r=0,9-1$  vagy  $(-0,9- -1)$  nagyon erős korreláció, erős függő kapcsolat.

A korrelációs koefficiens szignifikanciája a legfontosabb képlet, amely minden elemszámnál alkalmazható az  $r$  eloszlást  $t$  eloszlássá alakítja át és az erre a célra szolgáló táblázatból határozhatjuk meg, hogy eredményünk szignifikáns-e, és ha igen, akkor milyen mértékben. A nullhipotézis elutasíthatósága függ az  $r$  együttható nagyságától és az  $f$  szabadságfok nagyságától ( $f=n-2$ ). A szignifikancia kiszámításához  $t$  eloszlású statisztikát használunk.

Ennek képlete:

$$t = r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

## Regresszió

Az egyváltozós lineáris regresszió egy  $x$  független és egy  $y$  függő folytonos változó összefüggésének jellemzése regressziós egyenessel. A determinációs együttható (a korrelációs együttható négyzete),  $r^2$  azt mutatja meg, hogy az  $x$ -től való függés mennyiben magyarázza meg az  $y$  variabilitását. Ha  $r^2$  közelít a 0-hoz, akkor az  $x$  nem magyarázza az  $y$ -t, ha közelít 1-hez, akkor nagyon szoros az összefüggés. A legegyszerűbb regressziós kapcsolat két változó között a grafikusán egy egyenes vonallal jellemezhető lineáris függvénykapcsolat (Ratkó, 1999).

Ha két változó megfigyelt értékei rendre  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  illetve  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , akkor az  $y=a+bx$  regressziós egyenlet együtthatóira a következők érvényesek (Ratkó, 1999):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{és} \quad a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

Regressziónál a 0 meredekségnek a regressziós együttható pontszerű becslése körüli konfidencia intervallumba esés valószínűségét is ki kell fejezni. A konfidencia intervallum adott szignifikancia szinten: a becsült változó alsó és felső korlátja (Ratkó, 1999).

A gyakorlatban legtöbbször 95 %-os megbízhatósági szintű konfidencia intervallumok használatosak, de előfordul, hogy több különböző megbízhatósági szintű konfidencia intervallumot ábrázolnak együtt, például 50 %-os, 95 %-os és 99 %-os szinten.

A konfidencia intervallum közel áll a szignifikancia teszthez. Ha a paraméter pontbecslése  $x$ , és az  $[a, b]$  intervallum  $p$  szintű konfidencia intervallum, akkor az intervallumon kívüli elemek szignifikánsan különböznek  $x$ -től az  $1-p$  szinten ugyanazon feltevések mellett, mint amikkel a konfidencia intervallumot előállítottuk. Eszerint mondhatjuk, hogy elvetjük a nullhipotézist, ha a paraméter értékére kapott becslés  $a$ -nál kisebb, vagy nagyobb  $b$ -nél. A döntés szintje  $p$  (Ratkó, 1999).

## **T-próba**

A paraméteres próbák közül a rügyfakadási, virágzási és szüretidei 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 döntést a szignifikanciaszint alapján hozzuk meg (*Harnos és Ladányi, 2003; Ratkó, 1999*).

A statisztikai számításokat Microsoft Office Excel és STATISTICA programmal végeztem.

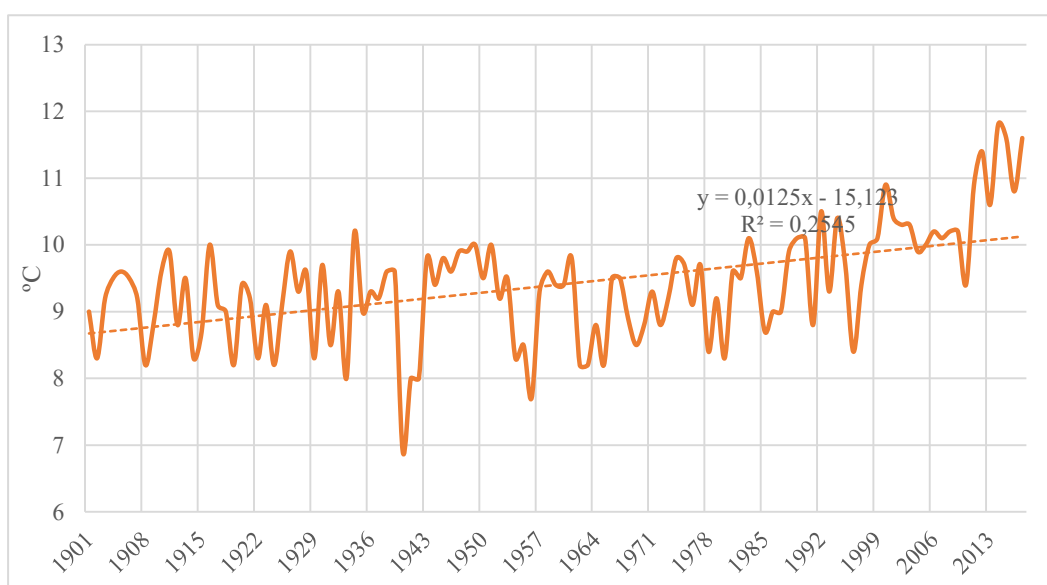
## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSA A VIZSGÁLT BORVIDÉKEKEN

#### 4.1.1. HŐMÉRSÉKLET

A két borvidéken a hőmérséklet emelkedése az éves, az évszakos és a vegetációs időszak átlagértékeiben egyaránt megfigyelhető.

A Soproni és a Zalai borvidék éghajlata az 1986-2015 közötti időszakban mutatta a legintenzívebb melegedést 1901 óta. Az elmúlt bő 118 évben az évi középhőmérséklet 1,25 °C-kal emelkedett a két borvidék területén.

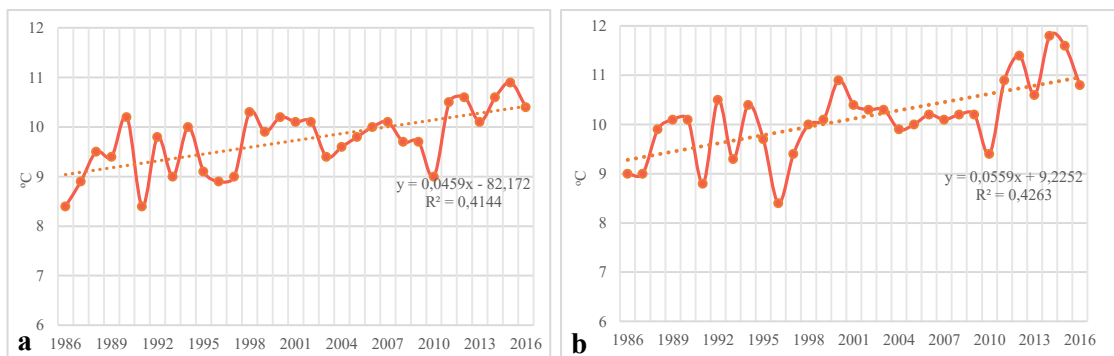


13. ábra Az évi középhőmérséklet a két borvidéken 1901-2017 között. A változás +0,125 °C/10 év

A hőmérséklet a Soproni és a Zalai borvidéken is szignifikánsan növekedést mutat, előbbinél évtizedenként 0,13 °C-ot, utóbbinál 0,12 °C-ot.

Az 1986-2015 közötti időszakban a hőmérséklet emelkedésének gyorsulása jelentősebb, a Soproni borvidéken 1,83 °C, a Zalai borvidéken 2,1 °C. Évtizedenként 0,64 °C-kal emelkedett a hőmérséklet, mely szignifikáns változás ( $p < 0,001$ ) (14.ábra).

A két borvidéken mért hőmérséklet alapján a tíz legmelegebb évből nyolcat 1990 után mérték. A négy legmelegebb középhőmérsékletű év 2015 (11,8 °C), 2014 (11,7 °C), 2012 (11,9 °C) és 2011 (11,4 °C) volt.



14. ábra Az évi középhőmérséklet változása a Soproni (a) és a Zalai borvidéken (b) 1986-2015

Néhány hegyközség évi középhőmérsékleti értéke 1986 és 2015 között (OMSZ, ZAMG és saját mért adatok):

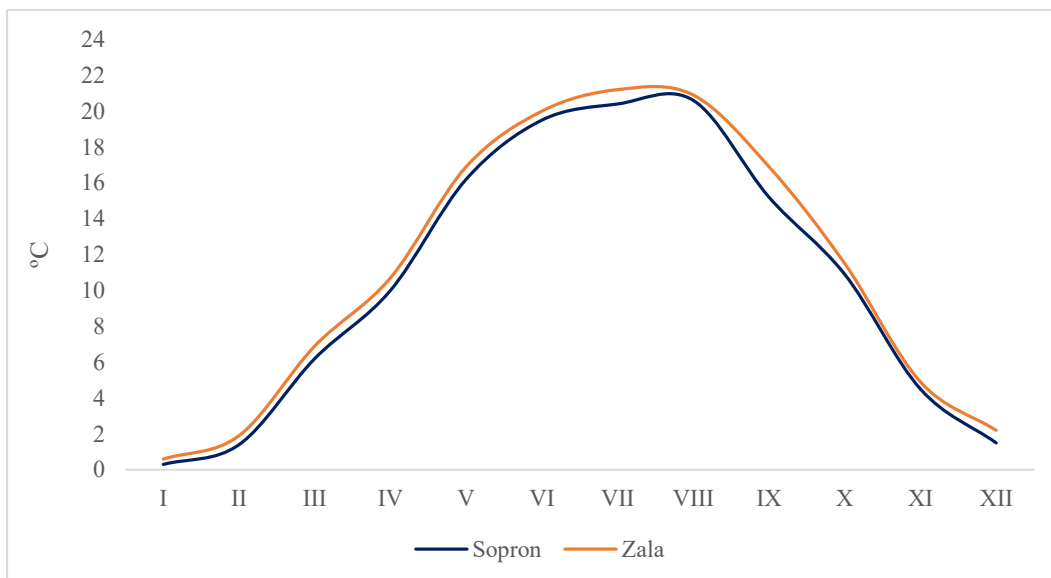
- Sopron Fertőmenti Hegyközség: 10,5 °C
- Vaskeresztes: 10,2 °C
- Zalaszentgróti Hegyközség: 10,5 °C
- Kerka- és Muramenti Hegyközség: 10,9 °C
- Zalakaros Térsége Egyesült Hegyközség: 10,9 °C

A napi középhőmérséklet tartósan legkorábban április 11-én haladja meg a +10 °C-ot a Zalai borvidéken és április 14-én, a Soproni borvidéken. A szórás 5,5 nap. A +10 °C-ot meghaladó középértékű napok száma kb. 185 nap a két borvidéken. A vizsgált időszak elején inkább a Zalai borvidék területén volt több +10 °C-ot meghaladó nap, míg a 2000-es évektől kiegyenlített a két borvidék között. Ennek egyik oka, hogy nőtt a tavaszi fagyos napok száma a Zalai borvidéken.

A +15 °C-nál magasabb napi középhőmérsékletű időszak a Zalai borvidéken május 17, míg a Soproni borvidék területén május 21. körül kezdődik, Kőszeghegyalján május 27. Ezt az időszakot hívjuk meleg időszaknak a tenyészidő alatt, mely kb. 124 napig tart a két borvidéken, mely az 1956-1985 közötti időszakhoz képest 14 napos növekedést mutat.

A hőmérséklet évi menetét a 15. ábra mutatja.

A napi hőingás évi változása igen jellegzetes 1986-2015 között, legkisebb (4-6 °C) decemberben (legrövidebb nappalú és legborultabb hónap), míg a hosszú nappalú és csekélyebb felhőzetű nyári hónapokban a minimális ingásnak több mint a kétszeresét (11-13 °C) tapasztalhatjuk.



**15. ábra A hőmérséklet évi menete a két borvidéken 1986-2015 átlagában**

Az évszakok hőmérsékleti trendjeiben más-más eltérések mutatkoznak. Szignifikánsan emelkedett a tavasz, a nyár és az ősz középhőmérséklete, télen is történt változás, azonban nem szignifikáns.

A tavasz és a nyár középhőmérséklete emelkedett legnagyobb mértékben 1,7 °C-kal, az őszé 1,6 °C-kal. A hónapok közül május, július, augusztus, szeptember és december mutatja a legjelentősebb hőmérséklet emelkedést 1986 és 2015 között.

**4. táblázat A hőmérséklet alakulása évszakonként a két borvidék átlagában**

Évszak	1956-1985	1986-2015
Tavasz	9,5	11,2
Nyár	19,1	20,5
Ősz	9,1	10,7
Tél	-0,1	0,9

A hőmérsékleti átlagok Kőszeghegyalja felől a Zalakaros Térsége Hegyközség irányban növekednek. A 4. táblázat mutatja néhány állomás 1986-2015 időszakra vonatkozó jellemző hőmérsékleti adatait.

A tenyészidőszaki (IV-X.) és nyugalmi időszaki (XI-III.) középhőmérsékletek kissé eltérő mértékűek, de egyértelmű növekedést mutatnak 1986 és 2015 között, a legintenzívebb emelkedés (0,6 °C/ 10 év) a tenyészidőszak második felében mutatkozik. A növekedési trendjük 95 %-os szinten szignifikáns.

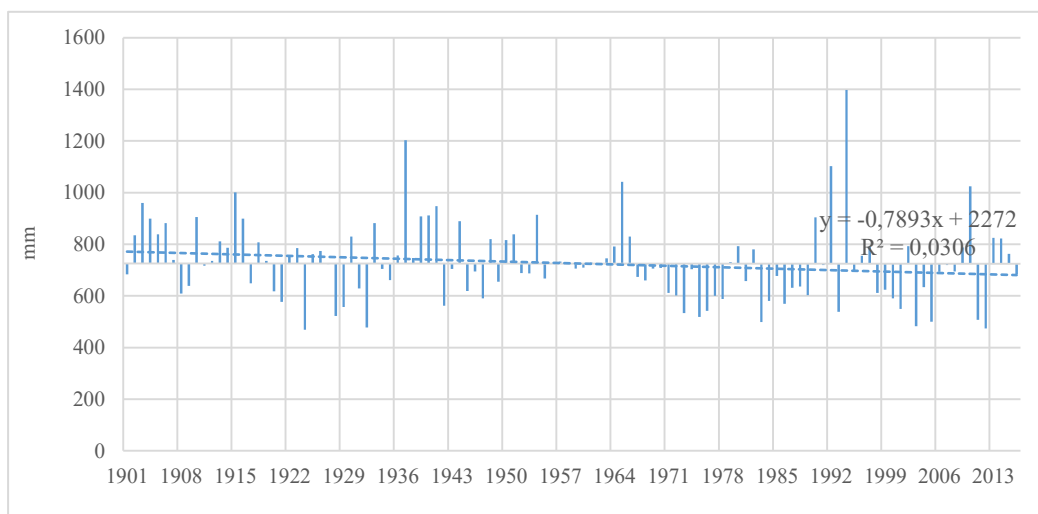
**5. táblázat** Az április-október és a november-március közötti hőmérsékleti átlagok a Soproni és a Zalai borvidéken (Sopron: Ágfalva, Kőszeg; Zala: Csörnyeföld János-hegy, Lendva és Zalaapáti)

Állomás	Év	IV-X.	XI.-III.
Ágfalva	10,6	17	4,3
Kőszeg (szőlőhegy)	10,3	16,5	4
Csörnyeföld	10,8	17,1	4,5
Lendva	10,9	17,4	4,4
Zalaapáti	11,4	17,8	5

A hőmérsékleti értékekből leolvasható, hogy a Soproni borvidék tipikus hegyvidéki, míg a Zalai borvidék dombsági terület.

Mindkét borvidéken az évi hőingás általában 20 °C körül alakul, de előfordultak kiugróan magas (27,5 °C), illetve alacsony (13,5 °C) értékek is főleg a 20. század közepén.

#### 4.1.2. CSAPADÉK



**16. ábra** Az évi csapadék változása a 110 éves átlaghoz viszonyítva



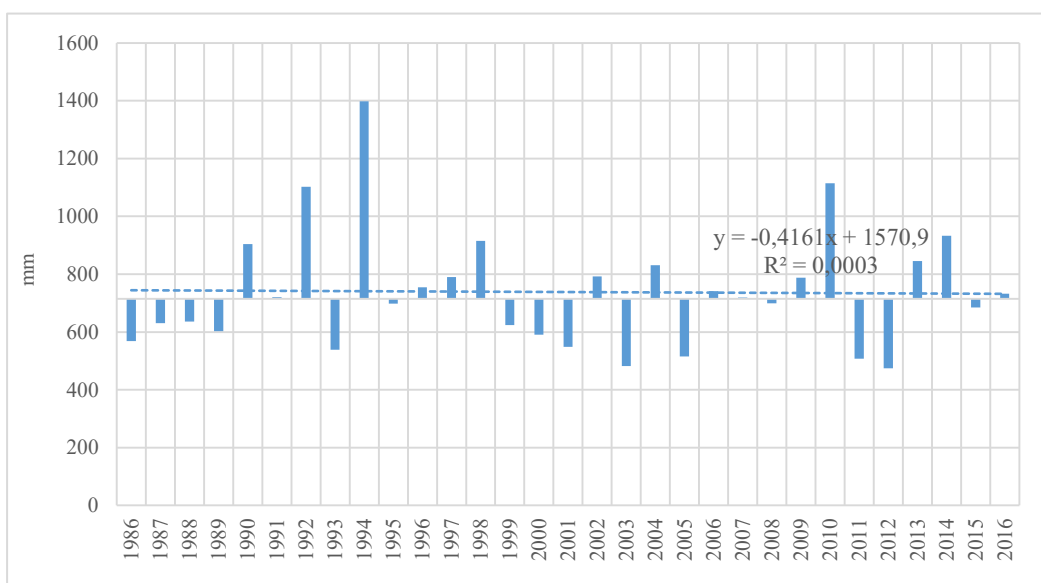
Az 1986 és 2015 közötti 30 évben a csapadékmennyiség változása nem mutat egyértelmű tendenciát, nem történt szignifikáns változás. Azonban, ha hosszútávú (118 év) változást vizsgálunk, láthatjuk, hogy a két borvidéken kissé csökkent a lehullott csapadék mennyisége, de nem szignifikáns a csökkenés mértéke.

A csapadék jelentős, évről évre való változékonysága miatt az éves csapadékösszeg térbeli eloszlása a sokévestől nagymértékben eltérhet. Az elmúlt 30 évben mérték a vizsgált területen a legcsapadékosabb évet (1992) és a legszárazabbat is (2012).

Az egyes állomások közötti adatok is igazolják a csapadék változékonyságát, pl. a nagykanizsai állomás egyértelmű növekedési tendenciát mutat, a légvonalban 22 km-re Ny-ra található letenyei kismértékű (1,3 %) csökkenést.

A csapadék nagy része nyáron konvektív eredetű és betörő hidegfrontokból származtatható, télen mediterrán ciklonokból hullik jelentős mennyiségű - térben és időben eltérő - csapadék. Mediterrán ciklonok esetén figyelhető meg – a felkanyarodástól és a hideg levegő lerántásától függően – főleg a Zalai borvidék területén, hogy a csapadék halmazállapota néhány tized °C-kon múlik. A borvidék egyik részén folyékony halmazállapotú a csapadék, addig a másik felén már több cm friss hó hullik, ezért rendkívül nehéz összegezni a csapadékot.

A csapadék időbeli fluktuációja az 1986 óta eltelt klímaperiódusban egyértelmű növekedést mutat a nyugalmi időszakban (16-18 %), míg csökkenést a tenyészidőszak alatt.



**17. ábra** Az évi lehullott csapadék mennyisége a Soproni és a Zalai borvidéken 1986-2015 között 30 éves átlaghoz viszonyítva

1986 és 2015 között a csapadék időbeni eloszlása változott. A csapadékos napok száma összességében csökkent, különösen késő tavasszal, nyáron és kora ősszel.

Az elmúlt 30 évben gyakrabban fordultak elő a sokéves átlagnál jelentősen szárazabb nyarak, melyek közül kiemelkedő a 2000-2003-as, 2011-2012-es periódus, mikor egymást követték a csapadékszegény nyarak és közepesen erős aszályok.

A 6. táblázat mutatja a csapadék évszakonkénti mennyiségét a két borvidék átlagában.

*6. táblázat A lehullott csapadék átlagos mennyisége a Soproni és Zalai borvidéken évszakonként*

Évszak	1956-1985	1986-2015
Tavaszi	160	169
Nyár	287	251
Ősz	179	171
Tél	112	158

Az évszakonkénti változás nem egyértelmű, mivel pl. tavasszal márciusban és áprilisban nőtt a lehullott csapadék mennyisége, májusban csökkent. Csapadék esetében a hegyközségekre levetített összesített értékeket célszerű külön kiemelni, mivel közeli állomások között is lehet jelentős eltérés.

Néhány hegyközség évi csapadéka 1986-2015 között (OMSZ, ZAMG és saját mért adatok):

- Sopron Fertőmenti Hegyközség: 711 mm
- Vaskeresztes: 759 mm
- Zalaszentgróti Hegyközség: 719 mm
- Kerka- és Muramenti Hegyközség: 785 mm
- Zalakaros Térsége Egyesült Hegyközség: 723 mm

A csapadékkal összhangban kell elemezni a talajnedvességet. A talajnedvesség értékeit csupasz talajokra vonatkoztatva számítottam ki 20 cm-es talajrétegre vonatkozóan a csőrnyeföldi és kőszegi adatok alapján a 2012 és 2017 közötti időszakokra vetítve, hónapokra lebontva, figyelembe véve az egyes talajtípusokat (7. táblázat).

**7. táblázat A talajnedvesség Csörnyeföldön és Kőszegen (barna erdőtalaj)**

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
<b>Csörnyeföld</b>	39,4	36,2	31,2	29,7	28,4	27,9	25,5	25,4	25,8	28,8	36,9	37,1
<b>Kőszeg</b>	42,3	40,1	35,1	31,1	28,5	27,7	26,1	25,7	26,2	30,1	38,9	38,2

A talajnedvesség minimuma általában július végére és augusztusra esik, a minimumok a vízkapacitás 50 %-a alatti értéket sehol sem érik el. Az Alföldön előfordulnak évek mikor a vízkapacitás 30 % alá esik (Rakonczai, 2013). A maximumok beállási ideje január és február. A talajnedvesség alakulása változatos képet mutat. A vas megyei síkság talajai nyáron a Kunsági termőterületekkel azonos értékeket mutat, míg a kőszeghegyaljai talajok telítettsége majdnem kétszerese a síkvidékieknek, ami a Zalai borvidék értékeinek trendjével közel azonos.

A fő vízbevételei forrást jelentő légköri csapadékon kívül, ismernünk kell, hogy a levegő milyen mennyiségű víz elpárologtatására képes (8. táblázat).

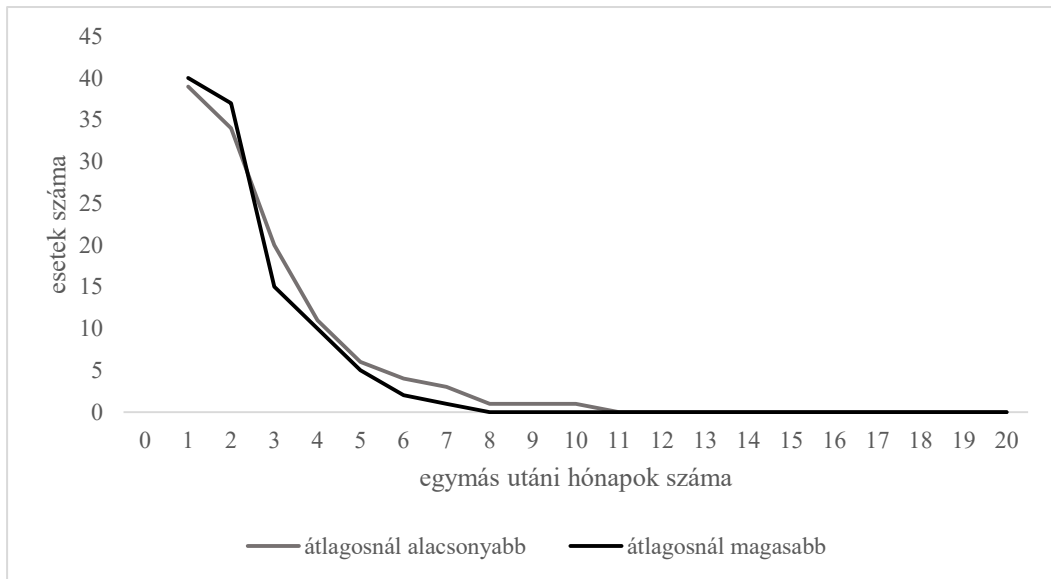
A párologtató képességnek más a hatása, ha sok a nedvesség és más, ha kevés, jelentős a levegő relatív nedvességének szerepe.

**8. táblázat A párologtató képesség havi átlaga (mm), 1986-2015 között (OMSZ és saját adatok alapján)**

Borvidék	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Össz.
<b>Soproni borvidék</b>	12,5	21,1	35,5	65,5	96,5	105,1	114,2	114,9	84,8	46,2	27,5	14,9	738,7
<b>Zalai borvidék</b>	16,3	23,1	41,1	67,5	94,2	118,8	124,05	109,7	77,5	45,3	29,6	16,1	763,3

A táblázatból leolvasható, hogy a minimum a téli hónapokban alakul ki, a mélypont január harmadik dekádja a Soproni borvidéken és december vége a Zalai borvidéken. Március elejétől az értékek folyamatosan emelkednek, amíg el nem érik a felső küszöbértéküket július utolsó és augusztus első dekádjának idején. A csökkenés ezután kb. 10,2 mm/dekád a minimum értékig.

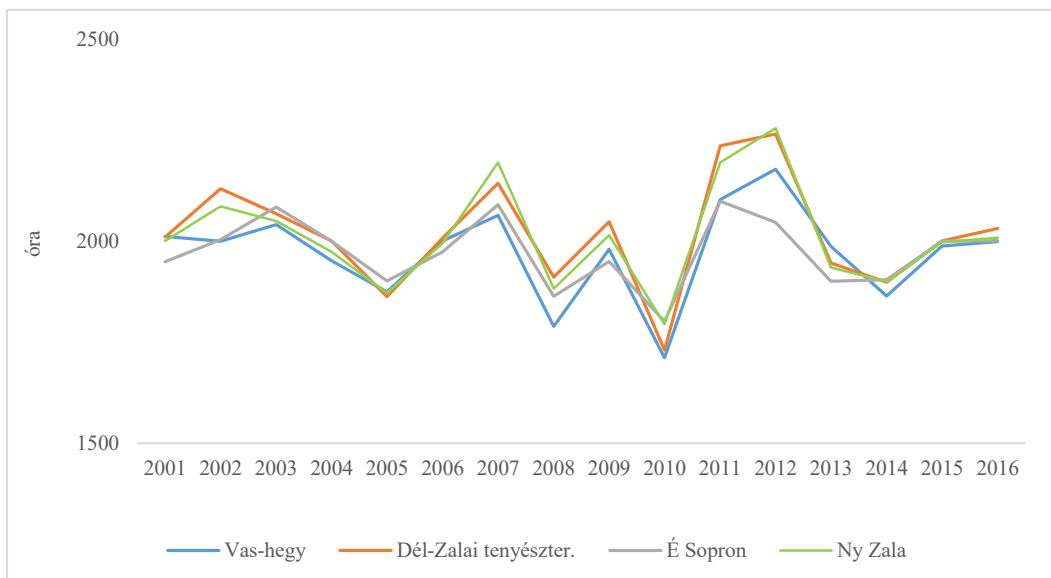
A 18. ábra a havi csapadékértékek többszörös egymásra következésének gyakoriságát mutatja. A leggyakrabban azzal találkozhatunk a két borvidéken, hogy egy száraz hónapot nedves hónap fog követni, illetve fordítva. Kivételek főleg nyáron mutatkoznak, július és augusztus esetében. Öt egymást követő átlagnál szárazabb hónap 4-szer, nedvesebb 3-szor fordult elő 1986 és 2015 között.



**18. ábra** Az átlagosnál alacsonyabb és magasabb csapadékhozamú hónapok többszörös egymásra következésének gyakorisága a Soproni és a Zalai borvidék átlagában 1986-2015 között

#### 4.1.3. NAPSÜTÉS

A napsütéses órák számát OMSZ adatokból és Puskás János alapján gyűjtöttem. A legkevesebb napsütéssel Kőszeghegyalja és Vas-hegy bír (1910-1970 óra), a legtöbbel a Zalaapáti-hát és Dél-Zala területe (19. ábra).



**19. ábra** A napsütéses órák évi száma 4 körzet összehasonlításában. Adathiány miatt a 2001-2016 közötti időszakot mutatja (OMSZ, Puskás János és saját adatok alapján)

Megfigyelhető a napfénytartam jellegzetes éves menete, a nyári hónapokban van a maximuma, akkor havi 240-270 óra, míg a téli időszakban, a november-január hónapokban a minimuma mindössze havi 50-70 óra között mozog, mely É-D irányban növekszik. A beérkező sugárzás átlagos évi összege a két borvidéken 4200-4300 MJ/m<sup>2</sup>.

Mezőgazdasági és ökológiai szempontból nagy jelentőségű a fotoszintetikus aktív sugárzás. A Napból érkező sugárzásból a növények csupán a 380-720 nm közötti hullámhosszú tartományt hasznosítják, ez szükséges a szerves anyag előállításához (Major, 2011). Ennek a növényi élet biztonsága miatt van jelentősége. Borult időben, napfelkeltekor és naplementekor a szórt sugárzás, narancs-vörös tartományban lévő fényhullámhossz a domináns. Derült időben a direkt sugárzás a meghatározóbb, ekkor a sugárzás hullámhossza az ibolya-kék tartományban található. Ennek értéke a két borvidéken 1986 és 2015 között 1900-1930 MJm<sup>-2</sup>, mely az országos átlagnál alacsonyabb.

Decemberben érkezik a legkevesebb sugárzás. Ezután a sugárzás fokozatosan növekszik júliusig, amikor eléri a maximumot. Míg a decemberi sugárzás mennyiségek a két borvidéken 1000 GJ/hektár alatt maradnak, nyáron júliusban és augusztusban elérheti 5000-6000 GJ/hektárt, az országos átlaghoz hasonló. Szeptembertől fokozatos csökken a sugárzás (direkt+diffúz) mennyisége.

#### 4.1.4. R-INDEX

Az Országos Meteorológiai Szolgálat és az Osztrák Intézet állomásainak adatai alapján az 1956-1985 közötti időszakban a Soproni borvidék nem volt megfelelő szőlőtermesztés szempontjából, mindegyik hegyközségi terület 22 alatti értéket mutatott. Az 1986-2015 közötti időszak átlaga alapján csak a soproni körzet megfelelő (R=23,2), az 1990-2015 közötti rövidebb időszak átlaga alapján az egész borvidék területe alkalmas (R=23,8).

1956 és 1985 között a Zalai borvidék sem volt alkalmas az R-index szerint borszőlő termesztésére. Azonban az 1986-2015 közötti időszakban már R= 23,5, 1990 és 2015 között 24,2 az R értéke (9. és 10. táblázat).

Fontos megjegyezni, hogy az R-index csak egy elméleti – a gyakorlat sok esetben teljesen különbözik – síkon mutatja meg az egyes borvidékek alkalmasságát hőmérséklet-sugárzás ellátottságból. A hőmérséklet-sugárzás ellátottság függ a talajtól, a terep érdességétől, a lejtőszögtől és a lejtőkitettségtől (expozíció) is.

9. táblázat A termőterület minősége és az R-index kapcsolata (Dunkel et al., 1981)

R-érték	Minősítés
$R \leq 23$	nem megfelelő
$23 < R \leq 25$	megfelelő (jó)
$25 < R$	kiváló

10. táblázat Az R-index értéke a Soproni és a Zalai borvidéken

Borvidék	1986-2015	1990-2015	2000-2015
Soproni borvidék	23	23,8	24,9
Zalai borvidék	23,5	24,2	25,2

Az expozíció miatt megnövekedett hőmérséklet és sugárzásbevitel a szőlő termésmennyiségére és minőségére is jótékonyan hathat. A kedvező lejtő adottságoknak köszönhető lehet a korai rügyfakadás, a jelentősebb tömeges virágzás. Megfigyeltük, hogy azokon a tőkesorokon, ahol a lejtőkiettség  $90^\circ$  és  $135^\circ$  közé esik, gyorsabb a felső 20 cm kiszáradása, mely főleg a fiatal növényekre van negatív hatással a tenyészidőszak második felében a zsendülést követően.

#### 4.1.5. SZÉLSŐSÉGES-INDEXEK

Az éghajlati tényezők negatív és pozitív irányban befolyásolhatják a szőlő életét a tenyészidőszakban és a nyugalmi időszakban is. A szélsőséges éghajlati paraméterek miatt a szőlő fizikailag is károsodhat, illetve a termés minősége és mennyisége is változhat.

A sok esetben pusztító károk közé sorolhatók a záporok, zivatarok, illetve kísérőjelenségeik a jégeső, kifutószelek, erős záporosó továbbá a tavaszi és őszi fagyok, illetve a nyaranta egyre sűrűsödő forróság és perzselés. Sok esetben a túl magas hőmérséklet asszimilációsökkentő hatása is érvényesülhet.

E káros hatások miatt nélkülözhetetlen a hőmérsékletből és csapadékból származtatható szélsőséges éghajlati indexek (paraméterek) elemzése.

A szőlő vegetációs időszakában –különösen a rügyfakadás és a virágzás közötti időszakban, illetve kora ősszel – számolni kell fagyokkal. A fagyok a szőlőfajtától függően különböző nagyságú károkat okozhatnak a növényben.

A Soproni borvidéken az 1986-2015 közötti időszakban az utolsó fagyok április 21. és április 23. között jelentek meg (ennek aránya 89 %), a Zalai borvidéken április 24. és április 25. között (ennek aránya 91 %). A Zalai borvidéken az ezt megelőző 30 évben április 20. és április 22. között. Májusban a fagyos napok száma elenyésző, alig 2-3 nap, de ebben az időszakban már 0 °C körüli minimumhőmérsékletek is komoly károkat, akár jelentős termés kiesést is okozhatnak. Ilyen év volt, pl. 2004 is.

A kora őszi fagyok megjelenése a Soproni borvidéken október 14. és október 16. közé esik, a Zalai borvidéken október 16. és október 18. közé. Az 1956-1985 közötti időszakhoz képest 7 nappal később jelennek meg a kora őszi fagyok a Zalai és 6 nappal később a Soproni borvidéken. A talajmenti fagyok ennél korábban is megjelenhetnek.

A január 1. és december 31. között mért fagyos napok ( $T_{\min} < 0\text{ °C}$ ) számát a két borvidéken a 11. táblázat szemlélteti. A fagyos napok számának csökkenése mindkét borvidéken szignifikáns ( $p < 0,05$ ).

*11. táblázat A fagyos napok száma a Soproni és a Zalai borvidéken*

Borvidék	1956-1985	1986-2015	Szórás
Soproni borvidék	103	81	7
Zalai borvidék	105	88	6

Kijelenthető, hogy az őszi és a téli középhőmérséklet emelkedése a téli csapadék (hó, havas eső) csökkenéséhez vezetett az elmúlt időszakban, illetve a téli és a fagyos napok csökkenéséhez.

A téli napok száma ( $T_{\max} < 0\text{ °C}$ ) január 1. és december 31. között a Soproni borvidéken korábban 31 nap volt, az 1986-2015 közötti időszakban 24 nap, a Zalai borvidéken 27 nap volt, 1986 és 2015 között 19 nap. A 2000-es évek után még jelentősebb 5 nap/évtized a csökkenés. A változás szignifikáns ( $p < 0,05$ ).

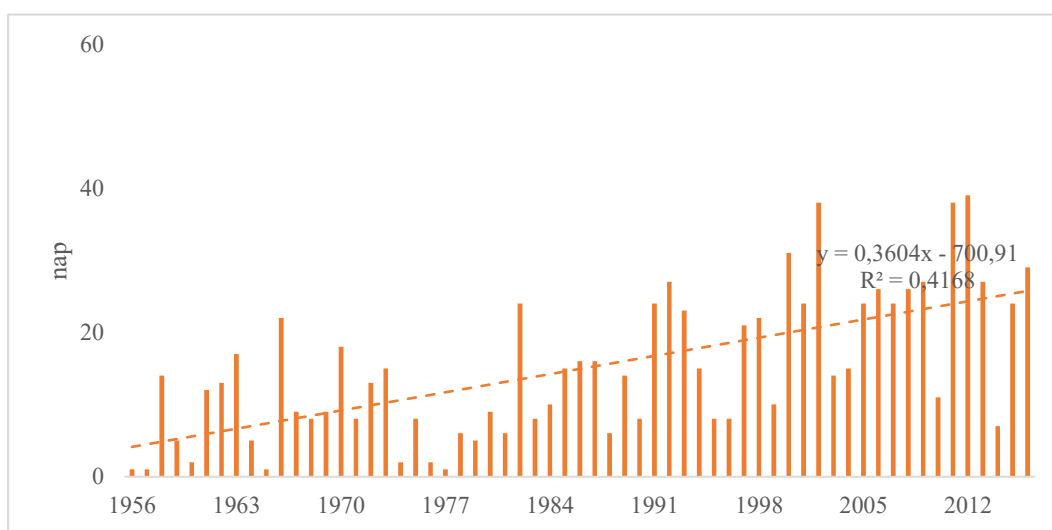
A zord napok ( $T_{\min} < -10\text{ °C}$ ) száma 9,5 nap volt 1956-1986 között, 5,5-re csökkent a két borvidék átlagában. A zord napok száma 12 %-kal magasabb a Zalai borvidéken, mint a Soproni borvidéken. Ez annak köszönhető, hogy telente gyakoribbak a vastag hóval borított időszakok, dombsági borvidék, illetve kevésbé szeles bortermő terület.

A megfelelő hidegmennyiség elmaradása a kártevőknek (rovarok, gombák, baktériumok, vírusok) rendkívül kedvező, 2000 és 2015 között 11 tél volt enyhébb, mint ami szükséges lenne az előbb említett kártevők természetes szelektálódásához.

A 15 °C-os középhőmérsékletű napok tavaszi és őszi átlépésének időpontjai között van hazánk és így a két borvidék legmelegebb időszaka, amelynek hossza 110-120 nap körüli. Egyes években elérheti a 130 napot is (a vizsgált területen 2017, 2007 és 2012 is ilyen év volt). Ebben az időszakban fagyoktól nem kell tartani.

Mivel ez a legmelegebb időszak, a nyári napok ( $T_{\max} > 25\text{ °C}$ ) számának megjelenése tavasszal és ősz derekán egyre gyakoribb. Ennek száma a Zalai borvidéken 65 nap, míg a Sopronin 61 nap. (A rekord év 2018 volt az elmúlt 30 évben, 121 nyári nappal.) Mindkét borvidéken 6 nappal nőtt a nyári napok száma az elmúlt 30 évben.

A szőlőtermesztés területén nagyon fontos szélsőséges paraméter a hőségnap, amikor a legmagasabb hőmérséklet nem csökken 30 °C alá és a forró nap ( $T_{\max} > 35\text{ °C}$ ). A vizsgált térségben a kárpát-medencei trendhez hasonlóan jelentősen nőtt, közel 120-150 %-kal a hőségnapok és a forró napok száma. Önmagában a hőségnapok és forró napok magas száma nem okozhat gondot a szőlőtermesztésben (Szicílián az évi hőségnapok száma 65-70 nap). Ez csak akkor jelent veszélyt, ha nincs megfelelő védekezési forma és a napokon át tartó forróság eredményeként a friss zöld hajtások, a virágzat, a gyümölcs gumók és a levélzet is károsodhat, illetve a tartós 38 °C feletti hőmérséklet esetén a szőlő növény fotoszintézise lassulhat és leállhat (Frankel, 2014). Az 1986-2015 közötti időszakban a 38 °C feletti napok átlagos száma 1/év.



20. ábra A hőségnapok összesített száma a Soproni és a Zalai borvidéken. A jobb szemléltetés céljából az 1956-2015 közötti időszakot ábrázolja. A változás szignifikáns ( $p < 0,001$ )



Májusban a hőségnapok száma korábban 2 volt, az elmúlt 30 évben 4 napra emelkedett, júniusban 4-5 nap volt, 1986-2015 között már 7,5 nap, júliusban 6-7 napról 10-11 napra, augusztusban pedig 9-10 napra nőtt. Egyre gyakoribbak a hőségnapok szeptemberben is, a legmelegebb években 3-4 nap emelkedik 30 °C fölé. A hőségnapok számának növekedése szignifikáns ( $p < 0,05$ ), a szórás értéke a Soproni borvidéken és a Zalai borvidéken is 1.

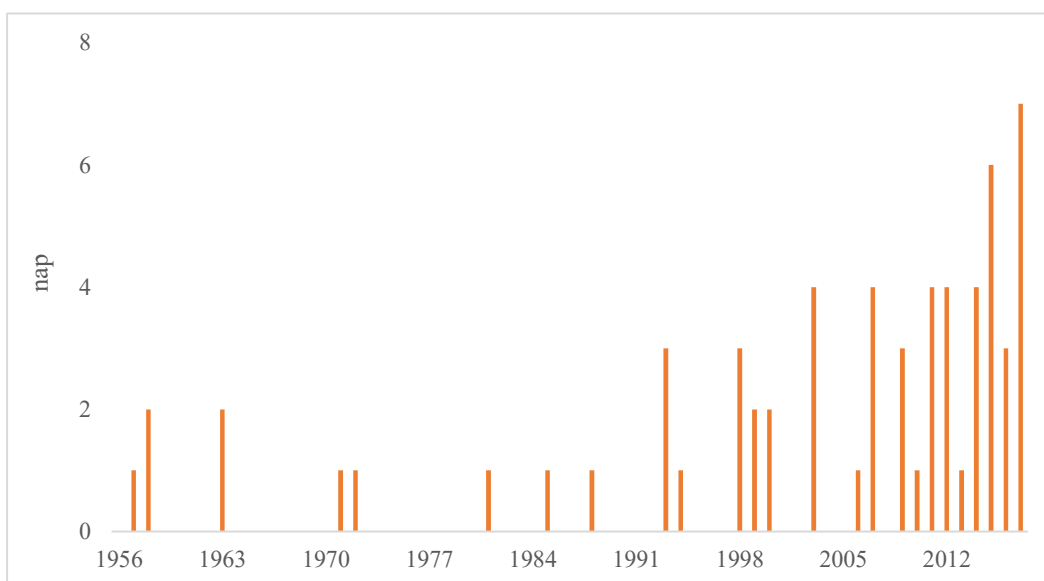
*12. táblázat A hőségnapok száma néhány hegyközségen 1986-2015. Zárójelben a forró napok száma*

Hegyközség	Hőségnapok átlagos száma	Hőségnapok száma (legnagyobb havi szám)	Forró napok száma (legnagyobb havi szám)
Sopron Fertőmenti Hegyközség	16 (3)	19	6
Vaskeresztes	12 (3)	15	5
Zalaszentgróti Hegyközség	18 (4)	22	6
Kerka- és Muramenti Hegyközség	19 (4)	22	6
Zalakaros Térsége Hegyközség	21 (5)	24	7

A vizsgált borvidék szinte minden évben lehet 35 °C feletti hőmérsékletet mérni. A forró napok asszimilációcsökkentő hatása az elmúlt 10-15 évben egyre jelentősebb. Az extrém száraz években (pl. 2007, 2012) a vízhiánnyal párosodva okozott asszimilációcsökkenést. Azokban az években mikor elhúzódtak a hőhullámok, pl. 2007-ben és 2017-ben a károsodás elérte a termésben a 45 %-ot, mely komoly termés kiesést okozott. A gyakoribbá váló, tartós hőhullámok rendszerint heves zivatarokkal és szélviharokkal zárulnak, melyek a Magyar Biztosítók Szövetségétől (MABISZ) kapott adatok alapján, egyes években az összes kárelem közül 50-60 %-os arányt is elérhet.

Az országos trendhez hasonlóan a legintenzívebb hőhullámok 2007-ben, 2017-ben, 2012-ben, 2015-ben, 2011-ben, 2013-ban voltak. Az 1986-2017 közötti időszakban a 10 legintenzívebb hőhullám 1990 után jelentkezett, melyből a 9 legintenzívebb 2000 után. A hőhullámok az emberi szervezettől teljesen ellentétesen hatnak a szőlőre. Megfigyelésem és a szakemberek (borászok) tapasztalata is azt mutatja, hogy azokban az években, amikor voltak hőhullámok, magasabb lett a must cukorfoka és jó évjáratok születtek. A meleg kedvelő fajták kedvelik a meleg periódusokat, amennyiben nem emelkedik a hőmérséklet tartósan a 38 °C-os küszöbérték fölé.

Nyaranta egyre gyakoribbak a trópus éjszakák ( $T_{\min} < 20$  °C), melyek a hőség-, és forró napokhoz hasonlóan az asszimiláció csökkenését eredményezhetik. A trópusi éjszakák száma korábban 1 nap volt, mára ~3 nap.



**21. ábra** A trópusi éjszakák összesített száma a Soproni és a Zalai borvidéken. A jobb szemléltetés céljából az 1956-2015 közötti időszakot ábrázolja

A forró napok és a trópusi éjszakák együttesen játszanak szerepet a száraz időszakok növekedésével a termés veszteségek számának növekedéséhez. Azonban sem a Soproni, sem a Zalai borvidék egyelőre nem tartozik a legveszélyeztetettebb borvidékek közé a tartós hőségtől és a szárazságtól, de az elmúlt 30 évben 6 évben volt tartós szárazság, mikor az aszály mértéke elérte a közepesen erős kategóriát. Az aszály különösen a tenyésztési időszak második felében jelent veszélyt a szőlőtermesztés területén. Július és augusztus hónapokra vetítve 1986-2015 között 21 év volt aszályos (enyhétől-súlyos kategória) a Soproni és a Zalai borvidéken, a két legszárazabb dekád július utolsó és augusztus első dekádja.

Azokat a napokat, amikor 24 óra alatt kevesebb, mint 1 mm csapadék hullik száraz napnak ( $R_{\text{nap}} < 1 \text{ mm}$ ) nevezzük az agroklimatológia területén. A több napig tartó szárazságot, száraz időszaknak nevezzük. Ha a száraz időszak akár több hétig is elhúzódik szárazságról, és ha a talaj vízkészlete kritikus szint alá csökken, aszályról van szó.

A vizsgált borvidéken az egész évre vonatkozóan a legnagyobb valószínűsége az 1-3 napig tartó csapadék nélküli időszak (22. ábra), nyáron ez az érték 1986-2015 között 8 nap. Az 5 napnál hosszabb szakaszok esélye egész évben 32 %, a 10 napnál hosszabb száraz időszakok esélye 11 %, nyáron 28 %, télen 9 %. A száraz időszakok hossza tavasszal 1986-2015 között a Soproni borvidéken 5-6 nap, a Zalai borvidék nyugati felén 2-3 nap, a Zalaapáti-hát területén 5 nap.



**22. ábra A száraz időszakok előfordulása 1986-2015 között a Soproni és a Zalai borvidéken**

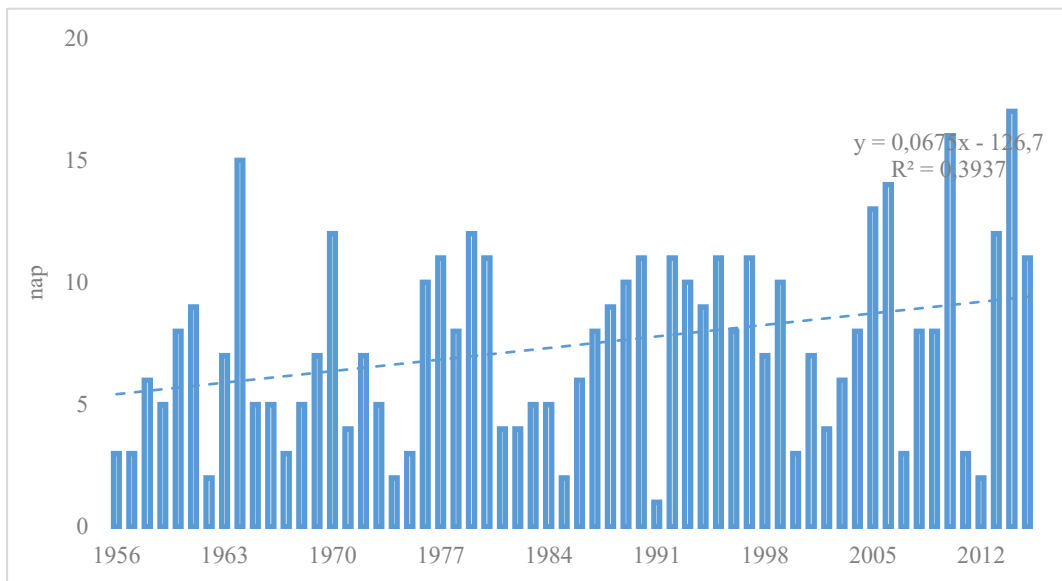
A mezőgazdaság területén elkülönítünk hosszútávú száraz időszakot és nedves időszakot. A hosszú száraz időszak a két borvidék területén június-október időszaka, amikor a talaj és a növények párologtatóképessége erőteljesebb, mint a téli félévben, köszönhetően a meleg időszaknak, az anticiklonoknak. A száraz időszakot mindig megelőzi és követi nedves időszak, amikor a felhalmozódott vízkészlet a rákövetkező száraz időszakban hasznosul (Dunai et al., 1968).

A Soproni borvidék területén korábban 250-260 napig tartott a nedves időszak, októbertől június végéig. A Zalai borvidéken az 1956-1985 közötti időszakban 275 nap volt, melynek változása egyik borvidéken sem szignifikáns. A Soproni borvidéken 4 nappal rövidült, a Zalai borvidéken 6 nappal. A nedves időszak hossza Kőszeghegyalján a leghosszabb 288 nap, a legrövidebb a Vas-Soproni-síkság mentén 249 nap.

A csapadék szélsőségei közül a nagycsapadékú napok ( $R_{\text{nap}} > 20 \text{ mm}$ ) száma mutat szignifikáns változást (23. ábra).

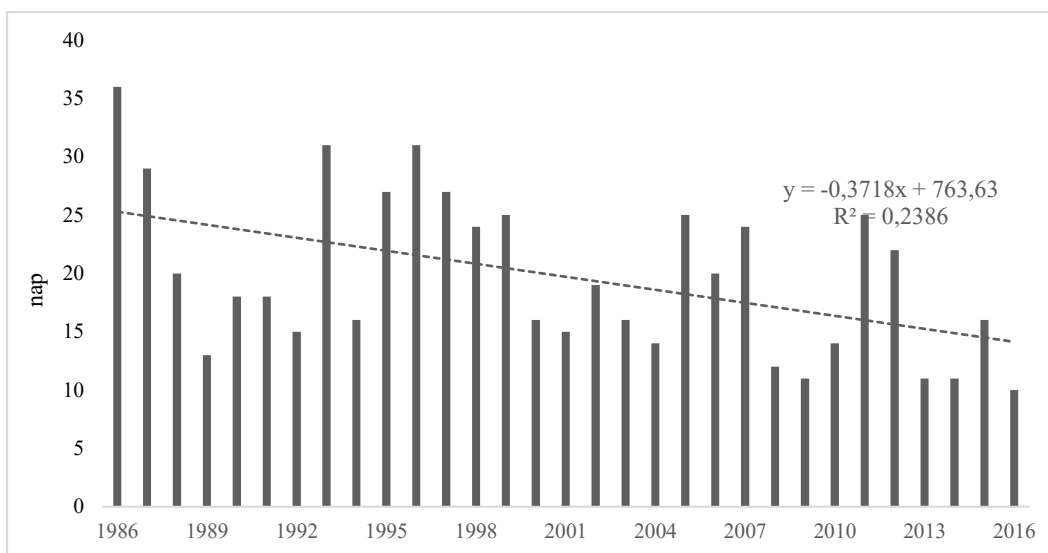
Ennek oka a konvektív eredetű, rövid idő alatt lehulló csapadék és a csapadék intenzitás növekedése a május-szeptember közötti időszakban, amellelt, hogy csökkent a zivataros napok száma. Az elmúlt 30 évben nyáron jelentősen nőtt a konvektív eredetű csapadékhoz (zápor, zivatar) és kísérőjelenségeihez (jégeső, kifutószél, felhőszakadás) kapcsolható károkozás. Azokon a tökesorokon okoz problémát, ahol a terep lejtőszöge meghaladja az  $5^\circ$ -ot, a növényritkulás és a talajerózió markáns.

Pozitív változás, hogy közel 18 %-kal csökkent a 30 mm-t meghaladó extrém csapadékú napok száma, a Soproni borvidéken a csökkenés 25-26 %.



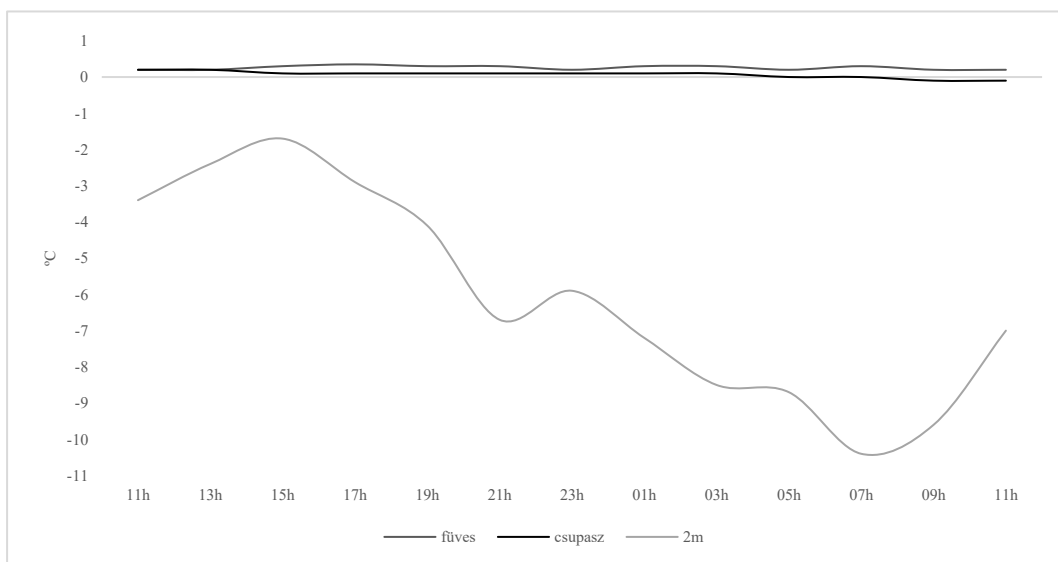
23. ábra A nagycsapadékú napok összesített száma a Soproni és a Zalai borvidéken. A jobb szemléltetés céljából az 1956-2015 közötti időszakot ábrázolja

A csapadék mennyiségén kívül, fontos a csapadék fajtája is a szőlő természetességének szempontjából. Itt kell megemlíteni a hótakarós napokat. A hótakarós napok (a talajt hó borítja) száma releváns tényező, mivel a hó, olvadásakor, lassan szivárog be a talajba, ezáltal a talaj mélyebb rétegeibe is lejut a nedvesség, amely főleg a mélygyökérzetű, idősebb növények számára elengedhetetlen. A gyökérzetnek nincs nyugalmi ideje (*Herbst és Herbst*, 2003). Ha a talaj hőmérséklete nem süllyed 5-6 °C alá, a gyökér növekedése vertikálisan és horizontálisan is folyamatos. Ehhez a szőlőnek nedvességre van szüksége. A téli szilárd halmazállapotú csapadék „szigetelő” tulajdonságával, megvédi a fiatal szárrészeket az erős fagyoktól (*Lobell et al.*, 2008). A Soproni borvidék hóborítottsága az 1956-1985 közötti időszak átlaga alapján 41 nap, a Zalai borvidéken 47 nap, mely az utóbbi 30 évben jelentősen változott (24. ábra). A havas és hótakarós napok is szignifikánsan csökkentek. Előbbi az 1986-2015 közötti időszakban 27 %-kal, utóbbi 22-23 %-kal. A hótakarós napok száma csak március hónapban növekedett, 4 nappal a Zalai borvidéken és 2 nappal a Sopronin a korábbi időszakhoz képest.



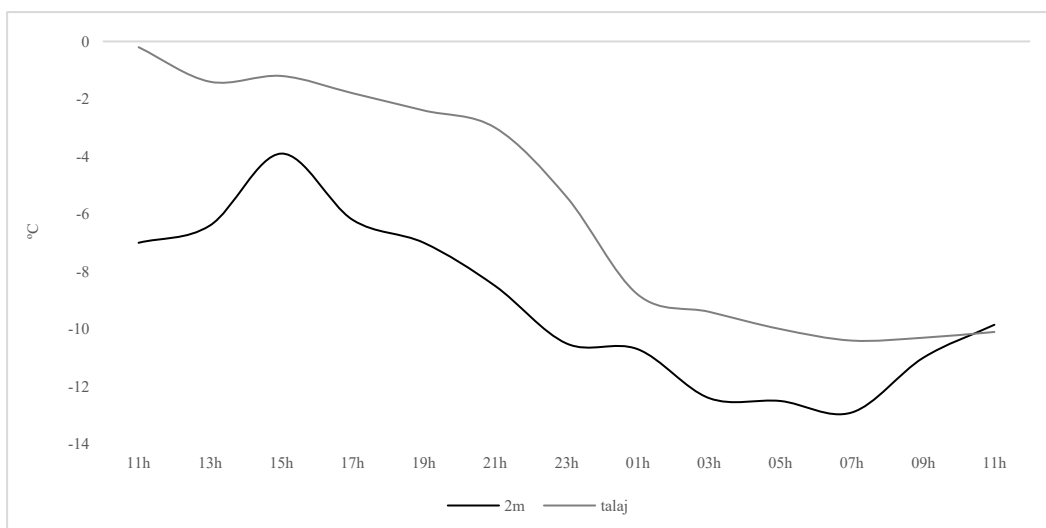
24. ábra A hótakarós napok száma a két borvidéken 1986 és 2015 között ( $p < 0,05$ )

2018. február 24-25-én mértünk hótakaros napon talaj hőmérsékletet, nem átfagyott talajon. A hó típusa friss porhó volt. Kozma (1960) mérési elvét követtük: délelőtt 11 órától másnap 11 óráig tartó 24 órát vizsgáltuk Rapitest digitális hőmérővel a hó alatti füves és hó alatti csupasz talajon 10 cm-es hóvastagságnál, Csörnyeföldön 181 m magasságban, déli kitétségű, barna erdőtalajon.



25. ábra A napi középhőmérséklet menete friss hó felett (2m) és alatt a csörnyeföldi János-hegyen. 2018.01.24-25.

A 25. ábra mutatja a hőmérséklet 24 órás menetét.



**26. ábra** A korábban hóval borított terület megtisztítása és a csupasz talaj napi középhőmérséklete. 2018.01.25-26.

Az ábrán látható, hogy a 10 cm-es hóvastagság erősen szigetelő hatású, a talaj hőmérséklete gyakorlatilag alig változik 1-2 tized és század °C-ot. Miután eltakarítottuk a havat, a csupasz talaj felső 2-3 cm-es vastagságban, 24 óra alatt teljesen átfagyott (26. ábra).

A talajfagy hőmérséklete függ a külső hőmérséklettől, a hó vastagságától, a légmozgástól és a lejtőkitettségtől. Minél mélyebbre kúszik a hőmérséklet, annál mélyebbre húzódik az átfagyott talaj mélysége.

#### 4.1.6. VITIS INDIKÁTOROK

##### 4.1.6.1. HŐMÉRSÉKLETI INDIKÁTOROK

A vegetációs periódus fázisainak normális lefolyásához szükséges hőmérsékleti értékek összege kiszámítható.

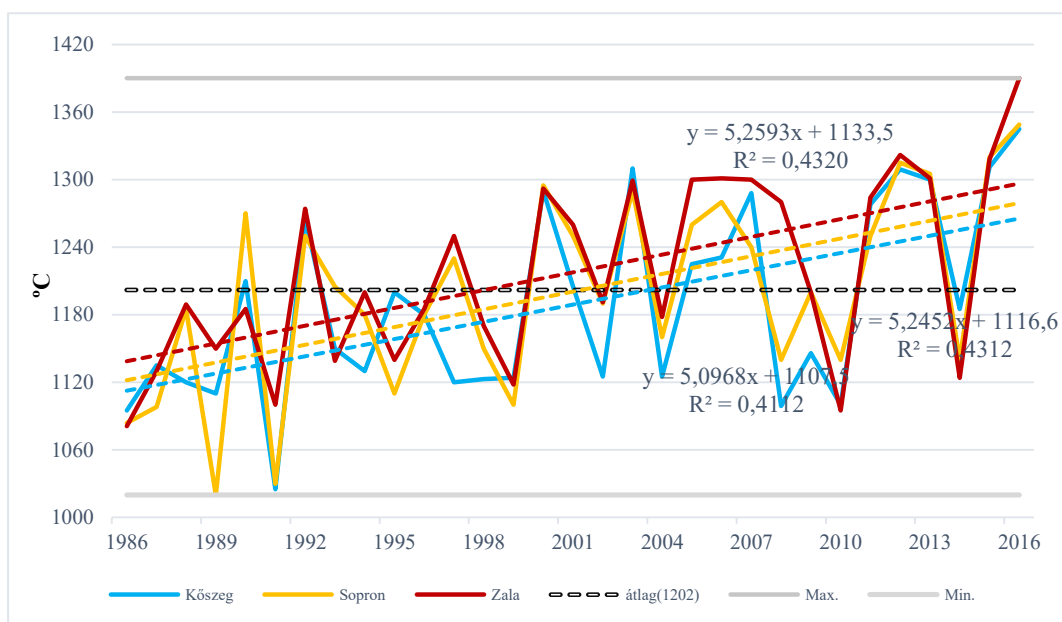
Az aktív és az effektív hőösszeggel jellemezhetők a termőhelyek és az évek.

A szőlőtermesztéshez szükséges minimális effektív hőösszeg (a vegetációs idő teljes hőösszege) 2500 °C, a minimális aktív (hatásos) hőösszeg 850 °C (Kriszten, 1999).

Az effektív hőösszeget megkapjuk, ha vegetációs időszak napjainak középhőmérsékletét összeadjuk az aktív hőösszegnél pedig a biológiai 0 fok (+ 10 °C) feletti hőmérsékletű napok összegét összegét (Tonietto és Carbonneau, 2004).

A szőlőtermesztés szempontjából az aktív hőösszegnek van jelentősége, mivel a szőlő +10 °C felett aktív (Tonnetto és Carbonneau, 2004).

Ez alapján megállapítható, hogy 1986 óta az aktív hőösszeg értékek jelentősen változtak a vizsgált borvidékeken, a Soproni borvidék soproni körzetén 1120 °C-ról 1240 °C-ra, a kőszegi-vaskeresztesi körzet területén 1090 °C-ról 1220 °C-ra, a Zalai borvidék Muravidéki körzetén 1210 °C-ról 1295 °C-ra, a Zala-menti körzetén pedig 1190 °C-ról 1280 °C-ra (27. ábra). A változás mindegyik területen szignifikáns ( $p < 0,001$ ), a szórás értéke a Soproni borvidéken 42,57, a Zalai borvidéken 89,12.

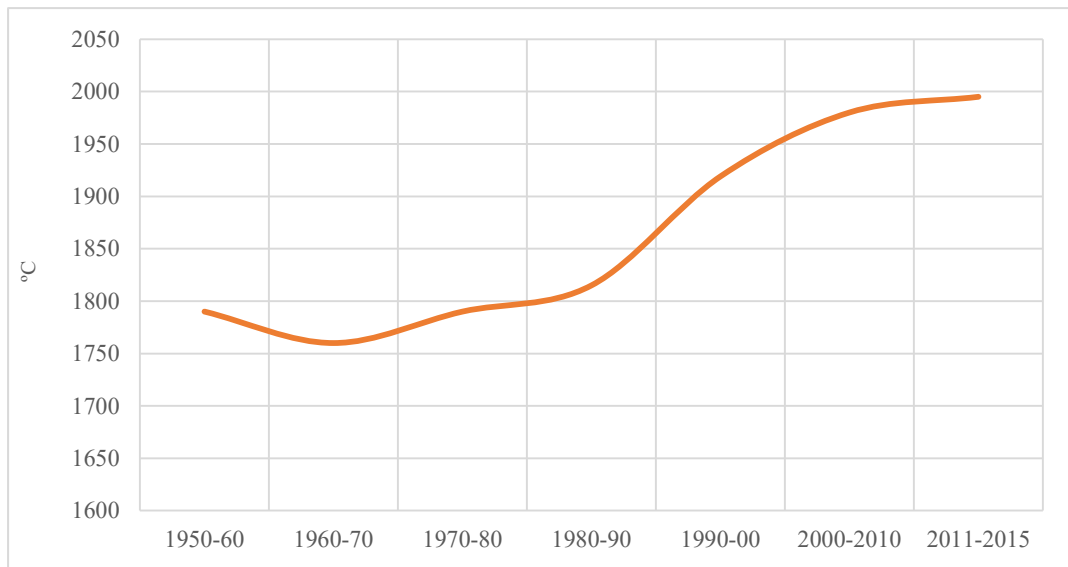


27. ábra Az aktív hőösszeg alakulása évente 1986-2015 között

A 15 °C feletti hőösszegek is emelkedő tendenciát mutatnak. A Soproni borvidéken 335-340 °C-ról 405-410 °C-ra emelkedett, míg a Zalai borvidéken 345-350 °C-ról 425-430 °C-ra. A 15 °C feletti hőösszegek emelkedése szignifikáns mindkét borvidéken ( $p < 0,001$ ), de még így is elmarad az értéke az alföldi szőlőművelésre használt területekhez képest 80-100 °C-kal.

Az aktív hőösszeggel együtt fontos megemlíteni a Huglin-indexet is.

A Huglin-index értéke az 1986-2015 közötti időszakban a Soproni borvidék területén 1890-2100 °C között, a Zalai borvidéken 1950-2190 °C között ingadozik (28. ábra). Az évenkénti adatok szignifikánsan emelkedő tendenciát mutatnak ( $p < 0,001$ ), a szórás 92,65. Mivel javult mindkét borvidék hőellátottsága az elmúlt 30 évben, ezért egyre több borszőlő fajta számára megfelelőek termőterületként (13. táblázat).



28. ábra A Huglin-index évtizedes átlaga a két borvidéken [Megjegyzés: kiegészítve horvátországi (Csáktornya) és szlovén (Pince, Maribor) adatokkal]

13. táblázat A borvidék alkalmassága a Huglin-index 1986-2015 közötti átlaga alapján az egyes borszőlőfajták számára

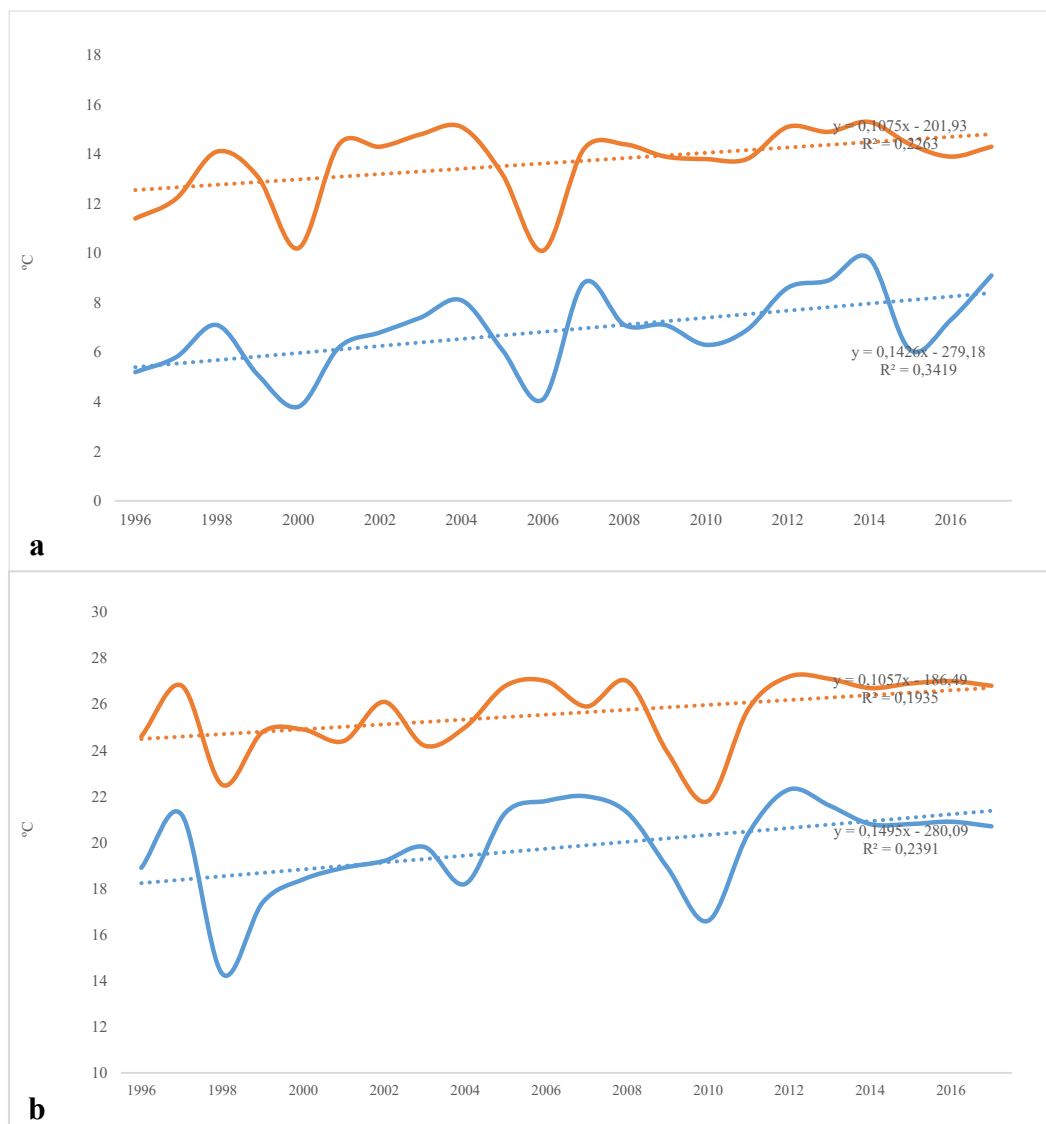
Érték	Szőlőfajta	Megfelelés
$HI \leq 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$	termesztésre alkalmatlan	igen
$1500 \leq HI \leq 1600 \text{ } ^\circ\text{C}$	Müller-Thurgau, Zenit	igen
$1600 \leq HI \leq 1700 \text{ } ^\circ\text{C}$	Pinot Noir, Pinot blanc	igen
$1700 \leq HI \leq 1800 \text{ } ^\circ\text{C}$	Chardonnay, Sauvignon blanc	igen
$1800 \leq HI \leq 1900 \text{ } ^\circ\text{C}$	Cabernet franc, Leányka, Kékfr.	igen
$1900 \leq HI \leq 2000 \text{ } ^\circ\text{C}$	Zweigelt, Pinot gris (Szürkebarát), Merlot	igen
$2000 \leq HI \leq 2100 \text{ } ^\circ\text{C}$	Merlot, Zinfandel, (Syrah)	igen (Zala), részben (Sopron)
$2100 \leq HI \leq 2200 \text{ } ^\circ\text{C}$	Carignan, Grenache	nem
$2200 \leq HI$	Trebbiano, Aramon, Nebbiolo	nem

A tenyészidőszaki középhőmérséklet (április 01.- október 31.) 2,75 °C-kal emelkedett a két borvidéken. A tenyészidőszaki maximumok 2,2 °C-kal, a minimumok 2,1 °C-kal. A tenyészidőszaki középhőmérsékletek átlagát óras mérésekből kalkuláltuk. A hőmérséklet emelkedése 0,95-ös szinten szignifikáns.

A rügyfakadás megindulásához a mi éghajlati területünkön 10-13 °C-os bázishőmérséklet szükséges. A legtöbb fajtánál már 10 °C-on megindul a vegetáció. Emiatt fontos volt vizsgálnunk a rügyfakadás és a virágzás előtti átlaghőmérsékletet. A rügyfakadás előtti 30 nap (március 15. - április. 15.) átlaghőmérséklete 1,8 °C-kal emelkedett, a virágzás előtti 20 nap középértéke 15,1 °C-ról 16,4 °C-ra, a virágzás teljes



ideje alatt 16,4 °C-ról 18,1 °C-ra (28. ábra). A változás mindkét esetben a szignifikáns ( $p < 0,05$ ).



**28. ábra** A rügyfakadást megelőző 30 nap (a) és a virágzás előtti 20 nap (b) közép-, és maximumhőmérséklet átlaga évente 1996-tól a Soproni és a Zalai borvidéken

A hajtásnövekedéshez és a virágzáshoz 25-30 °C-os maximumhőmérsékletre van szüksége a növénynek. A virágzás ideje alatti maximumhőmérséklet átlaga 1996 után a Soproni borvidéken 26,2 °C, a Zalai borvidéken 27,4 °C. A szórás értéke a Soproni borvidéken 0,98, a Zalai borvidéken 0,86.

A zsendülés előtti középhőmérséklet (július 01. – július 15.) 18,4 °C-ról 20,8 °C-ra emelkedett, a szórás értéke 1,77.

A szőlő cukortartalmának növekedéséhez és savtartalmának csökkenéséhez a júniustól augusztus végéig tartó hőmérsékletnek van döntő szerepe. Egyes fajtáknál a

szeptember hónap középhőmérséklete is fontos. A nyári középhőmérséklet 19,1 °C-ról 20,5 °C-ra emelkedett.

Az augusztus 15. és október 15. közötti átlaghőmérsékleteket összegzi az érésidei középhőmérséklet-indikátor, mely 15,9 °C az 1986 és 2015 közötti időszakban, ez 1,78 °C-os emelkedés, a szórás 0,23.

A szőlő növényt és a termést ért hőstresszt a szüretidei maximumhőmérséklet-indikátorral lehet elemezni. A két borvidék átlagában 22,2 °C-ról 25,4 °C-ra emelkedett, a szórás értéke 1,11.

14. táblázat Néhány hőmérsékletből származtatott indikátor változása

Indikátor	1956-1985	1986-2015
Januári középhőmérséklet °C	-0,8	0,6
Júliusi középhőmérséklet °C	19,4	21,2
Tenyészydőszak középhőmérséklet (04.01. – 10.31.) °C	15,2	17,9
Tenyészydőszak maximumhőmérséklet (04.01. – 10.31.) °C	23	25,2
Tenyészydőszak minimumhőmérséklet (04.01. – 10.31.) °C	7,4	9,5
Fotoszintézis Kritikus Pont (FTK) ( $T_{max} > 38.5$ °C) nap	1	2
Hidegéjszaka Index (Szeptember) °C	10,2	10,6

A 14. táblázatban figyelhetők meg további hőmérsékletből származtatott szélsőséges indikátorok. A táblázatban az indikátorok átlagát írtam le.

A hőmérsékleti indikátorok közül a fentebb említettek és a táblázatban szereplők mindegyike szignifikáns változást mutat ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,05$ ), kivéve az FTK-t és a hidegéjszaka index-et. E változások megmutatkoznak a vizsgált fenológiai fázisok alakulásában is, mivel a borszőlő a megfigyelt borvidékeken rendkívül érzékenyen reagált a változásokra.

A szőlő a téli félév folyamán is a szabadban van, ezért el kell viselnie a tél viszontagságait. Az alkalmazkodóképességének is vannak határai, s ha ezt túllépik az időjárási és éghajlati viszonyok, a növények károsodnak. Ezt az időszakot hívjuk nyugalmi időszaknak, mely a két borvidéken október utolsó dekadjától április első dekadjáig tart. Erre az időszakra kalkulálták ki a szakemberek a téli középhőmérséklet-indikátort, melyet a november 1. és február utolsó napja közötti időszakra vizsgálnak, azonban mi március

10-ig terjedő napokkal kiegészítettünk, mivel a legtöbb évben a téli fagyok és a téli jellege az időjárásnak kitolódik. Ennek értéke a Zalai borvidéken 1,11 °C-ról 1,91 °C-ra emelkedett (szórás: 0,41), míg a Soproni borvidéken 1,08 °C-ról 1,97 °C-ra (szórás: 0,39). A hőmérséklet emelkedése nem szignifikáns 1986-2015 között, azonban az 1995-2015 közötti időszakban igen ( $p < 0,05$ ).

Ismeretes, hogy a rügyek csak a kedvezőtlen, hideg, fagyos időjárás miatt maradnak nyugalomban. Ha a hőmérséklet nem süllyedne 5-6 °C alá, a keringés elindulna a szőlőben, mely a rügyek kifakadásához vezetne. Ezért fontos, hogy januárban hideg legyen és a növény kényszerből nyugalomban maradjon. Ezért kell vizsgálni a januári hónap középhőmérsékletét. A januári középhőmérséklet -0,8 °C-ról +0,6 °C-ra emelkedett (Soproni borvidék 0,62 °C, Zalai borvidék 0,68 °C), mely változás szignifikáns ( $p < 0,05$ ).

Télen a nyugalmi és a kényszernyugalmi időszak alatt a szőlő kevésbé károsodik a fagyoktól, mint tavasszal és ősszel. A szőlő fagyindex ( $T_{\min} < -8^{\circ}\text{C}$ ) vizsgálata azt mutatja, hogy a -8 °C-nál alacsonyabb hőmérsékletek száma 53-ról 32-re csökkent a két borvidéken. A változás szignifikáns ( $p < 0,05$ , szórás: 6).

A -15 °C-nál alacsonyabb maximum értékek ( $T_{\max} < -15^{\circ}\text{C}$ ), főleg akkor fordultak elő, amikor vastag hótakaró borította a felszínt és szibériai hideg levegő árasztotta el a Kárpát-medencét. Egyetlen évben sem érte el a 3 napot a száma. A szőlő súlyos fagyindex ( $T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$ ) értéke a Zalai borvidéken 6,5 nap, a Soproni borvidéken 5 nap, mely kb. 4 nappal kevesebb, mint korábban.

A tavaszi fagyos napok száma emelkedett a két borvidéken, annak ellenére, hogy a minimumok, a maximumok és a középhőmérsékletek intenzív emelkedést mutatnak.

A vizsgált hegyközségi területeken a március 1. és május 31. közötti időszakban 9-ről 12-re emelkedett a fagyos napok száma, a Zalai borvidéken 14 nap. Egyes években, mint pl. 2017 olyan súlyos károkat okoztak a késő tavaszi fagyok, hogy a frissen nyílt rügyek egyes gazdáknál 100 %-ban elfagytak. A klímszenáriók szerint az ezredforduló óta növekvő tavaszi fagyos napok száma a 21. század közepéig jelentős csökkenő tendenciát fognak felvenni, az évezred utolsó három évtizedére akár 2-3 napra is csökkenhet a számuk, ennek szignifikancia szintje ( $p < 0,001$ ) (Kovács *et al.*, 2017).

Az őszi fagyos napok száma nem szignifikánsan, de csökkent mindkét borvidéken a szeptember 1. és november 30. közötti három hónapban. A tavaszi fagyos napok számához hasonlóan az egyes klímszenáriók ezen indikátor esetében is szignifikáns csökkenést várnak (Gaál *et al.*, 2012).

#### 4.1.6.2. CSAPADÉKINDIKÁTOROK

Az éghajlatváltozás kapcsán a csapadék változásának megfigyelése és előrejelzése a legbizonytalanabb tényező. A legtöbb előrejelzés a Kárpát-medence nyugati területére csökkenő csapadékmennyiséget jelez, a mai trendtől eltérően. Ezért a csapadékmennyiségek mérése, kiértékelése igen nagy jelentőségű.

Az 1986 és 2015 között mért csapadékindikátorok eltérései nem szignifikánsak a legtöbb esetben, azonban a tenyészidőszaki csapadékmennyiség szignifikánsan csökkent ( $p < 0,05$ ), 402 mm-ről 360 mm-re (szórás: 68,87).

A nyugalmi időszak csapadék mennyisége 16-18 %-kal nőtt az elmúlt 30 évben az 1956-1985 közötti időszakhoz viszonyítva.

Az éves csapadékmennyiség 1986 és 2015 között nem változott szignifikánsan ( $p=0,19$ ). A virágzás ideje alatt ( $p=0,71$ ) és az érésidő alatti csapadékmennyiség ( $p=0,18$ ) ugyan változott, de nem szignifikáns és az extrém száraz napok ( $R_{\text{nap}} < 0,1$  mm) száma sem mutat szignifikáns változást ( $p=0,24$ ). A tenyészidőszak csapadékos napjainak száma 1986 és 2015 között szignifikánsan csökkent ( $p < 0,05$ ) (15. táblázat).

15. táblázat Néhány csapadékból származtatott indikátor változása

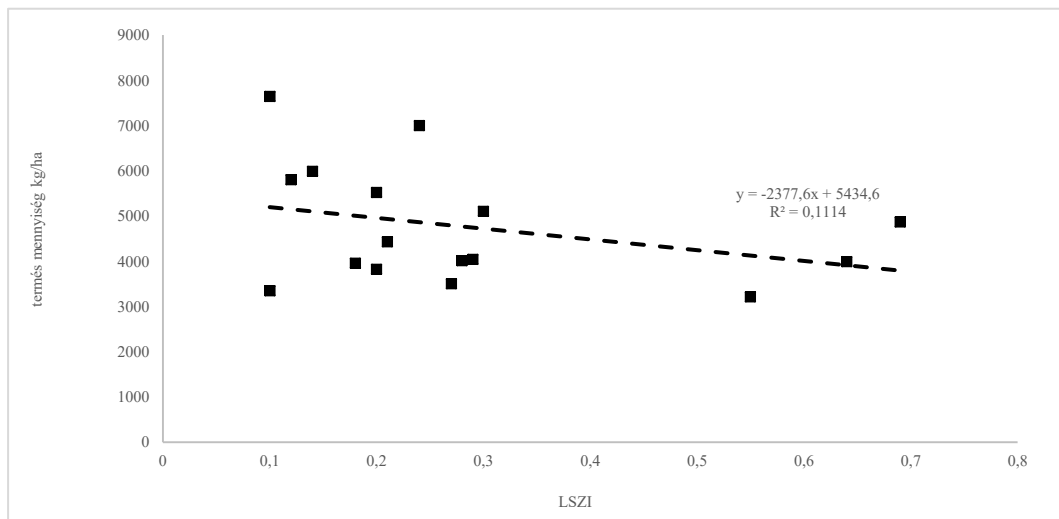
Indikátor	1956-1985	1986-2015
Tenyészidőszaki csapadék (04.01.-10.31) mm	502	460
Nyugalmi időszaki csapadék (11.01.-03.31.) mm	258	292
Tenyészidőszak csapadékos napjainak száma (04.01.-10.31) nap	59	42
Virágzás ideje alatti csapadék (05.15. – 06.30) mm	85	74
Érésidei csapadék (08.15. – 10.15) mm	131	118
Zsendülést megelőző csapadék (07.01. – 07.15) mm	21	16

A szárazság megelőzésének tevékenységekben fontos szerepet tölthet be a Légköri Szárazság Index (LSZI). Amennyiben az értéke elérné az 1-et, abban az esetben beszélhetnénk légköri szárazságról (16. táblázat).

16. táblázat Az LSZI értékei és a vízellátottság mértéke

LSZI értékei	Növények vízellátottsága
0,0 < LSZI < 0,2	kedvező vízellátottság
0,2 < LSZI < 0,4	kielégítő vízellátottság
0,4 < LSZI < 0,6	mérsékeltlen kedvezőtlen, akadozó vízellátottság
0,6 < LSZI < 0,8	erős légköri szárazság
0,8 < LSZI < 1,0	súlyos légköri szárazság, növényi vízháztartás felborulása
1,0 < LSZI <	szélsőséges légköri szárazság, növények elpusztulása, vízstresszes állapot

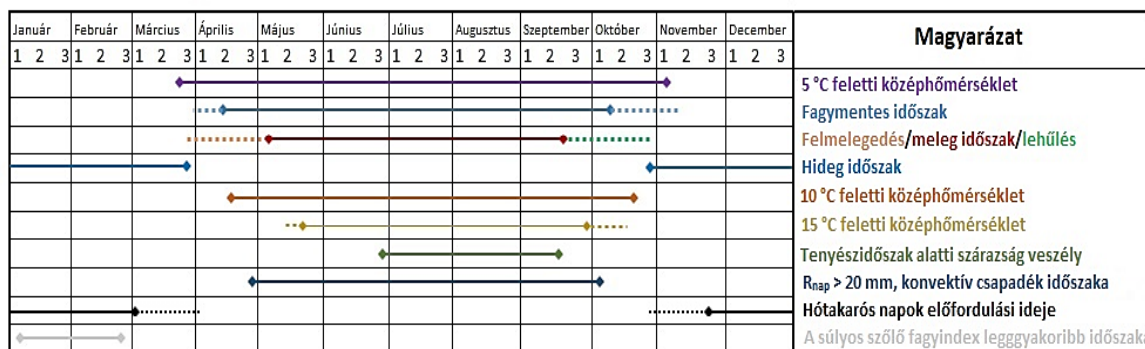
Korrelációs vizsgálatot végeztem az LSZI értéke és a borvidék éves termésátlaga között. A korreláció eredménye a Soproni borvidéken  $r=0,28$ , a Zalai borvidéken  $r=0,21$  lett, szignifikancia nem mutatható ki.



29. ábra Az LSZI és a termés mennyiség közötti kapcsolat a Soproni és a Zalai borvidéken

Kijelenthető, hogy az 1990-2015 közötti időszakban a szőlő termésátlagát a Soproni és a Zalai borvidék területén nem befolyásolta légköri szárazság 16 éves átlagban, azonban volt három év 2003, 2007 és 2012, amikor az LSZI értéke 0,4 és 0,7 közötti volt, tehát a hármas és a négyes kategória. Ennek ellenére a két borvidék légköri aszálytól egyelőre nem veszélyeztetett.

A Soproni és a Zalai borvidék természetes hőmérsékleti és csapadék időszakait a 30. ábra mutatja. Az ábráról leolvasható, hogy néhány indikátor előfordulási esélye mikor esedékes, illetve, a száraz és a nedves, a hideg és a meleg időszakok előfordulása és ciklikussága a két területen, 30 év átlagában.

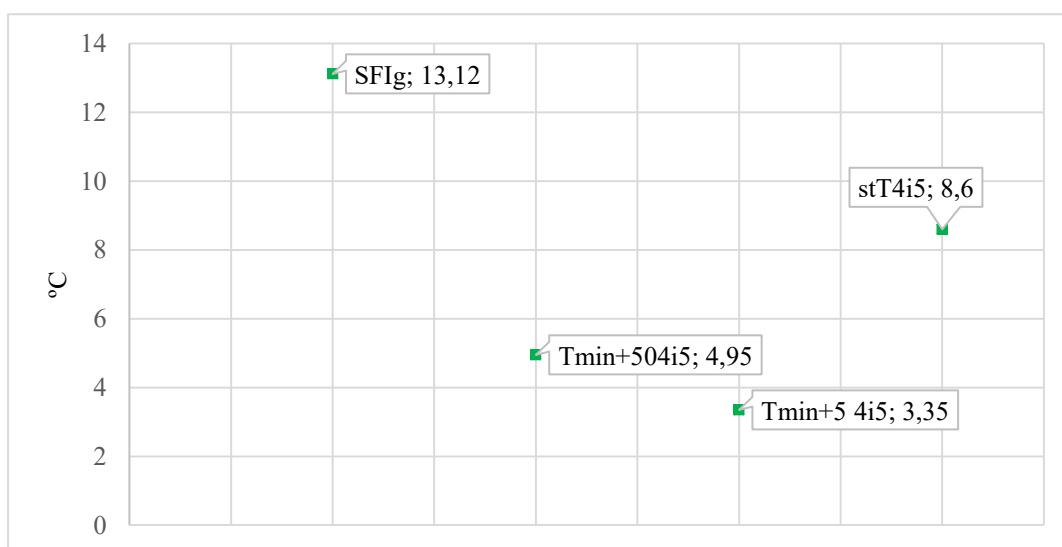


30. ábra A Soproni és a Zalai borvidék természetes hőmérsékleti és csapadék időszakai 1986-2015

#### 4.1.7. FAGYINDEXEK

Tavasszal a bázishőmérséklet átlépése után a vegetációs periódus első szakaszában hőmérsékleti szempontból a növények termesztése koránt sem veszélymentes. A bázishőmérséklet tavaszi átlépésének időpontja és az utolsó tavaszi fagy időpontja és a középhőmérséklet bázishőmérséklet alá süllyedésének időpontja közötti időszakot tavaszi fagyveszélyes időszaknak nevezzük (Varga-Haszonits, 1987).

Az áprilisi és a májusi időszakban a kisugárzás miatti éjszakai minimumok még 0 °C alá süllyedhetnek. Amennyiben a vegetáció elindul, komoly fagykárak keletkezhetnek.



31. ábra A tavaszi fagyindexek értékei a Soproni és a Zalai borvidéken

Ezen fagykárak megelőzésére kalkulálta ki Gladstones (1992) a tavaszi fagyindexét.

A Gladstones-féle Tavaszi Fagyindex értéke 1986-2015 között kb. 0,7 ponttal változott a korábbi klímaperiódushoz képest,  $SFI_g = 13,12$ , a Soproni borvidéken 12,94, a Zalai borvidéken 13,25, a szórás értéke 0,25 (31. ábra). Az indikátor szerkezetének oka, hogy a nedvkeringés elindulása után nagyobb felmelegedés esetén enyhébb fagy is hasonló károkat tud okozni, mint a nyugalmi időszakban egy súlyosabb fagy. Minél nagyobb az index értéke, annál nagyobb fagykockázatot indukál. Az indikátor hasznos, de nem a legmegfelelőbb egy hosszútávú trend felállítására, mivel április hónapban egyre több nap nyári nap ( $T_{max} > 25 \text{ °C}$ ) az utóbbi 15-20 évben, másrészt paraméterei csak egy adott év, április havi utólagos kockázati leírására elegendők.

A Gladstones-féle Tavaszi Fagyindexen túl pontosabban is megbecsülhető egy adott termőhely tavaszi fagykockázata.

Ezek a következők:

$T_{min4i5}$  = átlagos minimum hőmérséklet április-május hónapban

$T_{min+5 4i5}$  = átlagos minimum hőmérséklet április-május hónapban a talaj felett 5 cm-es magasságban

$T_{min+50 4i5}$  = átlagos minimum hőmérséklet április-május hónapban a talaj felett 50 cm-es magasságban.

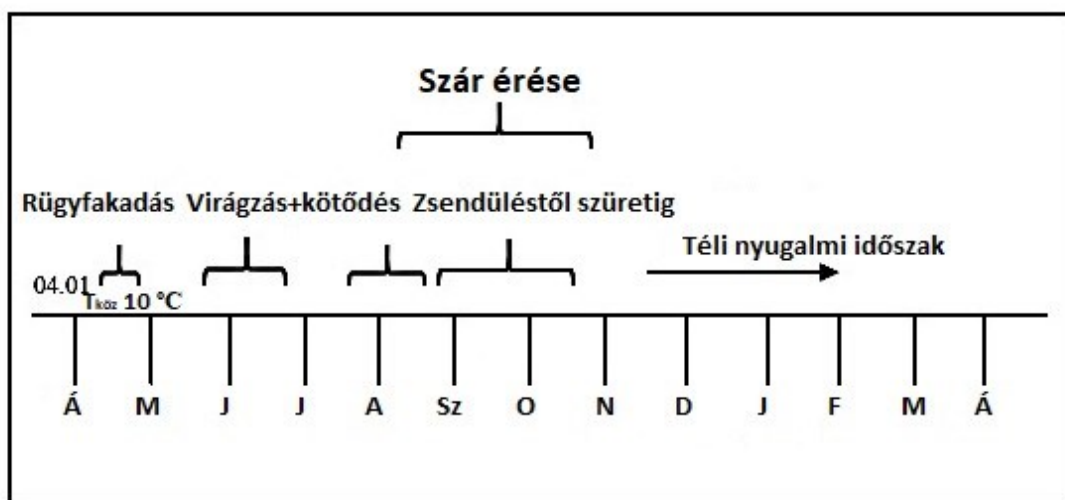
17. táblázat A 2 m, 5 cm és 50 cm-es magasságban mért fagyindexek értékei

Sopron	2006-2015	Szórás	Zala	2006-2015	Szórás
$T_{min4i5} \text{ (°C)}$	8,7	0,21	$T_{min4i5} \text{ (°C)}$	8,5	0,38
$T_{min+54i5} \text{ (°C)}$	3,8	0,14	$T_{min+54i5} \text{ (°C)}$	2,9	0,71
$T_{min+504i5} \text{ (°C)}$	5,1	0,09	$T_{min+50 4i5} \text{ (°C)}$	4,8	0,26

Az 5 cm-es és 50 cm-es magasságban mért értékek alapján megállapítható, hogy a Zalai borvidéken nagyobb az esélye tavaszi és késő tavaszi fagyoknak 10 év mérési átlagából megfigyelve (17. táblázat). A két fagyindex értéke alapján a közepes fagykockázatú területekhez sorolható a Zalai borvidék, míg a Soproni borvidék az alacsony fagykockázatú termő területek közé. A 200 cm-es OMSZ és saját adatok azt mutatják, hogy a növekvő tavaszi hőmérséklet ellenére, nőtt a késő tavaszi fagyos napok száma, mely évről-évre a rügyek elfagyását okozza. Nagyon erős, közel 100 %-os kárt okozott többek között a 2016. április 26-28. közötti fagy Zalában és Kőszeghegyalján is.

## 4.2. FENOLÓGIAI VÁLASZADÁS

A szőlő vegetációs időszaka és a fejlődése tavasszal a nedvkeringéssel indul meg és a rügyfakadásig tart. A második szakasz a rügyfakadástól a virágzásig tart, majd ezt követi a tömeges virágzás. A harmadik szakasz a zsendülés időszaka, majd a sejtépítés szempontjából legfontosabb fenofázis a bogyók és a szár érése következik. A bogyók (termés) kellő beérését zárja a szüret, végül ősszel novemberben a lombullás, mellyel kezdetét veszi a nyugalmi időszak (32. ábra).



32. ábra A Soproni és a Zalai borvidék hat vizsgált fajtájának vegetációs időszaki egvszerűsített ábrája (saját ábra)

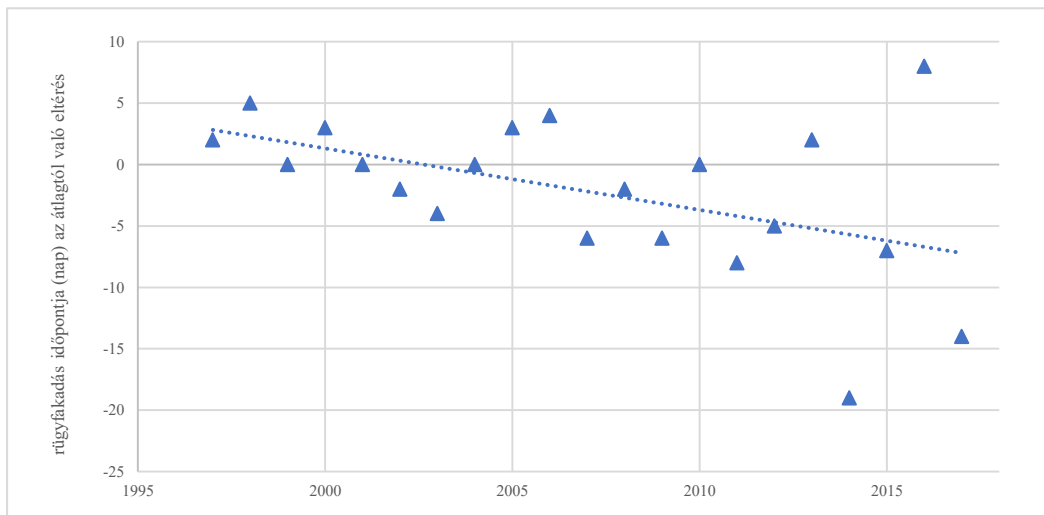
### 4.2.1. RÜGYFAKADÁS

A rügyfakadás a rügynek az az állapota, amikor a rügyből fejlődő hajtás első levélkéje elválik a rügygyapottól. Ez a fejlődési szakasz, akkor indul meg, amikor a talaj hőmérséklete eléri a  $7-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, a levegő hőmérséklete pedig a  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Megfigyeléseink szerint a teljes állományon kb. 8-10 nap alatt megy végbe, ami függ az időjárási viszonyoktól, a besugárzástól és fajtától.

A rügyfakadás kezdő időpontjait a vizsgált termőhelyeken akkor jegyeztük fel, amikor az állomány 1 %-ánál megtörtént a rügy kipattanása.

A rügyfakadás ideje a két borvidéken 7 nappal korábban történik, a korábbi időszakhoz viszonyítva (33. ábra).

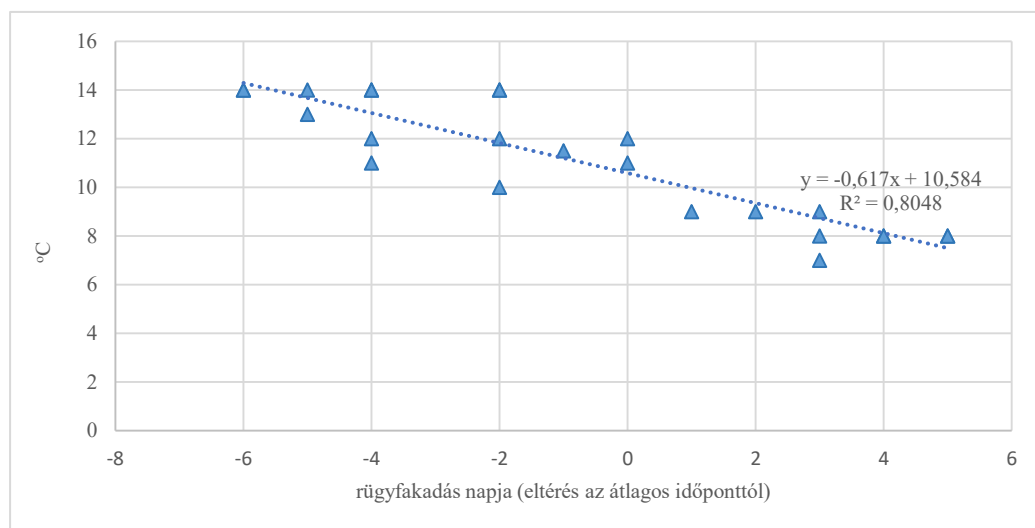




33. ábra A rügyfakadás időpontja 1996 és 2017 között (0 = április 10-12)

A rügyfakadás korábbi elindulásának fő oka a tavaszi közép-, és maximumhőmérsékletek változása. Mint korábban írtam, a rügyfakadást megelőző 30 nap hőmérséklete mindkét borvidéken emelkedést mutat.

A rügyfakadás időpontja és a hőmérséklet közötti kapcsolat erős, szignifikáns. A korreláció értéke  $r=0,81$  (34. ábra).

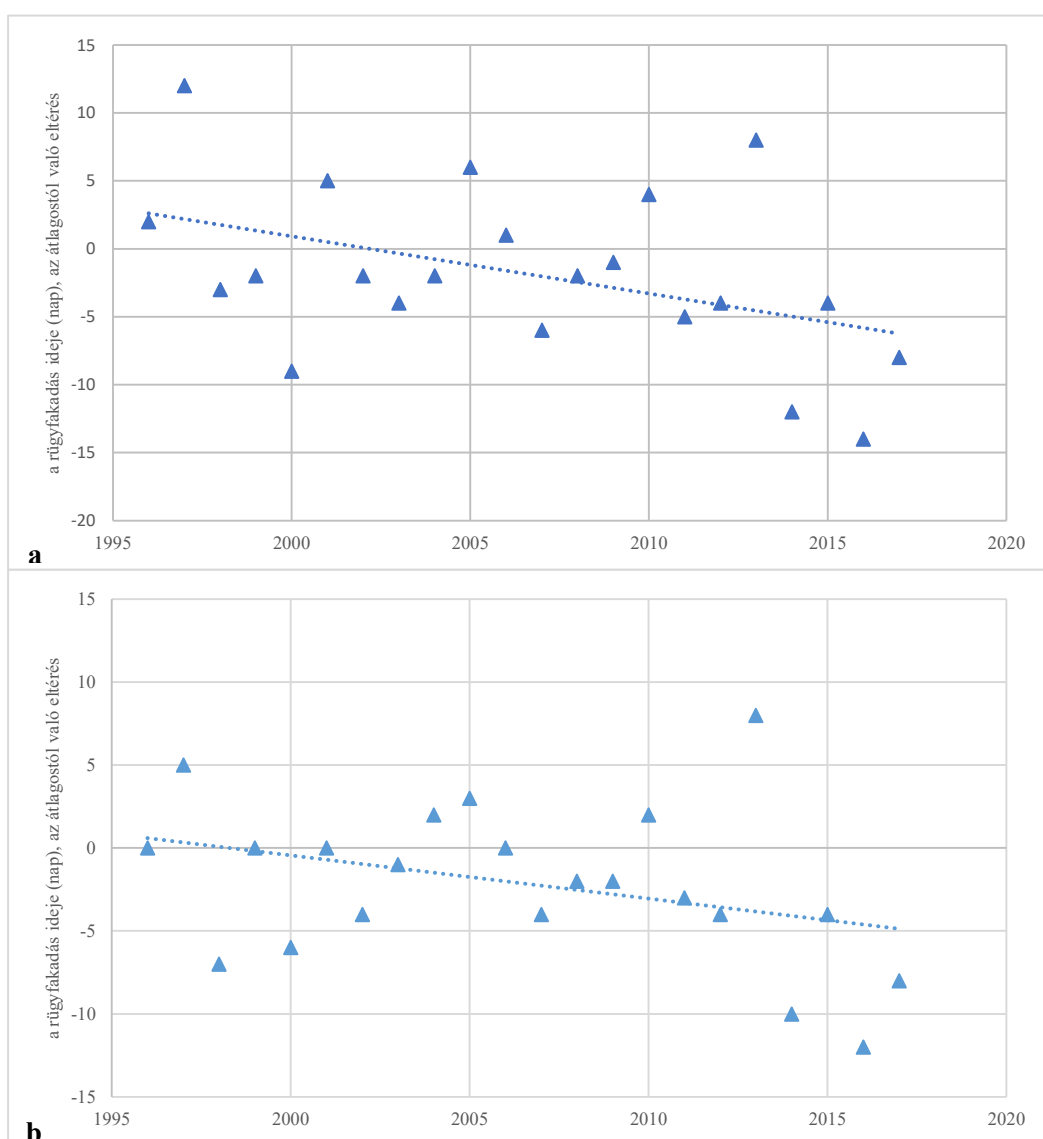


34. ábra A rügyfakadás időpontja és a maximum hőmérsékletek közötti matematikai kapcsolat

A hőmérséklet változására a Rizlingszilváni reagál a legérzékenyebben, ennél a fajtánál 9 nappal az eltolódás, míg a Kékfrankos a legkevésbé, a rügyfakadás 6 nappal történik korábban (18. táblázat; 35. ábra).

18. táblázat A megfigyelt fajták rügyfakadás alatti válaszáda a hőmérséklet emelkedésére

Fajta	Korreláció (r)	Eltolódás (nap)	Szórás (Zala és Sopron)
Olaszrizling	0,79	-8	2
Rizlingszilváni	0,84	-9	2
Királyleányka	0,77	-7	4
Zweigelt	0,83	-7	1
Kékfrankos	0,77	-6	2
Szürkebarát	0,82	-7	3



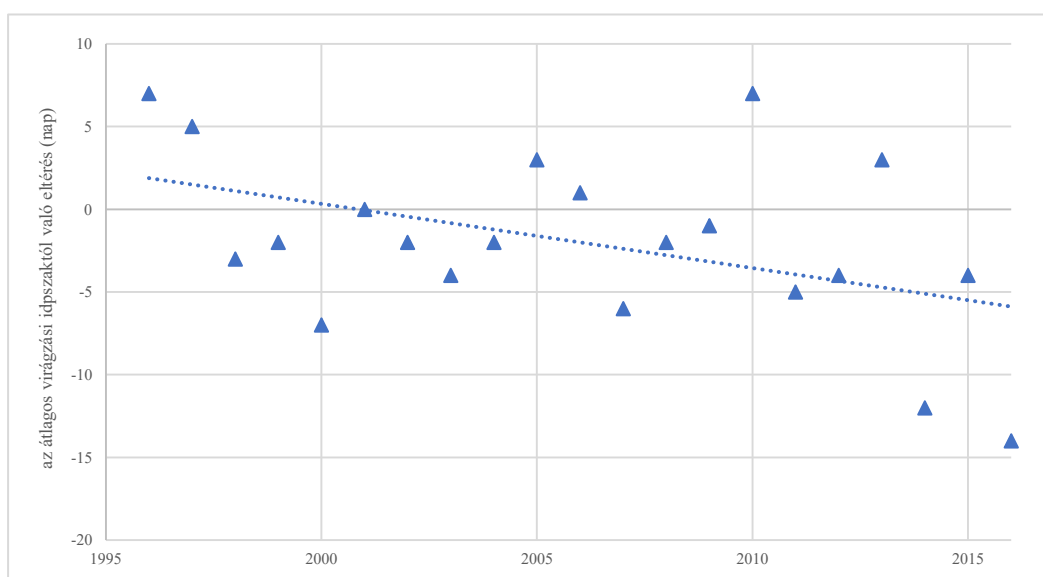
35. ábra A Rizlingszilváni (a) és a Kékfrankos (b) megfigyelt rügyfakadási ideje

A hőmérséklet erőteljes emelkedésének valószínűsíthető eredménye, hogy a rügyfakadás és a virágzás közötti időszak közel 4,5 nappal rövidült. Ennek egyik fő oka, a nyári napok emelkedő száma, illetve a májusi középhőmérséklet emelkedése. A tavaszi talajmenti fagyok nem befolyásolják a két fenofázis egymáshoz közeledtét, mivel nagyon ritka, hogy egymás követően 1 maximum 2 napnál több legyen a számuk, illetve a délelőtti folyamán már erőteljes a nappali felmelegedés.

#### 4.2.2. VIRÁGZÁS

A virágzás általában május utolsó dekádjának idején indul. A fázis hossza általában 28-35 nap között változik, de egyes években elérheti a 40 napot is.

A napi középhőmérséklet a fenofázis ideje alatt 16-19 °C, június második felében eléri már a 20-21 °C-ot. A csapadék mennyisége a két borvidéken 60-150 mm között változik. A vizsgált fajták vízigénye a virágzás ideje alatt 65-80 mm. 1996 és 2017 között a virágzás ideje változott, 6,5 nappal történik korábban, a Zalai borvidéken 7, a Soproni borvidéken 5 nappal korábban (36. ábra).

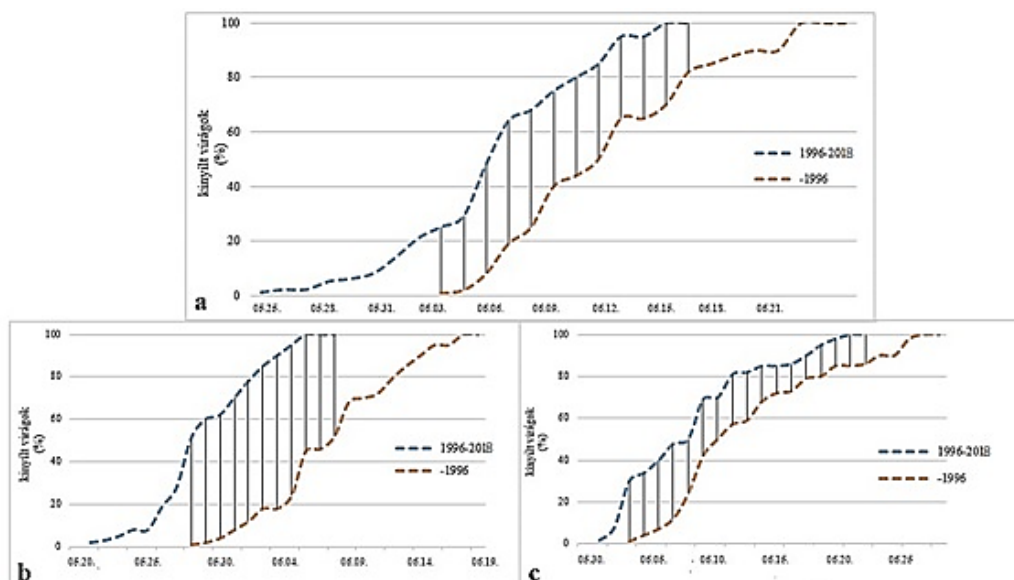


36. ábra A virágzás kezdetének eltolódása a Soproni és a Zalai borvidék átlagában

Bár a virágzás ideje korábban történik, de a tömeges virágzás - a virágok 55-60 %-a kinyílt -, 2-3 nappal későbbre tolódott (37. ábra).

A virágzás ideje alatt fontos a magas, de nem forró hőmérséklet, a megfelelő páratartalom és a 60-70 mm csapadék a virágok fejlődéséhez.

A virágok korai lehullását több évben is megfigyeltem, de ez a termőterülettől függ, hogy milyen mértékben jelentkeznek. Klimatikus okok közé sorolható a túl alacsony páratartalom, a csapadék, szeles időjárás, júniusban a hőségnapok és a forró napok.



37. ábra A virágzás folyamata a Soproni és a Zalai borvidéken. (a) összes fajta, (b) Zweigelt, (c) Szürkebarát

A hőmérséklet emelkedésére és a csapadék csökkenésére a virágzás ideje alatt a Zweigelt reagál a legérzékenyebben, a kapcsolat  $r=0,79$ , míg a Szürkebarát a legkevésbé ( $r=0,64$ ) (19. táblázat).

19. táblázat A virágzás idejének eltolódása a megfigyelt fajtáknál

Fajta	Korreláció (r)	Eltolódás (nap)	Szórás (Zala és Sopron)
Olaszrizling	0,68	-6,5	4
Rizlingszilváni	0,77	-7,5	3
Királyleányka	0,75	-7	5
Zweigelt	0,79	-8	5
Kékfrankos	0,71	-5	2
Szürkebarát	0,64	-4,5	2

A virágzás befejeztével, a pártasapkák nagy része lehullik, kezdetét veszi a bogyók kötődése. A magház növekedésnek indul. Azok a virágok, amelyek nem termékenyültek meg, lehullnak. A fűtzáródás kezdetével elindul a bogyók érése, a zsendülés.

#### 4.2.3. ZSENDÜLÉS-SZÜRET

A bogyó érése a zsendüléssel kezdődik (ezt megelőzi a bogyó kialakulása és növekedése), mely során alapvető változások játszódnak le és a szürettel fejeződik be. A folyamat során a termés rugalmassá válik, puhul, majd a fajtára jellemző színárnyalatot vesz fel.

Az érésnek három al-fázisa van: a zsendülés, a teljes érés és a túlérés. A teljes érés elérésekor megszűnik a víz, a cukor és a savak beáramlása és felhalmozódása a bogyóban.

Az érés időszaka július közepétől szeptember második dekádjáig tart a két borvidéken. Átlagos hosszúsága a vizsgált fajták esetében 40-70 nap. Ez függ a hőmérséklettől, a csapadéktól. Azokban az években, amikor a hőhullámos időszakok megsokasodnak, nagyon kevés a csapadék, a folyamat rövidebb (pl. 2012-ben augusztus második és harmadik dekádján már szüreteltek, a legkorábbi szüretet ebből az évből augusztus 18-án jegyeztem fel az Alsó-Szemenyei szőlőhegyen), amikor viszont hűvös a nyár, sok a csapadék és a konvektív időjárási esemény, illetve magas a relatív páratartalom 80-85 napig is eltart a teljes folyamat (pl. 2010).

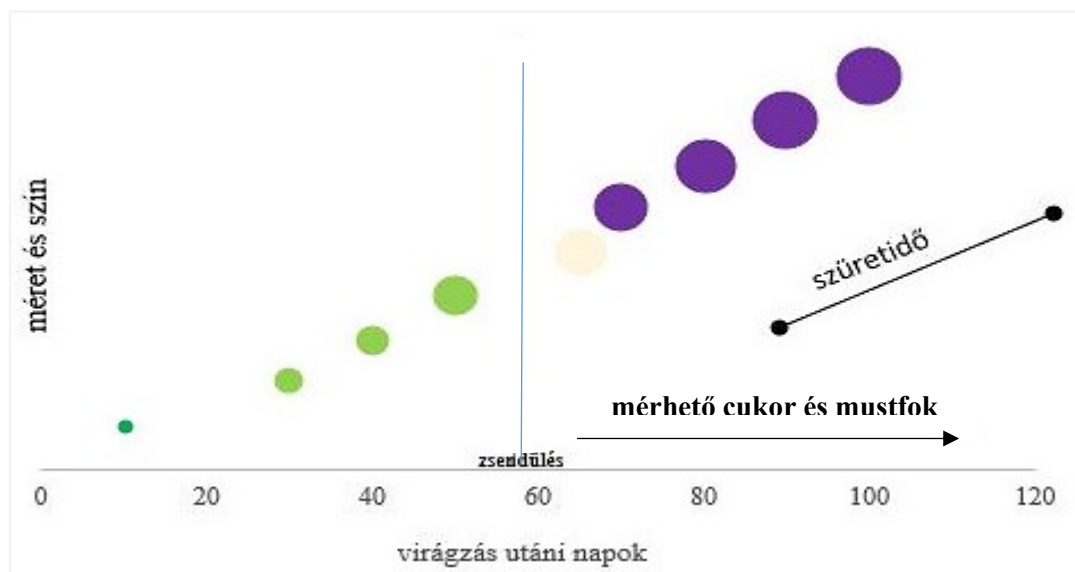
A napsütéses órák száma tág határok között mozog ebben az időszakban 500-750 óra átlagosan, a csapadék mennyisége 60-250 mm.

A zsendülés kezdeti idejének eltolódása 8 nap, a szórás 5 (nap). Ennél a fenológiai fázisnál nehéz összesíteni és pontos változást leírni, mivel akár 1-2 tőkesoron belül is jelentős különbségek lehetnek. A korreláció mindegyik fajta esetében erős, a hat fajta átlaga  $r=0,79$  (20. táblázat). Feltételezésem szerint a zsendülés időszaka a jövőben még korábbra fog tolni, az éréssel együtt fog rövidülni a folyamata, az évszázad végéig előrejelzett erőteljes nyári hőmérséklet emelkedés miatt.

20. táblázat A zsendülés idejének eltolódása a megfigyelt fajták esetében

Fajta	Korreláció (r)	Eltolódás (nap)	Szórás (Zala és Sopron)
Olaszrizling	0,79	-8	7
Rizlingszilváni	0,82	-11	7
Királyleányka	0,81	-7	5
Zweigelt	0,72	-6	3
Kékfrankos	0,77	-7	6
Szürkebarát	0,81	-11	6

A kb. 14-20 napig tartó zsendülést a teljes érés követi. A zöld kemény bogyók héja elefántcsont színt vesz fel, kissé áttetszővé válik és viaszos, matt réteg alakul ki rajta (38. ábra). A bogyó puhulni kezd, melynek folyamata függ a klimatikus viszonyoktól.



38. ábra A bogyók megfigyelt növekedése és színváltozása a két borvidéken a korai és a kései fajták esetében (saját ábra)

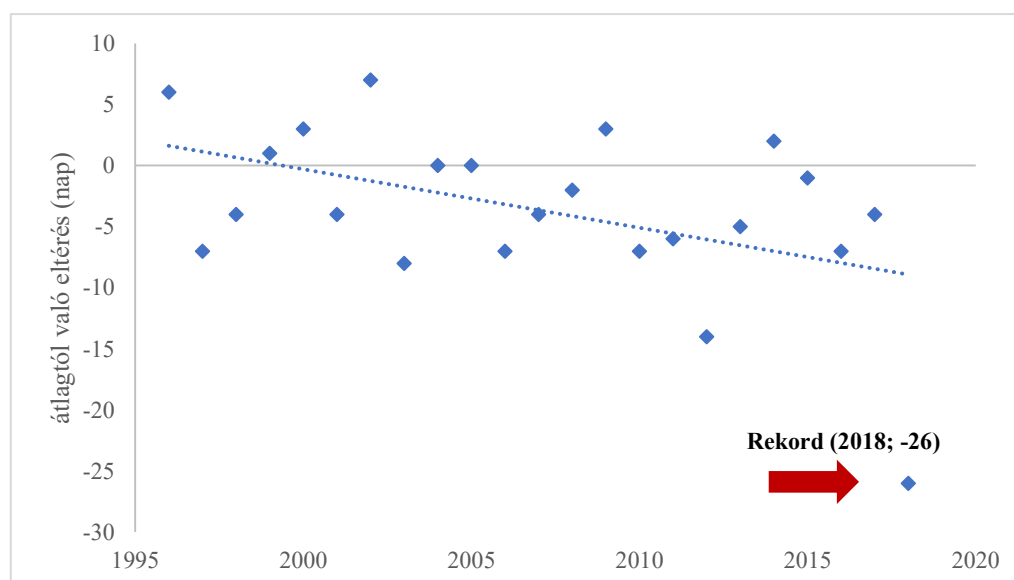
Nem csak a bogyó érése zajlik, hanem a teljes fűrt, fűrtkocsány és a szár érése is. Ha túl sok eső esik vagy szélsőséges az időjárás a bogyóhéj felrepedezhet, rothadás indulhat meg. A vizsgált fajták közül a Rizlingszilváni, a Királyleányka és Szürkebarát különösen érzékeny a túl sok csapadékra. A Zweigelt és a Kékfrankos vastag héjú fajta, ritka a sok csapadék miatti repedés, de nem zárható ki.

Az érést a hűvös, csapadékos időjárás lassítja, hátráltatja, a meleg időjárás gyorsítja, a beérés és a bogyó minőségét javítja. Azonban a túl száraz és forró időjárás pöppesedést, kiszáradást és a bogyók elpusztulását okozhatja, főleg a nedvességet jobban igénylő mérsékelt fajták esetében. Egyre több évben megfigyelhető, hogy a termés mennyisége csökken a két borvidéken, meteorológiai okok közé sorolható a jégverés okozta termés károsodás, a túl magas páratartalom (2014-ben) és a gombák okozta károsodás, illetve a sűrűsödő forró napok száma. A túl magas hőmérséklet a termés és a friss zöld hajtások perzselődését eredményezi.

A növekvő anticiklonos helyzetek eredménye, hogy a tenészedőszak második felében, illetve a szüret előtti 60 napban kevesebb csapadék hullik, a felhőborítottság 8 %-kal csökkent, és mint korábban említettem, nőtt a nyári napok, a hőség napok és a forró napok száma, így gyorsabb lett a cukor felhalmozódás és a kényszer beérés.

Mint korábban írtam az egyes klímaszcenáriók azt mutatják, hogy az euro-atlanti területeken egész évben – különösen télen és nyáron – gyakrabban fognak kialakulni blocking helyzetek, ezáltal várhatóan azérés folyamata az évszázad közepére további eltolódást fog eredményezni.

Az érési idő végén kezdődik a szüret. A szüret ideje fajtánként, termő területenként változik.



39. ábra A szüretidő kezdeti időpontja a hat fajta átlagának esetében a Soproni és a Zalai borvidéken

Összegeztem a hat fajta szüretidejét. Az összes fajta esetén 11 nappal tolódott korábbra a szüret, a hat fajtánál 6,5 nappal korábban történnek a Soproni borvidéken, és 5,5 nappal korábbra tolódott az ideje a Zalai borvidéken (39. ábra).

(A 2018-as év összesítése alapján a Csabagyöngye, a Zenit és az Irsai Olivér fajtának a szüretideje az elmúlt 60 év rekordját elérte, 31 nappal már szüretelték a nagyobb pincészetek, melynek kezdőidőpontja a két fajta esetében az évben július 26. volt.)

A fajták közül a Soproni borvidéken az Olaszrizling szüretideje 8 nappal, a Rizlingszilvánié 8 nappal, a Királyleánykáié 7 nappal, a Zweigelté és a Szürkebaráté 5 nappal, a Kékfrankosé pedig 5 nappal tolódott korábbra. A szórás értéke a borvidéken 3 (nap).

A Zalai borvidéken az Olaszrizling szüret 7 nappal, a Rizlingszilváni 9 nappal, a Királyleányka 8 nappal, a Zweigelt 3 nappal, a Kékfrankos és a Szürkebarát 4 nappal korábbra tevődött. A szórás 3 (nap) (21. táblázat).

*21. táblázat A vizsgált fajták szüretidei eltolódása*

Soproni borvidék	Eltolódás	Szórás	Zalai borvidék	Eltolódás	Szórás
Olaszrizling	-8	2	Olaszrizling	-7	3
Rizlingszilváni	-8	3	Rizlingszilváni	-9	3
Királyleányka	-7	2	Királyleányka	-8	4
Zweigelt	-5	2	Zweigelt	-3	4
Kékfrankos	-6	2	Kékfrankos	-4	2
Szürkebarát	-5	4	Szürkebarát	-4	1

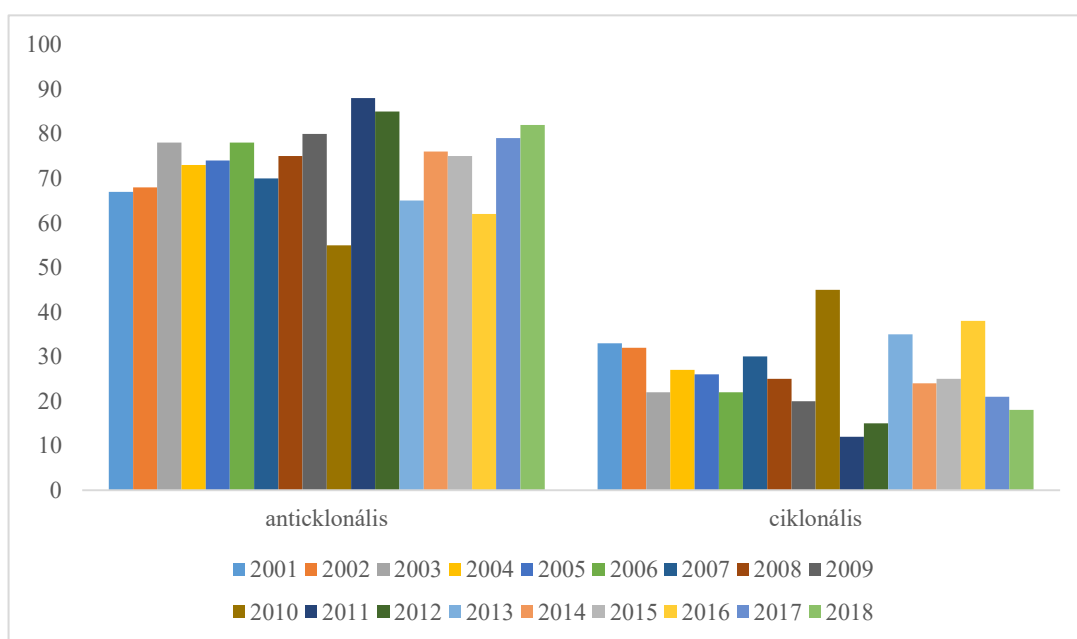
2018-ban a szüretek minden fajta esetében rekord korai időpontban indultak. A nagyobb pincészeteknél - különösen a fehér fajták esetében – 25-30 nappal korábban megtörtént a szüret minden korai és középidei fajta esetében. Ennek legfőbb oka az egyenletes, szőlőtermesztéshez kiváló 30-32 °C körüli hőmérséklet, a tökéletes csapadék feltételek és a megfelelő páratartalom volt. A nyár 2018-ban szőlőtermesztés szempontjából ideális volt a kellemesen magas hőmérséklet és a sok napfénynek köszönhetően. A termelők kiváló évjáratot várnak.

A szüretidő eltolódása a hőmérséklet és csapadék változással jellemezhető. Ha az egyes borszőlőfajtákat vizsgáljuk, a szüretek előtti 60 nap időjárása a Rizlingszilváni és az Olaszrizling szőlők esetében volt a legerősebb. Előbbinél a korrelációs koefficiens  $r=0,85$ ,



utóbbinál  $r=0,84$ . A Szürkebarát, Királyleányka és Zweigelt esetében is erős a korreláció. Szürkebarát fajtánál  $r=0,81$ , Királyleánykánál  $r=0,83$ , Zweigelt esetében  $r=0,82$ .

A szüretetek előtti 60 nap időjárását Péczeley nagy-skálájú helyzetei alapján elemeztem. Az anticiklonális és a ciklonális napok aránya 73,5 és 26,5 %. A ciklonális napok aránya csökkenést mutat. A hivatalos jelentésekből kigyűjtött adatok alapján az 1986-2015 közötti időszakban az október 1-jét megelőző 60 napban 31,8 %-ról 26,5 %-ra csökkent, ami 5,3 % csökkenés, a 2000-es évek után már 9,7 % (40. ábra).



40. ábra Az anticiklonális és ciklonális napok aránya a szüretetek előtti 60 napban 2001 és 2018 között Péczeley kódok alapján

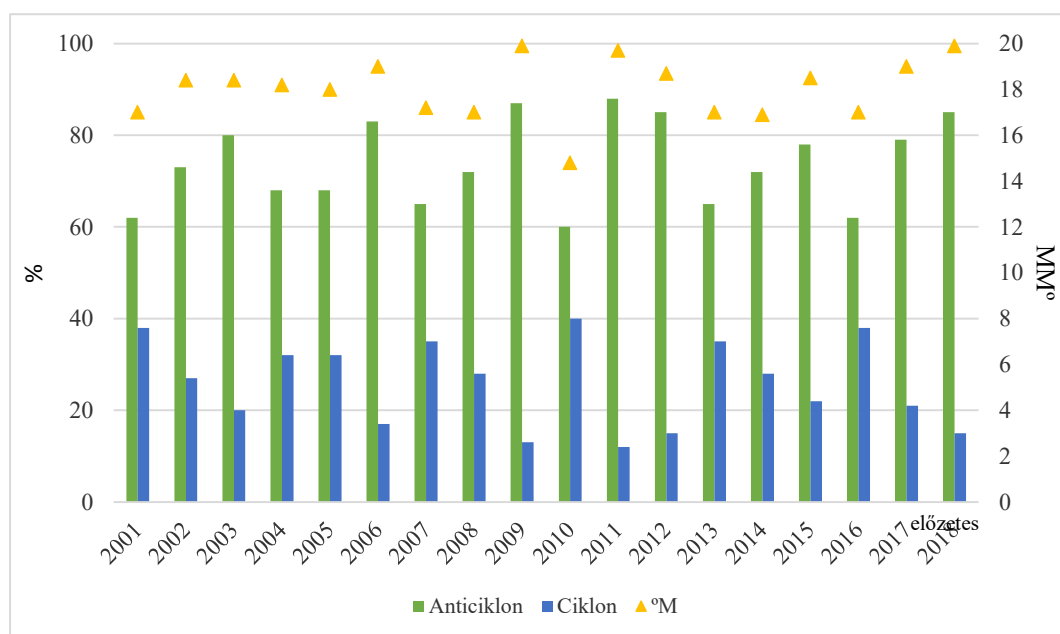
A szüretetek előtti 60 nap anticiklonális napjainak aránya és a mustfok közötti kapcsolat ( $r=0,85$ ) erős, szignifikáns ( $p < 0,01$ ). A regressziós számítások eredménye  $R=0,8122$ . Az anticiklonális napok arányának növekedésével nő a szüretkor mért cukorfok. Jól látható a 41. ábrán, hogy 2001 óta 2003-ban, 2006-ban, 2011-ben, 2012-ben, 2017-ben és 2018-ban volt nagyon magas az anticiklonális napok aránya.

Magasabb értéket mutatott ezen években az aktív hőtöbblet (1250-1350 °C), ezáltal a cukor felhalmozódás gyorsabban zajlott és az érés is gyorsabban történt, átlagosan 55-60 g/l volt a cukortöbblet a mustban.

22. táblázat Az új borok borversenyen használt értékelése

Cukortartalom (g/l)	Fehér (minőség)	Vörös (minőség)
0-4 g/l	extra száraz/száraz	0-4 g/l száraz
4,1-12 g/l	félszáraz	4,1 g/l < egyéb
12,1-45 g/l	félédes	
45,1 g/l <	édes	

Ezekben az években az érés ideje alatti csapadék (augusztus 1. és szeptember 30. között) 27 %-kal maradt el az átlagostól, 2012 volt igazán száraz, ekkor elérte a 34 %-ot a különbség.



41. ábra Az anticiklonális és ciklonális napok aránya és a szüretkor mért cukorfok (MM°)

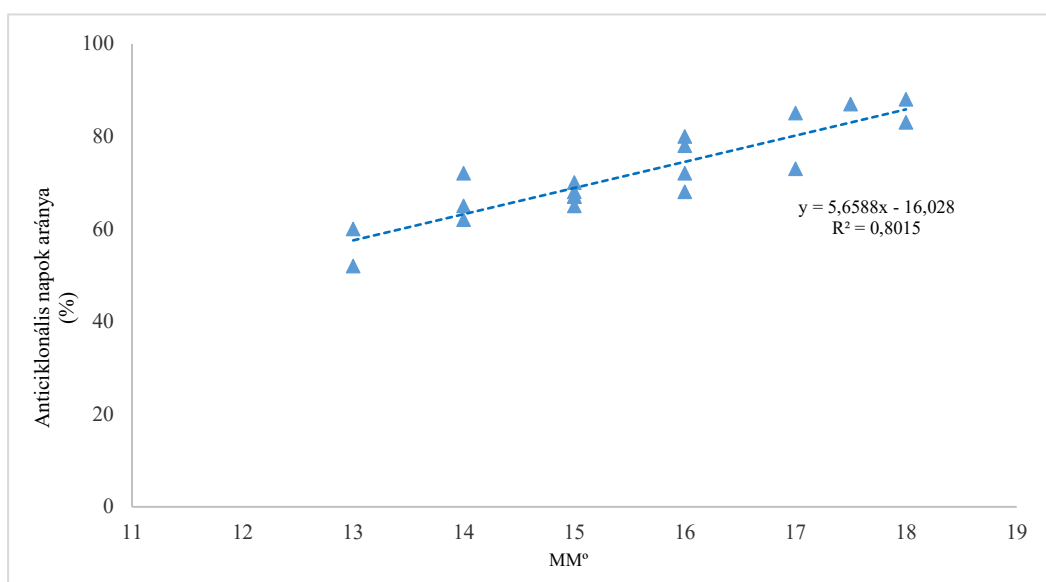
2010 kivételével (magas volt a páratartalom) a must cukorfoka 16 feletti, illetve egy 1-4 közötti skálán (22. táblázat), mindig 3 vagy e feletti a fehér borok és vörösborok évjárata, a borászok adatai alapján.

Ha az egyes borszőlőfajtákat vizsgáljuk, akkor láthatjuk, hogy a szüretetek előtti 60 nap anticiklonális napjai a Kékfrankos és a Zweigelt szőlők mustjára volt a legerősebb hatással. Előbbinél a korrelációs koefficiens  $r=0,81$ , utóbbinál  $r=0,79$ . A Szürkebarát,

Királyleányka esetében is erős a korreláció. Szürkebarát fajtánál  $r=0,77$  Királyleánykánál  $r=0,76$ , Rizlingszilváni esetében  $r= 0,71$  (közepesen erős) (42. ábra).

A tenyészedőszak zsendüléstől szüretig tartó időszakában, az időjárás jelentősen befolyásolja a szőlő termésmennyiségét. A 2001 és 2017 közötti időszakban a térség szőlőhegyein az átlagos termés hozam 4750 kg/hektár volt.

Fontos megjegyezni, hogy a rendszerváltás után, illetve az Európai Unió csatlakozásunk előtt a termőterületek közel 1/3-át kivágták és megsemmisítették, mára viszont ismételen „virágzik” a szőlőtermesztés, a korábbi parlagos területeken ismételen telepítésre került sor.

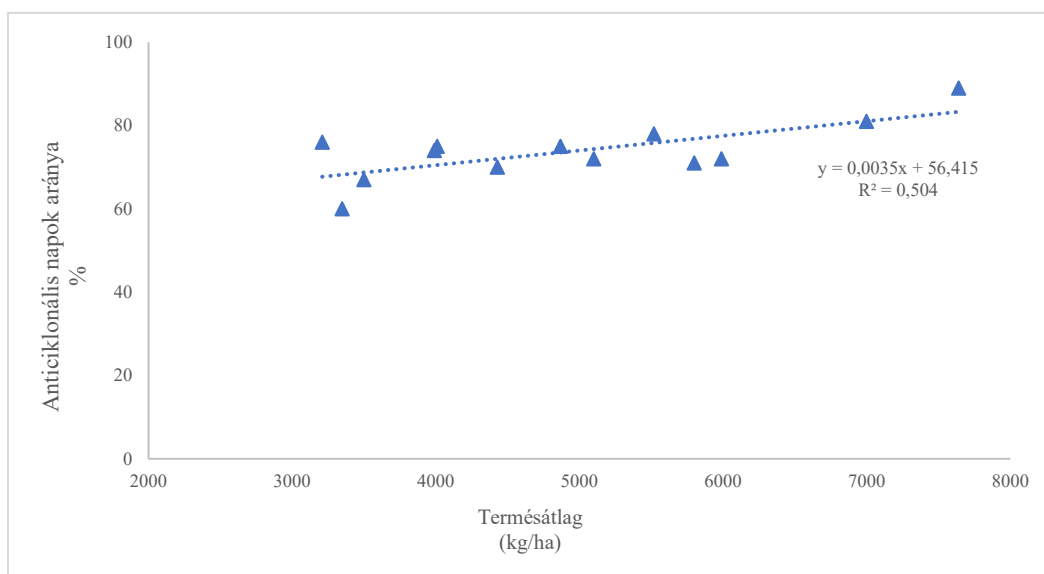


**42. ábra** Az anticlonális napok aránya és a must cukorfoka közötti kapcsolatot hat fajta esetében

A ritkításon kívül – különösen a Zalai borvidéken – 2013 augusztusában a Zala Megyei Kormányhivatal Növény- és Tájvédelmi Igazgatóságának növényfelügyelői által Lenti hegyen gyűjtött levélmintákból és Kerkateskánd határában befogott szőlőkabócákból mutatta ki a NÉBIH Növény-egészségügyi és Molekuláris Biológiai Laboratóriuma az aranyszínű sárgaság fitoplazmát (*Grapevine flavescence dorée phytoplasma*, *Phytoplasma vitis*). A fertőzött szőlőhegyeken a fertőzés következtében a szőlőtőkék termés hozama 35-40 %-kal csökkent, a beteg növények számának megsokszorozódása miatt Dél-Zalában rengeteg területen kellett megsemmisíteni az állományt. A betegség elleni védekezéshez jelenleg nem áll rendelkezésre megfelelő növényvédőszeres eljárás. Jelenleg a kellő

védekezés és a megfelelő védekezési program eredményességéről beszélhetünk. A kutatás során a fitoplazmás tőkesorok adatait a klimatikus vizsgálatok miatt nem vettem figyelembe.

A tenyészidőszakban az időjárás és a termésátlag alakulása szignifikáns ( $p < 0,05$ ) kapcsolatot mutatnak egymással (43. ábra). A legjelentősebb terméskiesés, 2010-ben volt megfigyelhető, összesen 3350 kg/hektár szőlő termett, ez közel 35 %-os terméskiesést jelent. Ennek oka az egész évben rendkívül csapadékos időjárás, a hűvös tavasz és kora nyár, és ezek eredménye a rothadás, a peronoszpóra, lisztharmat betegségek előfordulása.



**43. ábra A tenyészidőszak zsendüléstől szüretig tartó időszaka alatti anticiklonális napok aránya és a termésátlag kapcsolata**

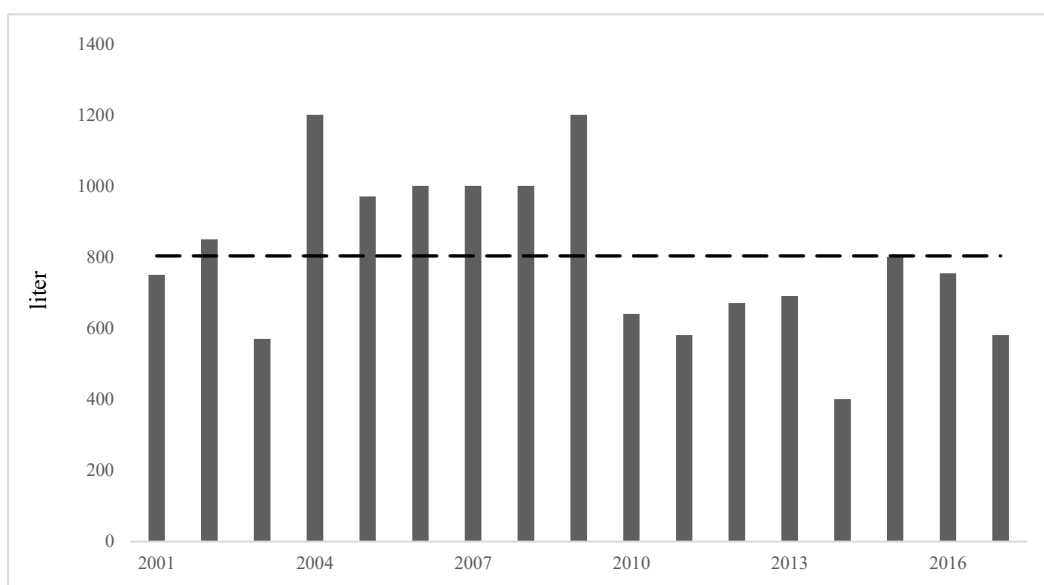
Ugyancsak átlagon aluli termésátlagot mutat 2005 a nagyon csapadékos, jégesőkkel tűzdelt és hűvös nyár miatt (4400 kg/hektár). De rontotta az átlagot a nagy hőség és szárazság is, pl. 2007-ben, 2011-ben, 2012-ben és 2017-ben. 2007-ben alig 3990 kg/hektár, 2011-ben 4010 kg/hektár, 2012-ben 3210 kg/hektár volt a szőlő termésátlaga a vizsgált térségben.

A klimatológiai elemek megváltozása a sokszor szélsőséges időjárás, jelentősen gyengítik a szőlő ellenálló képességét, mivel gyengül a szőlő immunrendszere, ezáltal a szőlőbetegségek jelentősen károsítják egyes években, időszakokban a helyi szőlőket és az egyes időjárási elemekkel együtt időnként jelentős terméskiesést és anyagi kárt okoznak.

Az időjárás a must mennyiségét is meghatározza. Azokban az években, amikor túl nagy volt a szárazság és a forróság (pl. 2003, 2011, 2012), illetve a rendkívül csapadékos, párás tenyészidőszaki években (pl. 2010, 2014) a must mennyisége is elmaradt az átlagtól. Vannak olyan évek is, mint pl. 2009, amikor a Kerka-, és Muramenti Hegyközség legjobb évjáratú éve volt az elmúlt 15-20 évben, több szőlőhegyen a nyári jégeső elverte a termést, ekkor a gazdák megpróbálták azonnali szürettel menteni a termést.

A must mennyisége kiválóan tükrözi a tenyészidőszaki meteorológiai stresszhatásokat. A must mennyisége pincénként változik, de tendenciában mennyisége ugyanazt mutatja. Az ipari termelésű pincészeteket arányosítottam a csak önrészre termelő gazdák adataival (44. ábra).

A szórás 98,25 (liter). Szignifikancia szintet nem számoltam a mennyiségi különbségek miatt, de az időjárás viszontagságai minden egyes termőterületen megfigyelhetők.



44. ábra A mustfok értéke a termelőktől kapott adatok alapján (szaggatott vonal az átlag 802 liter)

### 4.3. ÉRÉSI INDEX

Az eddigi megfigyelések alapján az érési index az érés gyorsaságáról ad választ. Az érési index még a "finomítási" fázisban tart, ahhoz, hogy konkrét, teljesen megbízható eredményeket lehessen közölni róla, még több év megfigyelése szükséges. Ezért három

középtidei érésű fajtán végeztem a megfigyelést az érési index esetében. E három fajta a Kékfrankos, Zweigelt és a Szürkebarát.

Az érési index egyenletéhez a hőmérsékleti adatokat kalkuláljuk 5 cm, 50 cm és 2 m-es magasságban, minden esetben korrelálnunk kell a lehullott csapadékkal is az eredményt. A hőmérséklet nem elegendő az érés megállapításához, az eredmények azt mutatják, hogy 85-90 %-os bizonyosságot ad, ezért is szükséges a csapadék. A csapadéknál 24 órás értéket veszünk fel, minden nap 6:45 és 7:00 közötti adatfelvétel után. Az érési fenofázis indexet meghatározza a hőmérsékleten és a csapadékon kívül a magasság, fajta, lejtőszög, lejtőkitettség és a talaj típusa is. A lejtőkitettség egyes esetekben 3-4 napos eltolódást okozott az érésben ugyanazon pincészetnél, ugyanazon fajtánál, de ez nem befolyásolta a szüretnek időpontját szignifikánsan.

Segítségével remélhetőleg múltbeli rekonstrukciót is képesek leszünk készíteni a Zalai és a Soproni borvidék korábbi évjáratairól, egészen a lokális megbízható meteorológiai mérések kezdetéig. Sajnos, mind a meglévő feljegyzések, mind a szakirodalom megbízhatatlan és hiányos az 1970-es, 1980-as évekig.

Mint korábban írtam, az érési index ( $R_i$ ) a Soproni és a Zalai borvidékre a következő:

$$R_i = (T_{max_{08.01.-09.15.}} + T_{\text{átl}_{08.01.-09.15.}}) \pm T_{min_t}$$

$T_{max}$  = a legmagasabb nappali hőmérséklet átlaga 5 cm, 50 cm és 2 m magasságban

$T_{\text{átl}}$  = a középhőmérséklet átlaga 5 cm, 50 cm és 2 m magasságban

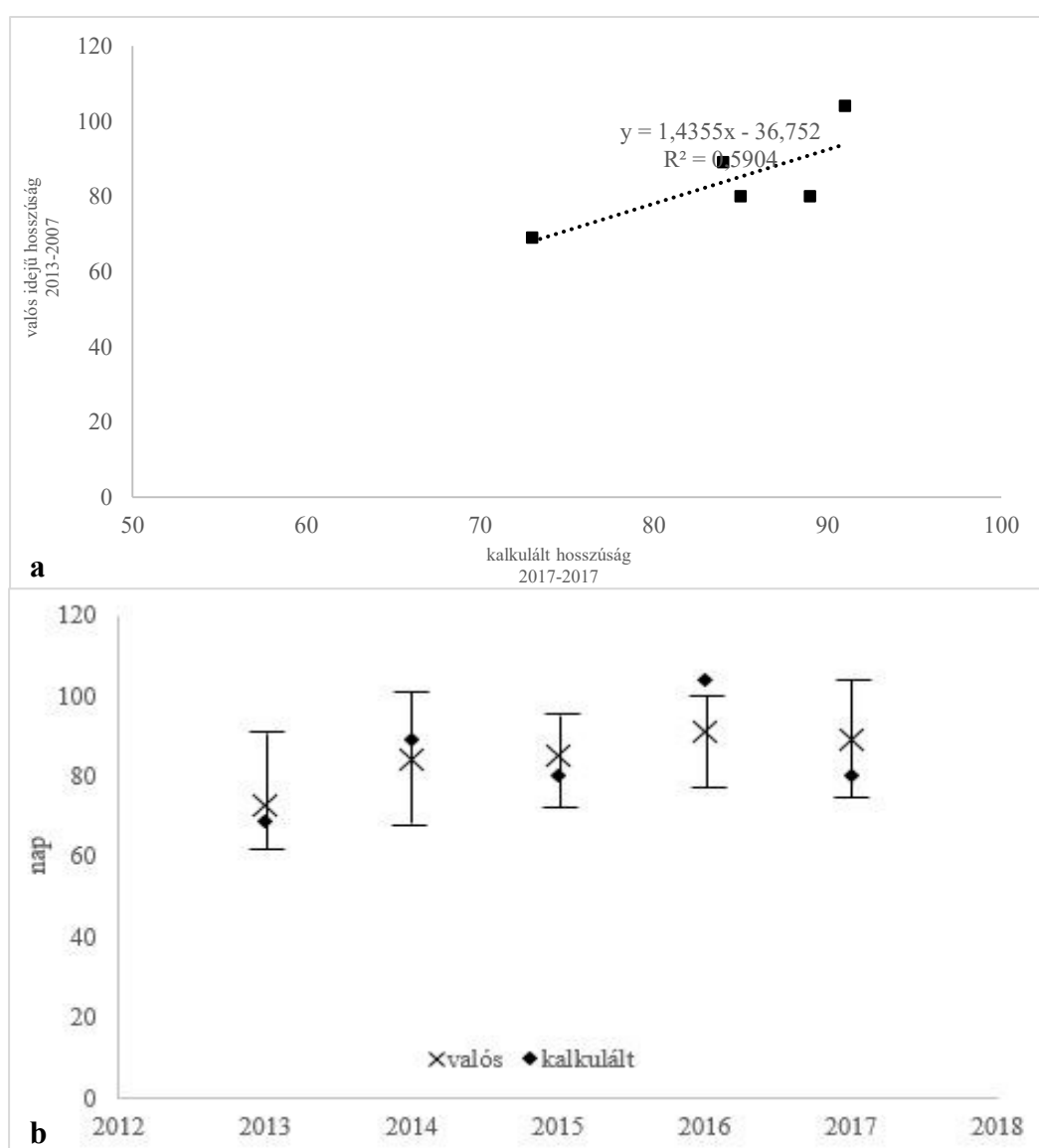
$T_{min_t}$  = a legalacsonyabb minimumhőmérséklet átlaga 5 cm, 50 cm és 2 m magasságban.

Az eddigi eredmények alapján az érési kategóriák a következők:

- I. 0-46 lassú érés,
- II. 46,1-49 átlagos az érési idő,
- III. 49,1-58 gyors érésű év (legjobb évjáratok),
- IV. 58,1- extrém gyors érésű év (rendkívül magas a cukortartalom, alacsony a savtartalom)

A kategóriák besorolása a három szőlőfajta (Kékfrankos, Zweigelt, Szürkebarát) megfigyelése alapján készült, 562 adat felvételével.

Az érési index alapján a 2013 és 2017 közötti időszakra vizsgálva az index a valós értékekkel szoros korrelációt mutat. A valós adatok jelentése ebben az esetben a 2013 és 2017 közötti időszak virágzástól a szürettekig tartó időszak nap-ban kifejezve, a kalkulált adat pedig a hőmérsékletből és a csapadékadatokból kifejezett elméleti érési hosszúság a fajták esetén. Minden fajtánál, sőt pincészetnél van egy érési érték, amikor a szüretet elkezdik. Ezeket négy pincészettől begyűjtöttem az évek során és kikalkuláltam, hogy mikor várható a szüretelés. Az érés valós megfigyelése és a kalkulált indexbeli értékek 0,76-os korrelációt mutatnak, a regresszió értéke  $R=0,5904$ , ha a csapadékkal is kiegészítem a kalkulált adatokat, akkor már 0,79 a korreláció (45. ábra).



45. ábra A megfigyelt és a kalkulált érési idő és az adatok közötti kapcsolat erőssége (a), a megfigyelt érési idő+határai és a kalkulált érési idő 2013 és 2017 között a két borvidéken (b)

A 2013 és 2017 közötti időszakban az érési index segítségével megállapítható, hogy a Soproni borvidéken gyors érésű (III.) év volt 2015 és 2017, átlagos érésű (II.) év 2013 és 2014, lassú volt az érés (I.) 2016-ban. A Zalai borvidéken gyors érésű (III.) év volt 2013, 2015 és 2017, átlagos érésű (II.) év volt 2014 és lassú érésű (I.) év 2016. [Az előzetes 90 %-os adatmennyiség mellett (nem minden termelőtől kaptam meg az adatokat) megállapítható, hogy 2018 mindkét borvidéken extrém gyors érésű év volt, különösen a korai fajták esetében (69,2)].

A 23. táblázatban látható, hogy a Soproni és Zalai borvidéken az érési index értéke és kategóriája hasonló tendenciát mutatnak évenként, csak kisebb, nem szignifikáns különbségek vannak. A szórás mindkét borvidéken eltérő évenként.

*23. táblázat Az érési index értéke évenként a két borvidéken*

Sopron	Érték	Szórás	Zala	Érték	Szórás
2013	48,7	4,59	2013	49,5	5,17
2014	46,1	4,98	2014	46,9	1,68
2015	49,3	3,49	2015	49,1	7,15
2016	45,6	5,02	2016	45,1	2,84
2017	51,2	6,88	2017	50,4	4,55
2018 (előzetes)	62,2	3,10	2018 (előzetes)	63,9	4,21

Várhatóan az érési index segítségével már a közeljövőben 10 napra előre lehet vetíteni a megfelelő érési fázist. Az egyre megbízhatóbb meteorológiai előrejelzések és a kalkulált érési index adatok segítségével 1,5-2 hétre előre meg lehet majd tervezni a szüretelés optimális időpontját, de ehhez még több év megfigyelésére szükség van a gazdák kitartó segítségével, illetve az összes fajtára ki kell terjeszteni a kutatást.



#### 4.4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az 1986 és 2015 közötti időszakban a Soproni és a Zalai borvidéken az évi középhőmérséklet szignifikánsan emelkedett. A tenyészidőszaki (IV-X.) és nyugalmi időszaki (XI-III.) középhőmérsékletek kissé eltérő mértékűek, de egyértelmű növekedést mutatnak 1986 és 2015 között, a legintenzívebb emelkedés (0,6 °C/ 10 év) a tenyészidőszak második felében mutatkozik.
2. Az 1986 és 2015 közötti 30 évben a csapadékmennyiség évi változása nem mutat egyértelmű tendenciát, nem történt szignifikáns változás. A csapadék időbeli fluktuációja az 1986 óta eltelt klímaperiódusban egyértelmű növekedést mutat a nyugalmi időszakban, míg csökkenést a tenyészidőszak alatt.
3. A csapadékkal összhangban elemeztem a talajnedvességet. A talajnedvesség minimuma általában július végére és augusztusra esik, a minimumok a vízkapacitás 50 %-a alatti értéket sehol sem érik el. Ezután a párologtató képességet elemeztem, illetve a havi csapadékvértékek többszörös egymásra következésének gyakoriságát. A leggyakrabban azzal találkozhatunk a két borvidéken, hogy egy száraz hónapot nedves hónap fog követni, illetve fordítva. Kivételek főleg nyáron mutatkoznak.
4. A Soproni és a Zalai borvidéken 30 év alatt szignifikáns növekedés következett be a Huglin-index és az aktív hőösszeg értékében, a júliusi középhőmérsékletben, a tenyészidő átlagos és maximum hőmérsékletében, az érésidő középhőmérsékletében, a szüretidő maximum hőmérsékletében, a hőség, forró és nyári napok, a trópusi éjszakák, a fagyos napok, téli napok, zord napok számában, valamint a téli és a tavaszi fagyindexek esetében is. A csapadék szélsőségei közül a nagycsapadékú napok száma mutat szignifikáns változást, amellet, hogy nőtt a száraz napok és időszakok száma és hosszúsága.
5. A két borvidék egyik pozitív irányú változása az éghajlatváltozás következményben, hogy javult a hő- és sugárzásellátottsága, ezáltal a radiotermikus-index értéke alapján ma már mindkét borvidék megfelelő kiváló minőségű bor termelésére és jó minőségű borszőlő termesztéséhez.
6. A rügyfakadás ideje a két borvidéken 7 nappal korábban történik, erős a matematikai kapcsolat a hőmérséklet és a rügyfakadás idejének eltolódása között. A rügyfakadás és a virágzás 4,5 nappal közeledett egymáshoz. A virágzás ideje változott, 6,5 nappal történik korábban, a Zalai borvidéken 7, a Soproni borvidéken 5 nappal korábban. A zsendülés kezdeti idejének eltolódása 8 nap, ennél a fenológiai fázisnál

nehéz volt összesíteni és pontos változást leírni, mivel akár 1-2 tőkesoron belül is jelentős különbségek lehetnek.

7. Összegeztem a hat megfigyelt szőlőfajta szüretidejét. Az összes fajta esetén 11 nappal tolódott korábbra a szüret, a hat fajtánál 6,5 nappal korábban történnek a Soproni borvidéken, és 5,5 nappal korábbra tolódott az ideje a Zalai borvidéken. Megállapítottam, hogy a szüretnek korábbi időpontra való eltolódásának oka a növekvő anticiklonális napok száma, ezáltal nő a hóhullámos időszakok hossza és intenzitása, szignifikánsan emelkedett a hőségnapok és forró napok száma, kevesebb a csapadék, így augusztusban és szeptember elején felgyorsul az érés és a cukorfelhalmozódás, a szüretnek korábban kezdődnek.

8. Az anticiklonális napok arányának növekedésével nő a szüretkor mért cukorfok, és csökken a savtartalom. Azokban az években, amikor magasabb értéket mutatott az aktív hőtöbblet (1250-1350 °C), a cukor felhalmozódás gyorsabban zajlott és az érés is gyorsabban történt, jelentősen emelkedett a cukortöbblet a mustban. A szárazság csökkentette a termés tömegét ezen belül a lényeredéket.

9. A kutatásom egyik fő célja egy új érési index kidolgozása volt a tudományos szakemberek, döntéshozók és a gazdálkodók számára. Három középidei érésű fajtán végeztem a megfigyelést az érési index esetében. E három fajta a Kékfrankos, Zweigelt és a Szürkebarát volt. Az érési index alapján a 2013 és 2017 közötti időszakra vizsgálva az index a valós értékekkel szoros korrelációt mutat. A 2013 és 2017 közötti időszakban az érési index segítségével megállapítható, hogy a két borvidéken átlagos és gyors érésű évek voltak legtöbbször. 2018-ban a korai érésű fajtáknál extrém gyors érést figyeltem meg.

## 5. KÖVETKEZTETÉS

A kutatásom és doktori munkám során arra kerestem a választ, hogy az éghajlatváltozás regionális hatásai milyen mértékben jelentkeznek Magyarország két nyugati borvidékén, a Soproni és a Zalai borvidéken és e hatások milyen szinten változtatták meg pozitív vagy negatív irányba a két borvidék alkalmasságát a kiváló minőségű borszőlő termesztéshez. Ezeken felül az esetleges változások az Európában és a világ számos pontján megfigyelt változásokhoz hasonlókat indukáltak-e a borszőlő fenológiai fázisaiban.

Kutatásom során arra jutottam, hogy a két borvidék éghajlati tulajdonságai jelentősen megváltoztak az elmúlt bő 30 évben. Sok esetben a kárpát-medencei trendhez hasonló, más esetben attól eltérőek a változások.

A teljes elemzéshez szükségem volt a múltbeli adatok szakirodalmi, levéltári, illetve magán, de megbízható források feltárása, saját meteorológiai állomások telepítése, hivatalos adatok feldolgozása és egy megbízható éghajlati és fenológiai adatbázis létrehozása.

A több mint 10 éves személyes, a szőlő természetes környezetében végzett kutatás során az alábbi következtetésekre jutottam:

- az éghajlatváltozás hatása markánsan jelentkezik a két borvidéken.
- e két hűvös borvidéken, pozitív változás a hőmérséklet emelkedése, amely megfigyelhető éves, évszakos, havi szinten, illetve a tenyészidőszakban és nyugalmi időszakban is. Nem mutatható ki egyetlen esetben sem hőmérséklet csökkenés.
- a hőmérsékletből származtatott összes, vizsgált szélsőséges éghajlati paraméter szignifikáns változást mutat.
- pozitív változás, hogy a napsütéses órák száma kissé emelkedő tendenciát mutat, bár egyértelműen nem jelenthető ki, az éghajlatváltozás miatti módosulás.
- a csapadék az elmúlt 30 évben nem változott szignifikánsan, amely annak köszönhető, hogy a tenyészidőszak alatti csökkenő mennyiségű csapadékot, kiegészíti a nyugalmi időszak alatti növekvő csapadékmennyiség.
- pozitív változásokhoz sorolható, hogy a tenyészidőszakban csökkent a lehullott csapadék összmennyisége Mindkét borvidék korábban a túl csapadékos borvidékek közé volt sorolható, ezáltal a fehér és a vörös fajták rothadása szinte

minden második évben megfigyelhető volt nagyszámban, illetve az országban e két borvidéken volt a hegyközségi adatok alapján a legnagyobb arányú peronoszpóra és a szürkerothadás fertőzés és károkozás.

- a csapadék mennyisége különösen nyáron egyre kevesebb, amellett, hogy nőtt a nagycsapadékú napok száma. A károkozó csapadék és jégeső nyáron általában konvektív eredetű, mely a korábbi biztosítási időszakhoz képest jelentősebb kárt okoz, mint pl. a szárazság.
- a tenyészidőszak második felében - amikor a szőlőnek a legtöbb nedvességre van szüksége - a legjelentősebb a csapadék hiánya, de így is jóval jobb a csapadékelátottság, mint a Duna-Tisza közén vagy a Tiszántúlon, pl. a Kunsági borvidéken.
- télen a növekvő hőmérséklet eredménye, hogy a csapadék formája egyre inkább folyékony halmazállapotú, a hótakarós napok száma az országos átlag feletti szignifikáns csökkenést mutat. A csökkenő hómennyiség negatív hatása akkor mutatkozik meg, amikor hirtelen száraz lábas hidegelárasztás történik és a fiatal növényeken károsodás képződik, pl. 2017, 2015.
- negatív változás, hogy szignifikánsan csökkent a fagyos napok, zord napok száma, a szőlő fagyindex és a szőlő súlyos fagyindex. A szőlő kártevői könnyebben átvészelik a telet, beleértve a rovarokat és a gomba spórákat.
- a téli fagyos napok száma mellett nőtt a tavaszi fagyos napok száma, mely súlyos és egy-egy évben visszafordíthatatlan kárt tud okozni az adott év termésében. Vannak évek, mint pl. 2017-ben, amikor 1-1 területen teljesen elfagytak a rügyek.
- a két borvidék hőellátottsága és sugárzás ellátottság javulásának eredménye, hogy a radiotermikus-index (R-index) értéke mindkét borvidéken pozitív irányba változott, mely a jövőben várhatóan további pozitív változást fog mutatni.
- nyáron a növekvő forró napok és trópusi éjszakák számának és az egyre intenzívebb hőhullámos időszakok számának növekedése arra enged következtetni, hogy egyre több olyan évre kell számolni, amikor a két borvidéken termesztett szőlőkön perzselés, égés fog kialakulni, tovább fog fokozódni a hőség és a száraz időszakok növekedése miatti termés kiesés – különösen a hőt kevésbé kedvelő fajtákon –, illetve a túl magas hőmérséklet a növények károsodását fogják okozni.

- továbbra is a két borvidék pozitívuma közé tartozik, hogy a légköri aszály nem veszélyezteteti a termést, bár volt három év, amikor moderált szintet ért az *LSZI* értéke, de még így is jóval elmarad a légköri szárazság veszélye a kelet-magyarországi borvidékekhez képest.
- a tavaszi, rügyfakadást megelőző 30 nap hőmérsékletének eredménye, hogy a rügyfakadás ideje korábbra tolódott, a hőmérséklet májusi emelkedése miatt a rügyfakadás és a virágzás közötti időszak 4,5 nappal rövidült, a nyári napok, hőség napok egyre gyakoribbá válása miatt a virágzás és a tömeges virágzás korábban kezdődik. A virágzás folyamata (1 % – 100 % kinyílás) egyes fajtáknál jelentősen csökkent, másoknál nőtt. Érzékenyebbek a tenyészidőszak elején a hőmérséklet emelkedésére a fehér fajták.
- az érési időszakban a növekvő hőmérséklet és a csökkenő csapadék hatása dominált a két borvidéken. Az érés folyamata mindegyik fajtánál rövidült, gyorsabb volt a magasabb hőmérséklet miatt a cukor felhalmozódás, a bogyók hamarabb elérték az érett, szüretelésre kész állapotot, ezáltal a szüretkor mért cukortartalom magasabb, mint a korábbi átlag – egyes években az időjárástól függően alacsonyabb –, illetve a termés mennyisége is csökkenő tendenciát mutat, függetlenül más hatásoktól.
- az anticiklonális napok aránya a két borvidék területén növekedett közel 10 %-kal, mely a kárpát-medencei trendnek megfelelő.
- az érési időt egy saját kis adatigényű érési indexszel is vizsgáltam. A 2013 és 2017 közötti időszakban az érési index segítségével megállapítható, hogy a két borvidéken átlagos és gyors érésű évek voltak legtöbbször. Bár a korreláció és a regresszió is erős egyezőséget mutat a valós idejű érés és az index egyenlete alapján kalkulált érés között, a teszteléséhez, finomításához és tökéletesítéséhez még 8-10 év szükséges, az esetleges véletlenszerűségek és pontatlanságok kizárása végett. Öt év véleményem szerint kevés, de egy közelítő eredményt már ki tudtam szűrni belőle.

Az eredményekből arra következtethetünk, hogy a Soproni és a Zalai borvidék éghajlati kondíciói jelentősen megváltoztak az elmúlt három évtizedben. A pozitív változások száma és aránya a szőlőtermesztés szemszögéből, dominál a negatív hatások felett.

Míg korábban a két borvidék csak a hűvösebb, csapadékot jobban tűrő fajták termesztésére volt alkalmas, az éghajlatváltozásnak köszönhetően ma már a magasabb

hőigényű fajtáknak és klónjaiknak is kiváló termőterületek. Ezt igazolja a Huglin-index és az aktív hőösszeg változása, illetve a megjelenő mediterrán fajták sikeres termesztése a két borvidéken.

A domináló pozitív klimatikus változások és a termés minőségének javulása után, egyértelműen kijelenthető, hogy a Soproni és a Zalai borvidék egyelőre inkább nyertese az éghajlatváltozásnak.

A klímaszcenáriók további változásokat mutatnak a régióban. Új területek nyílnak meg a szőlőtermesztés számára, ezzel párhuzamosan a változások nehéz kihívások elé állítják a szőlőtermesztőket és a bortermelőket. Az éghajlatváltozás 21. századi mértéke számos változást idézhet elő a borászati ágazatban, pl. sűrűsödő növekvő vízhiány, további változások várhatók a szőlő fenológiájában, jelentős változások lehetnek a szőlő és a bor összetételében stb. E változások remélhetőleg optimális irányba tevődnek és Magyarország legkiválóbb borvidéke lesz a jövőben a Soproni és a Zalai.

A közeljövőben három újabb meteorológiai állomást telepíttek szakemberekkel a két borvidék területén és a vizsgálatot az összes borszőlő fajtára kiterjesztem, több termelő bevonásával.

## 6. ÖSSZEGZÉS

A 21. században egyre nagyobb érdeklődés övezi az éghajlatváltozásnak a termesztett növények, ezen belül a *Vitis vinifera* L. fenológiai fázisaira gyakorolt hatását.

A regionális éghajlatváltozás egyik lehetséges nyertese a Soproni és a Zalai borvidék. A két borvidék éghajlati kondíciói nagy részben pozitív irányba változtak. A legfontosabb változások közé sorolható, hogy a tenyészidőszaki középhőmérséklet szignifikánsan emelkedett, különösen a tenyészidőszak második felében jelentős, a csapadék mennyisége csökkent, de nőtt a konvekcióhajlam (nem minden esetben negatív tulajdonság). A Soproni borvidék hegyvidéki bortermelő terület, így korábban nem volt veszélyeztetve markáns kora tavaszi és késő tavaszi fagyoktól, azonban a Zalai borvidék 250 m alatti dombsági, itt emelkedett szignifikánsan az esélye.

A két termőhely hőmérséklet- és sugárzásellátottsága javult. A szélsőséges indexek és a bioklimatikus indikátorok nagy részének változása hasznos a két termőhely kondícióit nézve.

Az éghajlatváltozás feltételezhető következménye, hogy az egyes fenológiai fázisok az elmúlt időszakban eltolódtak, a nyári, kora őszi anticiklonális napok arányának növekedésével nő a szüretkor mért cukorfok, csökken a termésmennyiség. A szüretnek előtti 60 nap makroszínoptikus helyzetei, a mindennapi időjárás jelentősen befolyásolta a cukor felhalmozódását és az érést a vizsgált időszakban a Soproni és a Zalai Borvidék területén.

Az érési folyamat változását igazolja a még kalibrálási állapotban lévő érési index is.

A kutatás eredményeit a pincészetek, gazdák, döntéshozók és a tudomány képviselői is hasznosíthatják a leendő termesztési, művelési tervezéseknél. A jövőben a kutatást szeretném kiterjeszteni Magyarország legtöbb borvidékére.

## ABSTRACT OF THE PHD THESIS

A comprehensive agro-climatological and phenological investigation have been made in the field of Sopron and Zala wine-growing regions in Hungary. The investigation has begun in 2006 and it lasts today too.

During the research and observation 32 meteorological stations are used. Each station is calibrated by experts.

Temperature, precipitation, solar radiation and most of artificial indices have been investigated, which have an effect on the conditions of wine-growing region and grape. Recent climate change has considerable influence on grape and wine production in West Hungary. Temperature has significantly increased during the growing season and in the second half of the dormancy period, precipitation has decreased and consequently, the phenological phases of the grapevine are pushed to earlier dates.

Several positive changes have taken place in the two investigated wine-growing regions, e.g. amount of Growing Degree Days, Huglin-index has increased, number of summer days, warm days has modified, the number of anticyclonic days has increased by 12 % during the period 1986-2015, between 1996 and 2017, such increase reached 19 % in the 60 days preceding the harvests. By the increase of the proportion of the anticyclonic days, the sugar accumulation in the must at the moment of the harvest is increasing.

There are a few negative effects too, e.g. the number of Spring Frosts has increased, mainly in the hillsides of Zala wine-growing regions, the number and amount of the convective precipitation has increased, so the extreme weather may result in the damage of the fresh green sprouts, the flowers, the fruit tubers and the foliage, etc.

Nevertheless, most of the extremities originating from the changes of temperature and precipitation can be considered beneficial regarding wine production.

A notable shift has taken place in the annual growth cycle of grapevines, bud break begins nearly 7 days earlier, flowering has been pushed to a date 6.5 days earlier between 1996 and 2017 respect to the previous period. The time between bud break and flowering has shortened by 4.5 days and flowering lasts longer than earlier.

Veraison begins 8 days earlier and the harvests too due to the increasing temperature. Parallel to the temperature rise and late phenological push, also the sugar content was changed in a higher direction.

Sopron and Zala wine-growing regions are among the potential winners of the climate change, previously rather were unsuitable for viticulture.



## IRODALOM

1. Anda A., Kocsis T. (2010): Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek. Mezőgazda Kiadó
2. Ács F., Breuer H., Skarbit N. , Krakker D. (2013): Magyarország éghajlata a XX. században különböző éghajlati-osztályozási rendszerek alapján. Légkör 58 (3): 106-110.
3. Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy. (2007): Regional Climate Change Expected in Hungary for 2071-2100. Applied Ecology and Environmental Research 5 (1): 1-17.
4. Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy., Kern, A. (2009a): What climate can we expect in Central-Eastern Europe by 2071-2100? In: Bioclimatology and Natural Hazards: 3–14.
5. Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos, P., Hunyady, A. (2009b): Analysis of regional climate change modeling experiments for the Carpathian Basin. International Journal of Global Warming 1: 238-252.
6. 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.
7. Bartholy J., Bozó L., Haszpra L. (2011): Klímaváltozás-2011. Klímaszenáriók a Kárpát-medence térségére. MTA-ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest: 281.
8. Beniston, M. (2004): The 2003 heatwave in Europe: a shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophysical Research Letters 31. doi: 10.1029/2003GL018857
9. Bergant, K., Crepinsek, Z., Kajfez-Bogataj, L. (2001): Flowering prediction of pear tree (*Pyrus communis* L.), apple tree (*Malus domestica* Borkh) and plum tree (*Prunus domestica* L.) – similarities and differences. Zbornik Biotehniske Fakultete Univerze v Ljubljani Kmetijstvo 77 (1): 3-10.
10. Berki I., Móricz N., Rasztovits E., Víg P. (2007): A bükk szárazságtolerancia határának meghatározása. Erdő és Klíma 5: 213-228.
11. Bidabe, B. (1965): L'action des températures sur l'évolution des bourgeons de l'entrée en dormance à la floraison. 96 Congrès Pomologique: 51–56.
12. Bihari Z., Kovács T., Lakatos M., Szentimrey T. (2015): Éghajlati információkkal a társadalom szolgálatában. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest

13. Boden, T. A., Andres, R. J. (2010): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Environmental Sciences Division Oak Ridge National Laboratory. doi:10.3334/CDIAC/00001\_V2012
14. Bonhomme, R. (2000): Bases and limits to using “degree-day” units. *European Journal of Agronomy* 13: 1–10.
15. Botos E. P., Hajdu E. (2004): A valószínűsíthető klímaváltozás hatásai a szőlő- és bortermelésre. ”AGRO-21“ Füzetek 34: 61-73.
16. Bowen, P. A., Bogdanoff, C. R., Estergaard, B. (2004): Impacts of using polyethylene sleeves and wavelength-selective mulch in vineyards. I. Effects on air and soil temperatures and degree day accumulation. *Canadian Journal of Plant Science* 84 (2): 545-553.
17. Bussay A., Szinell Cs., Szentimrey T. (1999): Az aszály magyarországi előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok 7, Országos Meteorológiai Szolgálat
18. Carbonneau, A., Riou, C., Guyon, D., Riou, J., Schneider, C. (1992): Agrométéorologie de la vigne en France. EUR-OP, Luxembourg. Bonhomme R (2000) Bases and limits to using “degree-day” units. *European Journal of Agronomy* 13: doi:10.1016/S1161-0301(00)00058-7.
19. Chmielewski, F. M., Rötzer, T. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 108 (2): 101-112.
20. Christensen, J. H., Christensen, O.B. (2007): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* 81: 7–30.
21. 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 & Environment* 22: 1-13.
22. 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* 22 (7): 357-365.
23. Cline, W. R. (2008): Global Warming and Agriculture. *Finance and Development* 45 (1). (IMF)
24. Collins, J.M., Walsh, K. (2017): *Hurricanes and Climate Change*. Springer International Publishing AG. Zürich, doi: 10.1007/978-3-319-47594-3.

25. Dickinson, R. E. (1984): Modeling Evapotranspiration for Three-Dimensional Global Climate Models, in *Climate Processes and Climate Sensitivity*. American Geophysical Union, Washington D. C., doi:10.1029/GM029p0058
26. Dövényi Z. (2010): Magyarország kistájainak katasztere. 2. javított kiadás. Budapest, MTA
27. Dunai S., Posza I., Varga-Haszonits Z. (1968): Egyszerű módszer a tényleges evapotranszpirációs és a talaj vízkészletének meghatározására. I. A párolgás meteorológiája. *Öntözéses gazdálkodás*. 2. kiadás: 39-48.
28. Dunkel Z., Kozma F., Major Gy. (1981): Szőlőültetvényeink hőmérséklet- és sugárzásellátottsága a vegetációs időszakban. *Időjárás* 85 (4): 13-15.
29. Dunne, J. A., Harte, J., Taylor, K. J. (2003): Subalpine meadow flowering phenology responses to climate change: integrating experimental and gradient methods. *Ecological Monographs* 73 (1): 69-86.
30. Durack, P. J., Gleckler, P., Landerer, F. W., Taylor, K. E. (2014): Quantifying underestimates of long-term upper-ocean warming. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2389
31. EEA (2008): EEA Report No. 4/2008: Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment European Environment Agency
32. EEA (2016): Glaciers. The vast majority of glaciers in the European glacial regions are in retreat. Indicator Assessment. European Environment Agency
33. Engelhardt, M., Schuler, T. V., Andreassen, L. M. (2013): Glacier mass balance of Norway 1961-2010 calculated by a temperature-index model. *Annals of Glaciology* 54 (63): 32-40.
34. Erdős L. (1975): Párolgás csupasz és fedett talajfelszínen. *Időjárás* 79: 274-283.
35. Fearnside, P. M. (2000): Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition, and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change* 46: 115-158.
36. Fraga, H., Malheiro, A., Moutinho-Pereira, J., Santos, J. A. (2013): Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *International Journal of Biometeorology* 57 (6): 909-925.
37. Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J. A. (2014): Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agricultural and Forest Meteorology* 185: 26-36.

38. Fraga, H., Garcia de C. A. I., Malheiro, A. C., Santos, J. A. (2016): Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global Change Biology*. doi:10.1111/gcb.13382
39. Frankel, C. (2014): *Land and Wine: The French Terroir*. University of Chicago Press
40. Frölicher, T. L., Fischer, E. M., Gruber, N. (2018): Marine heatwaves under global warming. *Nature* 560: 360-364.
41. Galen, C., Stanton, M. L. (1993): Short-term responses of alpine buttercups to experimental manipulations of growing season length. *Ecology* 74: 1052–1058.
42. Gaál, M., Moriondo, M., Bindi, M. (2012): Modelling the impact of climate change on the Hungarian wine regions using random forest. *Applied Ecology and Environmental Research* 10 (2): 121-140.
43. Gettelman, A., Rood, R. B. (2016): *Demystifying Climate Models*. Springer Verlag. Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-662-48959-8.
44. Gilbert, L. (2015): *Phenology and Climate Change*. Callisto Reference
45. Gladstones, J. (1992): *Wine, Terroir and Climate Change*. Wakefield Press. Kent Town, South Australia
46. Göndöcs J., Breuer H., Pongrácz R., Bartholy J. (2017): Városi hősziget meghatározásának lehetőségei a WRF modell felhasználásával. *Légekör* 62 (4): 165-170.
47. Grzeskowiak, L., Costantini, L., Lorenzi, S., Grando, M. S. (2013): Candidate loci for phenology and fruitfulness contributing to the phenotypic variability observed in grapevine. *Theoretical and Applied Genetics* 126 (11): 2736-2776.
48. Guilford, J. P. (1965): *Fundamental Statistics in Psychology and Education*. New York: McGraw-Hill.
49. Hajdu E., Borbásné S. É. (2009): *Abiotikus stresszhatások a szőlő életterében*. Agroinform Kiadó
50. Hantel, M. (2013): *Einführung Theoretische Meteorologie*. Springer Spektrum. Berlin
51. Harnos Zs., Gaál M., Hufnagel L. (2008): *Klímváltozásról mindenkinek*. BCE KeTK, Budapest
52. Harnos Zs., Ladányi M. (2003): *Biometria agrártudományi alkalmazásokkal*. BCE, Lexika Kiadó, Budapest

53. Hartmann, D. L., Klein, T., Rusticucci, M. (2013): Observations: Atmosphere and Surface". IPCC WGI AR5 (Chapter 2)
54. Haszpra L., Barcza Z. (2005): Légköri szén-dioxid mérések Magyarországon. Magyar Tudomány 1, 104–112.
55. Held, I. M. (2013): Climate science: The cause of the pause. Nature 501: 318-319.
56. Herbst, R., Herbst, S.T. (2003): The new wine lover's companion. 2<sup>nd</sup> ed. New York
57. Hlászny E. (2012): Egyes szőlőfajták (*Vitis vinifera* L.) fenológiai válaszadása a Kunsági borvidéken várható klimatikus változásokra. Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest: 163.
58. Hoffmann, M., Hoppmann, D., Hannes, R. S. (2007): Einfluss der Klimaveränderung auf die phänologische Entwicklung der Rebe sowie die Säurestruktur der Trauben. FA Geisenheim, DDW Geisenheim
59. Holfman, A. A., Parson, P. A. (1997): Extreme environmental change and evolution. Cambridge University Press, Cambridge
60. Hoppmann, D. (2010): Terroir, Wetter-Klima-Boden. Verlag Ulmer KG
61. Hughes, L. (2000): Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? Trends in Ecology and Evolution 15: 56-61.
62. Huglin, P. (1986): Biologieetécologie de la vigne. Ed. Payot, Lausanne-Paris
63. Ignaciuk, A., Mason-D'Croze, D. (2014): Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture-OECD Food. Agriculture and Fisheries Papers 70: doi: 10.1787/5jxrclljnbnxq
64. IPCC (2007): Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the IPCC. Fourth Assessment Report: Summary for Policymakers. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland
65. IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I. to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
66. Jackson D. I., Lombard, P. B. (1993): Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review. American journal of enology and viticulture 4: 409–430.
67. Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S.,

- Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J. F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P. (2013): EURO - CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*. Springer Berlin Heidelberg: 1–16.
68. Jones, G. V., Davis, R. E. (2000): Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *American Journal of Enology and Viticulture* 51: 249-261.
69. Jones, G. V. (2005): Climate change in the Western United States grape growing regions. In *Proceedings of the Seventh International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology*: 41-59.
70. 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.
71. Karl, T. R., Nicholls, N., Ghazi, A. (1999): CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climate Change* 42: 3-7.
72. Károssy Cs. (2004): *Légekörtan I.- Általános meteorológia*. Oskar Kiadó
73. Károssy Cs. (2017): Szóbeli közlés
74. Keddy, P. A. (2007): *Plants and Vegetation: Origins, Processes, Consequences*. Cambridge University Press, Cambridge
75. Khanduri, V. P., Sharma C. M., Singh, S. P. (2008): The effects of climate change on plant phenology. *Environmentalist* 28: 143-147.
76. Kirsch A. (2007): Soproni Cuvee: Mozaikok a Soproni borvidék történetéből. *Rubicon* (6): 64-70.
77. Knutson, T. R., McBride, J. L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J. P., Srivastava, A., Sugi, M. (2010): Tropical Cyclones and Climate Change. *Nature Geoscience* 3: 157-163.
78. Kovács, E., Puskás, J., Pozsgai, A. (2017): Positive Effects of Climate Change on the Field of Sopron Wine-Growing Region in Hungary. *Perspectives on Atmospheric Sciences*. Zürich: Springer International Publishing: 607-613.
79. Kovács P. (2008): A borturizmus helyzete és lehetőségei a Balatonmelléke (Zalai) borvidék Muravidéki Körzetében. Károly Róbert Főiskola. (Kézirat): 57.

80. Kozma F. (1960): A hótakaró hőmérsékleti viszonyának vizsgálata. Beszámolók az 1959-ben végzett tudományos kutatásról. OMI 22: 94-103.
81. 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.
82. Kristóf E. (2013): A légköri szén-dioxid koncentráció növekedése és a globális hőmérséklet növekedése az elmúlt körülbelül másfél évszázadban. ELTE (Kézirat): 3-9.
83. Kriszten Gy. (1999): Tavasztól-tavaszig a szőlőben. Mezőgazda Kiadó, Budapest
84. Laget, F., Tondut, J. L., Deloire, A., Kelly, M. T. (2008): Climate trends in a specific Mediterranean viticultural area between 1950 and 2006. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 42 (3): 113-123.
85. Lakatos L., Karácsony Z., Racsó J., Zhong-F. S., Wang Y. (2005): A légköri szárazság hatásának vizsgálata a különböző kertészeti és szántóföldi növényfajok termésmennyiségének változására. *Agrártudományi Közlemények* 18: 40–45.
86. Lakatos, M., Szentimrey, T., Birszki, B., Kövér, Zs., Bihari, Z., Szalai, S. (2007): Changes of the Temperature and Precipitation Extremes on Homogenized Data. *Acta Silvatica & Lingaria Hungarica* 3: 87-96.
87. Lakatos M., Bihari Z., Szentimrey T. (2014): A klímaváltozás magyarországi jelei. *Légkör* 59 (4): 158-164.
88. Lakatos M., Bihari Z., Hoffmann L., Izsák B., Kircsi A., Szentimrey T. (2018): Éghajlatváltozás. Megfigyelt változások Magyarországon. OMSZ (2018. február 20.), [www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarorszag/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/)
89. Lapos J. (2003): Balatoni Borok. Kossuth Kiadó, Szeged
90. 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
91. Lieth, H. (1971): The phenological viewpoint in productivity studies. In: UNESCO, eds. *Productivity of forest ecosystems*. Paris, France: UNESCO: 71-83.
92. Lindstedt, D., Lind, P., Kjellström, E., Jones, C. (2015): A new regional climate model operating at the meso-gamma scale: performance over Europe. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography* 67 (1): doi: 10.3402/tellusa.v67.24138.

93. Lobell, D., Burke, T., Tebaldi, C., Mastarndera D.M., Falcon, P.W., Naylor, R.L. (2008): Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science* 319: 607-610.
94. Lugo, A. E. (2009): Effects and outcomes of Caribbean hurricanes in a climate change scenario. *Science of The Total Environment* 262 (3): 243-251.
95. Maaß, U., Sschwab, A. (2011): Wärmeanspruch von Rebsorten. *Klimawandel und Sortenwahl* (10): 29-31.
96. Major Gy. (2011): A fotoszintetikusán aktív sugárzás hazai vizsgálata. *Légkör* 56 (1): 10-15.
97. Menzel, A. (2005): A 500 year pheno-climatological view on the 2003 heatwave in Europe assessed by grape harvest dates. *Meteorologische Zeitschrift* 14 (1): 75-77.
98. Menzel, A., Jakobi, G., Ahas, R., Scheifinger, H., Estrella, N. (2003): Variations of the climatological growing season (1951–2000) in Germany compared with other countries. *International Journal of Climatology* 23: 793–812.
99. Mester M.A. (2015): A globális klímaváltozás becslésére készült új RCP kibocsátási scenáriók összehasonlítása. ELTE-TTK, Meteorológiai Tanszék (Kézirat): 47-48.
100. Mika J. (1996): Éghajlati foratókönyvek - in: Változások a légkörben és az éghajlatban. *Természet Világa Különszám*: 69-74.
101. Mika J. (2011): Éghajlatváltozás, hatások, válaszadás. Hallgatói Információs Központ (online)
102. Mika J. (2014): Szünetelő melegedés – kihívások és következtetések az IPCC jelentéseiben (2013-2014). VII. Magyar Földrajzi Konferencia. Abstract Volume, Miskolc: 12-13.
103. Mitchell, J. F. B. (1989): The "greenhouse" effect and climate change. *Reviews of Geophysics* 27 (1): 115-139.
104. Mokhov, I. I., Timazhev, A. V., Lupo, A. R. (2014): Changes in atmospheric blocking characteristics within Euro-Atlantic region and Northern Hemisphere as a whole in the 21<sup>st</sup> century from model simulations using RCP anthropogenic scenarios. *Global and Planetary Change* 122: 265–270.
105. Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., Carter T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson,



- A. M., Weyant, J. P., Wilbanks, T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747–756.
106. Mozell, M. R., Thach, L. (2014): The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & Solutions. *Wine Economics and Policy* 3 (2): 81-89.
107. Mullins, M. G., Bouquet, A., Williams, L. E. (1992): *Biology of the grapevine*. Cambridge University Press
108. Németh L., Zentai Z., Puskás J. (2013): Agrometeorológiai- és talajvizsgálatok a kőszegi szőlőterületeken. 4. Szőlő és Klíma Konferencia, Kőszeg (2012. ápr. 21.): 43-48.
109. Németh L., Puskás J., Zentai Z. (2016): Szőlőklíma mérések a „Szőlő Elektronikus Kalendárium” bemutatásában. *Légkör* 61 (4): 142-146.
110. NCADAC (2013): *Climate Change Impacts in the United States*. National Climate Assessment and Development Advisory Committee. Washington: 64-71.
111. OMSZ (2017): Útmutató növényfenológiai megfigyelésekre. Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ)
112. Penning de Vries, F. W. T., Jansen, D. M., ten Berge, H. F. M., Bakema, A. (1989): *Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen, Netherlands
113. Péczely Gy. (2002): *Éghajlat*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
114. Pieczka I. (2012): A Kárpát-medence térségére vonatkozó éghajlati scenáriók elemzése a PRECIS finom felbontású regionális klímamodell felhasználásával. Doktori (PhD) értekezés. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest: 95.
115. Pierce, D. W., Barnett, T. P., Santer, B. D., Gleckler, P. J. (2009): Selecting global climate models for regional climate change studies. *PNAS* 106 (21): 8441-8446.
116. Pouget, R. (1968): Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis* 7: 201–205.
117. Puskás J., Németh L., Károssy Cs., Kiss Z., Zentai Z. (2011): A bor minősége – komplex időjárási jellemzők és a „Szőlő jövőének könyve” bejegyzései alapján. 2. Szőlő és Klíma Konferencia, Kőszeg (2010. ápr. 17.), CD-ROM (ISBN 978-963-8481-12-2): 1-6.
118. Puskás J., Károssy Cs. (2013): A bor minőség és az időjárás közötti összefüggések néhány jellemzője a Kőszeg-hegyaljai borok és Szombathely 100 éves napi meteorológiai adatai alapján. 4. Szőlő és Klíma Konferencia, Kőszeg, CD-ROM: 142-153.

119. Rakonczai, J. (2011): Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin. In: Blanco, J. A., Kheradmand, H. (eds.): *Climate Change – Geophysical foundations and ecological effects*. Intech Open Access Publisher: 297–322.
120. Rakonczai J. (2013): *A klímaváltozás következményei a dél-alföldi tájakon*. Akadémiai doktori értekezés. Szeged
121. Ratkó I. (1999): *Statisztikai próbák kézikönyve*. OTKA. A Magyar Reumatológusok Egyesülete kiadványa
122. 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
123. Richardson, E. A., Seeley, S. D., Walker, R. D., Anderson, J., Ashcroft, G. (1975): *Pheno-climatography of spring peach bud development*. HortScience 10: 236–237.
124. Riou, C. (1994): *The effect of climate on grape ripening: application to the zoning of sugar content in the European community*. CECACEE-CECA, Luxembourg
125. 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.
126. Salma I. (2006): *A légköri aeroszol szerepe a globális éghajlatváltozásban*. Magyar tudomány. MTA folyóirata. Budapest. 167 (2): 205-211.
127. Sándor V., Wantuch F. (2005): *Repülésmeteorológia*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest
128. Scholze, M., Knorr, W., Arnell, W. N., Prentice, I. C. (2006): *A climate-change risk analysis for world ecosystems*. PNAS 103 (35): 13116-13120.
129. Schultz, H. R., Jones, G. V. (2010): *Climate Induced Historic and Future Changes in Viticulture*. Journal of Wine Research 21 (2/3): 137-145.
130. Stroeve, J., Hollnád, M. M., Meier, W., Scambos, T., Serreze, M. (2007): *Arctic sea ice decline: Faster than forecast*. Geophysical Research Letters 34 (9): doi:10.1029/2007GL029703.
131. Schwartz, M. D. (2013): *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer International Publishing AG. Zürich, doi: 10.1007/978-94-007-0632-3
132. Stocker, T. (2011): *Introduction to Climate Modelling*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
133. Suzuki, T., Hasumi, H., Sakamoto, T. T., Nishimura, T., Abe-Ouchi, A., Segawa, T., Okada, N., Oka, A., Emori, S. (2005): *Projection of future sea level and its*

- variability in a high-resolution climate model: Ocean processes and Greenland and Antarctic ice-melt contributions. *Geophys. Res. Lett.* 32. doi:10.1029/2005GL023677
134. Szalai S., Bihari Z., Lakatos M., Szentimrey T. (2005): Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig, OMSZ: 4-9.
  135. Szalai S., Mika J. (2007): A klímaváltozás és időjárási anomáliák előrejelzése az erdőtakaró szempontjából fontos tényezőkre. In Mátyás Cs., Vig P. (szerk). *Erdő és Klíma V.*:133-143.
  136. Szépszó, G., Horányi, A. (2008): Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. *Időjárás* 112 (3–4): 203–231.
  137. Szépszó G., Horányi A., Lakatos M. (2012): A Magyarországon megfigyelt éghajlati tendenciák, valamint a jövőben várható változások és bizonytalanságaik elemzése. 2. sz. melléklet, OMSZ: 13-14.
  138. Szépszó G., Krüzselyi I., Illy T., Sábitz J. (2015): Az ALADIN-Climate regionális klímamodell integrálási tartományának megválasztására vonatkozó érzékenységvizsgálat. RCMTÉR (EEA-C13-10) projekt beszámoló. Országos Meteorológiai Szolgálat
  139. Tomczyk, A. M. (2016): Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe. *Időjárás* 120 (4): 395-414.
  140. Tonietto, J., Carbonneau, A. (2004): A multicriteria climatic classification system for grape growing regions worldwide. *Agricultural and Meteorology* 124: 81-97.
  141. van Ulden, A. P., van Oldenborgh, G. J. (2006): Large-scale atmospheric circulation biases and changes in global climate model simulations and their importance for climate change in Central Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6: 863-881.
  142. van der Linden, P., Mitchell, J. F. B. (2009): ENSEMBLES: Climate change and its impacts-Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK: 160.
  143. van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change Special Issue: The Representative Concentration Pathways in Climatic Change* 109: 5-31.

144. Varga Z., Varga-Haszonits Z., Enzsölné G. E., Lantos Zs., Milics G. (2012): A fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) fejlődésének bioklimatológiai elemzése. *Acta Agronomica Óváriensis* 54 (1): 35-50.
145. Varga-Haszonits Z., Varga Z. (2013): Az őszi búza virágzási és érési időpontjainak előrejelzése hosszú fenológiai adatsorok alapján. *Acta Agronomica Óváriensis* 55 (2): 3-11.
146. Varga-Haszonits Z. (1987): *Agrometeorológia*. Mezőgazda Kiadó. Budapest
147. Visser, M. E., Both, C. (2005): Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proceedings. Biological science* 272 (1581): 2561-2569.
148. 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
149. Wang, M., Overland, J. E. (2009): A sea ice free summer Arctic within 30 years? *Geophysical Research Letters* 36 (7). doi: 10.1029/2009GL037820.
150. Watson, C. S., White, N. J., Church J. A., King, M. A., Burgette, R. J., Legresy, B. (2015): Unabated global mean sea-level rise over the satellite altimeter era. *Nature Climate Change* 5: 565-568.
151. Williams, S. J. (2013): Sea-Level Rise Implications for Coastal Regions. *Journal of Coastal Research* 63: 184-196.
152. Winkler, A. J., Cook, J. A., Kliere, W. M., Lider, L. A. (1974): *General Viticulture* (2<sup>nd</sup> ed.). University of California Press
153. Yasuyuki, A., Keiko, K. (2008): Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9<sup>th</sup> century. *International Journal of Climatology* 28 (7): 905-914.
154. AR5 [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)
155. Soproni Borvidék Hegyközségi Rendtartása
156. Balatonmelléki Borvidék Hegyközségi Rendtartása (2009) <http://borvidek.eu> (2018.11.03)
157. Met Office <https://www.metoffice.gov.uk/research/monitoring/climate/surface-temperature> (2018. 09. 30) (2. ábra)
158. Copernicus Climate Change Service <https://climate.copernicus.eu/indicators-2017-glaciers> (2018. 10.19) (4. ábra)
159. NASA <https://www.nesdis.noaa.gov/jason-3/> (2018.01.12) (3. ábra)
160. NOAA <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/780/mediaid/537?mediaid=535%2C534> (2017.12.12.) (1. ábra)
161. IS-ENES [https://climate4impact.eu/impactportal/documentation/backgroundandtopics.jsp?q=regional\\_models](https://climate4impact.eu/impactportal/documentation/backgroundandtopics.jsp?q=regional_models) (2018.02.13.)

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 kiemelt projekt kereteiben készült.*

Köszönetet szeretnék mondani Puskás János professzor úrnak, aki 2010 óta mentorál, a BSc-s szakdolgozatom és az MSc-s diplomamunkám témavezetője volt, 2015 óta a doktori témavezetőm. Több évtizedes tapasztalatai, szakmai tanácsai és önzetlen segítségéért külön köszönetet szeretnék mondani.

A Soproni és a Zalai borvidék falugazdászai, gazdái és hobbitermelői nélkül nem valósulhatott volna meg a kutatás.

Dr. Bussay László (1958-2014), az Európa szerte ismert Bussay Pincészet alapítójának tanácsai nélkül, a kutatásom és a doktori munkám nem készülhetett volna el.

Köszönöm Horváth Szabolcs, Kovács Pál, Tóthfalvi Márk, Lakatos Gergő borászoknak és Milei Kitti bortermelési szakértőnek a szakmai segítséget.

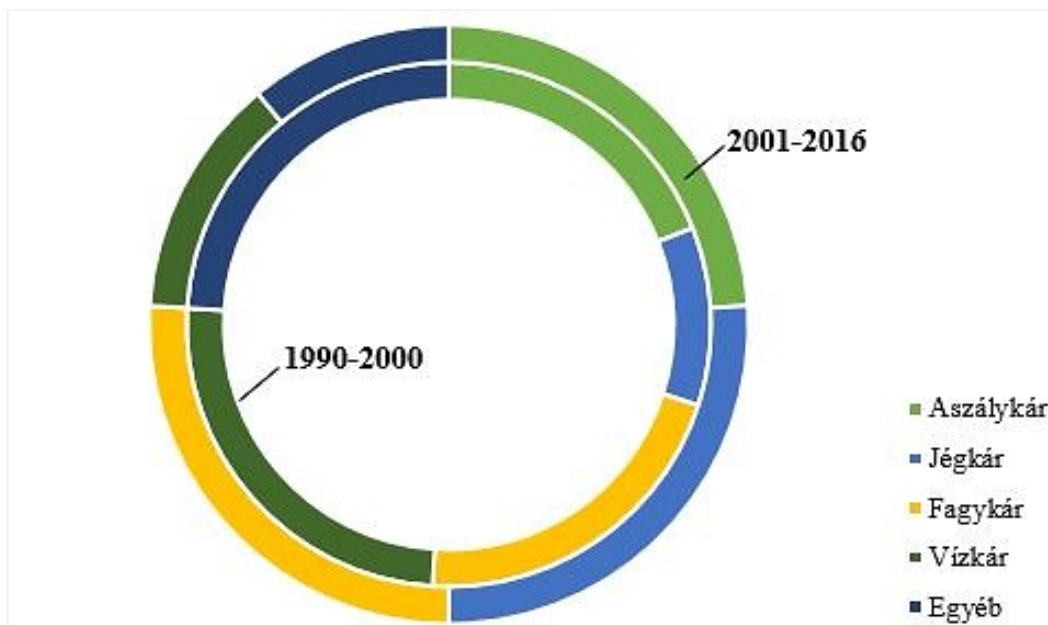
Köszönöm a segítséget, a szakmai tanácsokat és az agrometeorológiai adatokat Dr. Németh Lászlónak, Dr. Kozma Katalinnak és Dr. Károssy Csabának.

## MELLÉKLETEK

**24. táblázat A letenyi első kalibrált állomás hőmérséklet, csapadék és légnyomás értéke a telepítés óta (az adatok szabadon felhasználhatók)**

Év	Hónap	Csapadék mm	Átlagos légnyomás hPa	Legalacsonyabb hőmérséklet (6 és 7 órai mérés) °C	Legmagasabb hőmérséklet (14 és 15 órai mérés) °C	Havi közép- hőmérséklet °C
2005	december	78	1018	-3	4	0,5
2006	január	30	1027	-7	0,5	-3
2006	február	31	1017	-4,5	4,5	0
2006	március	33	1013	-2	9	3,5
2006	április	80	1014	5	18	11,5
2006	május	111	1017	10	22	16
2006	június	115	1019	13	25	19
2006	július	13	1018	14	30	22
2006	augusztus	130	1011	12,5	22,5	17,5
2006	szeptember	45	1018	8	24	16
2006	október	21	1018	5	19	12
2006	november	21	1020	1	11	6
2006	december	17	1028	-1	6	2,5
2007	január	19	1020	-2	12	5
2007	február	45	1014	0	10	5
2007	március	66	1016	1	12	6,5
2007	április	1	1020	1	20	10,5
2007	május	77	1012	12	22	17
2007	június	50	1012	14	27	20,5
2007	július	42	1013	15	32	23,5
2007	augusztus	92	1014	14	27	20,5
2007	szeptember	161	1018	6	19	12
2007	október	60	1022	4	13	8,5
2007	november	51	1018	-2	6	2
2007	december	49	1026	-5	2	-1,5
2008	január	7	1024	-3	5	1
2008	február	11	1028	-2	9	4,5
2008	március	71	1008	0	12	6
2008	április	24	1011	3	17	10
2008	május	24	1014	8	22	15
2008	június	84	1016	13	25	19
2008	július	97	1015	14	25	19,5
2008	augusztus	44	1015	10	26	18
2008	szeptember	53	1018	9	20	14,5
2008	október	55	1020	4	19	11,5
2008	november	26	1018	2	10	6
2008	december	90	1020	-1	5	2
2009	január	57	1018	-5	1	-2
2009	február	47	1012	-2	5	1,5
2009	március	52	1014	1	11	6
2009	április	20	1015	4	21	12,5
2009	május	88	1018	8	23	15,5
2009	június	131	1014	11	23	17
2009	július	53	1015	12	29	20,5
2009	augusztus	62	1017	13	29	21
2009	szeptember	41	1021	10	23	16,5
2009	október	43	1017	5	16	10,5
2009	november	69	1015	3	12	7,5
2009	december	64	1011	-2	6	2
2010	január	54	1015	-4	1	-1,5
2010	február	51	1008	-5	6	0,5

2010	március	37	1018	1	11	6
2010	április	59	1018	4	17	10,5
2010	május	110	1011	9	22	15,5
2010	június	148	1012	13	23	18
2010	július	91	1015	13	28	20,5
2010	augusztus	136	1014	14	27	20,5
2010	szeptember	178	1015	9	19	14
2010	október	34	1018	2	13	7,5
2010	november	67	1010	3	11	7
2010	december	66	1015	-5	1	-2
2011	január	43	1022	-4	-1	-2,5
2011	február	5	1022	-2	2	1
2011	március	12	1014	2	9	5,5
2011	április	12	1017	5	17	11
2011	május	22	1019	10	23	16,5
2011	június	1	1016	13	25	19
2011	július	46	1020	14	24	19
2011	augusztus	18	1014	18	28	23
2011	szeptember	42	1018	15	24	19,5
2011	október	46	1023	9	15	12
2011	november	0	1029	0	5	2,5
2011	december	65	1020	1	6	3,5
2012	január	19	1022	1	4	2,5
2012	február	22	1025	-7	1	-3
2012	március	2	1025	2	16	8,5
2012	április	33	1008	5	19	12
2012	május	59	1010	9	23	16
2012	június	46	1015	16	27	21,5
2012	július	98	1014	18	29	23,5
2012	augusztus	2	1019	14	32	23
2012	szeptember	64	1017	10	24	17
2012	október	66	1015	5,5	15,5	11
2012	november	49	1018	4	12	8
2012	december	53	1017	-3,5	3,5	0,5
2013	január	80	1015	-2,5	3	0,5
2013	február	79	1014	-1	4	1
2013	március	148	1010	0	7	3,5
2013	április	60	1015	7	17	12
2013	május	61	1011	10	20	15
2013	június	19	1015	12	24	18
2013	július	2	1017	12	29	20,5
2013	augusztus	55	1017	12,5	28	20,5
2013	szeptember	79	1015	8	20	14
2013	október	31	1020	6	18	12
2013	november	138	1016	4	10,5	7
2013	december	18	1025	-1	6	2,5
2014	január	32	1021	-0,5	6,8	3,3
2014	február	138	1015	0,5	7,9	4,4
2014	március	12	1018	2	15,5	8,5
2014	április	47	1013	6	18	12
2014	május	60	1014	8	20,5	14,5
2014	június	59	1015	11	25,5	18
2014	július	132	1013	16	28	22
2014	augusztus	92	1015	15,5	26	21
2014	szeptember	220	1017	13	21	17
2014	október	9	1020	9,5	20	15
2014	november	24	1018	4	12	8
2014	december	47	1019	1	8	3,5
2015	január	69	1018	-1	6	2,5
2015	február	72	1018	-2	6	2
2015	március	22	1021	0	13	6,5
2015	április	13	1019	3,5	17,5	10,5
2015	május	98	1016	10	22	16
2015	június	3	1018	13	26	19,5
2015	július	52	1016	16	30	23
2015	augusztus	29	1016	15	29,5	22
2015	szeptember	54	1017	10	22	16
2015	október	149	1020	5	15	10
2015	november	31	1021	0,5	14	7,5
2015	december	10	1032	-1,5	7	2,5



46. ábra Az időjárási elemek okozta károk a Soproni és a Zalai borvidéken (MABISZ, FVH, ZVH, NÉBIH, falugazdászok, saját adatok)



47. ábra Fakadó rügyek a Rizlingszilváni fajtán (Csörnyeföld)





***48. ábra Zweigelt virágfürtök a virágzás előtt (Kőszeg, a kép a SZELFI rendszerben megtalálható)***

## TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK JEGYZÉKE

### 1. Az értekezés témájához közvetlenül kapcsolódó megjelent nemzetközileg referált, impakt faktoros és hazai közlemények

- [1] Kovács Erik, Puskás János, Pozsgai Andrea, Kozma Katalin: Shift in the annual growth cycle of Grapevines (*Vitis vinifera* L.) in West Hungary. Applied Ecology and Environmental Research: doi: 10.15666/aer/1602\_20292042, (2018)
- [2] Kovács Erik, Puskás János, Pozsgai Andrea: Positive Effects of Climate Change on the Field of Sopron Wine-Growing Region in Hungary. Perspectives on Atmospheric Sciences. Springer: doi:10.1007/978-3-319-35095-0\_86, (2017)
- [3] Kovács Erik, Puskás, János, Bán Zsombor Balázs, Kozma Katalin: Agroklimatológiai vizsgálatok Kőszeghegyalján és Vas-hegyen. Légkör 63 (2): 68-74, (2018)
- [4] Kovács Erik, Puskás János: A regionális éghajlatváltozás egyik lehetséges nyertese a Soproni borvidék. Kertgazdaság 48 (4): 51-65, (2016)
- [5] Kovács Erik, Puskás János: A szőlő fenológiájának tanulmányozása a Zalai dombvidéken. Kertgazdaság 46 (1): 38-47, (2014)
- [6] Kovács Erik, Puskás János: Az éghajlati paraméterek és a szőlő fenológiai vizsgálata Kerkamente, Muramente és Muravidék területén. Légkör 58 (4): 156-160, (2014)
- [7] Kovács Erik, Milei Melitta: Positive Effects of Climate Change on Some Climate Indicators on the Field of Zala Wine Region in Hungary. NymE Savaria Egyetemi Központ Tudományos Közleményei Természettudományok 16: 23-34, (2016)
- [8] Kovács Erik, Puskás János: A makroszinoptikus időjárési típusok és a mustfok kapcsolata. Szőlő-Levél Szakfolyóirat 4 (7): 8-11, (2014)
- [9] Kovács Erik, Kopecskó Zsanett, Puskás János: Impact of Climate Change on Wine Regions of the Western Part of the Carpathian Basin. NymE Savaria Egyetemi Központ Tudományos Közleményei Természettudományok 15: 71-89, (2014)
- [10] Kovács Erik, Puskás János: Vas megye éghajlata. ELTE Savaria Természettudományi és Sporttudományi Közlemények 17: 31-45, (2018)

### 2. Tankönyv, szakkönyv, könyvrészlet

- [11] Kovács Erik, Puskás János: Vas megye éghajlata. In:Szerk: Csapó Tamás: Vas megye földrajza. Szakkönyv könyvfejezet. (Megjelenés alatt)

### 3. Angol és magyar nyelvű konferencia előadások

- [12] Kovács Erik, Puskás János: Changes in extreme climate parameters on the Western part of the Carpathian Basin since 1950. 14<sup>th</sup> International Conference on Applications of Natural, Technological and Economic Sciences. Szombathely, 27-33, (2015)
- [13] Kovács Erik, Puskás János: Regional Effects of Climate Change on the Field of Sopron Wine-Growing Region. XI. Regionális Természettudományi Konferencia. NymE-TTK Szombathely, (2016)
- [14] Puskás János, Tar Károly, Szepesi J, Kovács Erik: Statistical Investigation of Subalternation of the Daily Mean Wind Speed on the North-West Region of Carpathian Basin. COMECAP 2014: 12<sup>th</sup> International Conference of Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere. Heraklion (Görögország), 85-89, (2014) (előadó: Kovács Erik)
- [15] Kovács Erik, Puskás János: Az éghajlatváltozás pozitív hatásai a Kárpát-medence nyugati borvidékein az elmúlt 30 évben. 15<sup>th</sup> International Conference on Applications of Natural, Technological and Economic Sciences. Szombathely, 259-265, (2016)
- [16] Kovács Erik, Puskás János: A borszőlő természetességi feltételeinek lehetséges változásai az éghajlatváltozás függvényében a Zalai Borvidék területén. XIII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Szombathely-Sopron, 37-44, (2014)
- [17] Kovács Erik, Puskás János, Pozsgai Andrea: Positive Effects of Climate Change on the Field of Sopron Wine-Growing Region in Hungary. COMECAP 2016: 13<sup>th</sup> International Conference of Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere, Thesszaloniki (Görögország), 6-7, (2016) (Előadó: Kovács Erik)
- [18] Kovács Erik, Milei Melitta: A szőlő tenyésztésének változása a Kerka- és Muramenti Hegyközség területén. 5. Szőlő és Klíma Konferencia. Kőszeg, 30-36, (2013)
- [19] Kovács Erik: Az éghajlatváltozás és a borszőlő fenofázisai közötti kapcsolat vizsgálata a Zalai Borvidék területén. 6. Szőlő és Klíma Konferencia. Kőszeg, CD-ROM forrás, (2014)
- [20] Kovács Erik: Effects of Climate Change on the Kőszeg –Vaskeresztes Wine-Growing Region (1901-2014): 7. Szőlő és Klíma Konferencia. Kőszeg, 8-9, (2015)
- [21] Puskás János, Kovács Erik, Unger István: A must minősége Kőszegen, az időjárás és a szüret időpontja függvényében. 8. Szőlő és Klíma Konferencia. Kőszeg (megjelenés alatt), (2016)
- [22] Kovács Erik, Bán Zsombor Balázs, Kozma Katalin: Agroklimatológiai vizsgálatok Kőszeghegyalján és Vas-hegyen. 9. Szőlő és Klíma Konferencia. Kőszeg (megjelenés alatt), (2017)
- [23] Kovács Erik, Puskás János: Az éghajlatváltozás egyik regionális hatása a *Vitis vinifera* L. szüretidejének eltolódása Nyugat-Magyarország borvidékein. XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Gödöllő (2018. április 5-7., poszter), (2018)
- [24] Kovács Erik, Puskás János, Kozma Katalin: Early Phenological Responses of Grapevine to Climate Change in West Hungary. 14<sup>th</sup> International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics. Alexandroupolis (Görögország), (2018. október 15-17.)

- [25] Kovács Erik, Puskás János, Milei Melitta: Az éghajlatváltozás pozitív hatása Kőszeghegyalján. II. Gazdálkodás és Menedzsment Tudományos Konferencia. Környezettudományi szekció, Kecskeméti Főiskola (2015. augusztus 27.), (2015) (előadás)

### **3. Egyéb az értekezés témájához közvetlenül kapcsolódó publikáció**

- [26] Kovács Erik, Puskás János: Relationship Between the Péczy's Large-Scale Weather Types and Merlot's Harvest Time. Tiszteletkötet Károssy Csaba 70. születésnapjára, Magyar Meteorológiai Társaság, 19-25, (2015) könyvrészlet
- [27] Kovács Erik: Kerkamente és Muramente éghajlatának változása és hatása a helyi mezőgazdaságra. "Kreativitás, kutatás, alkotás" Konferencia, Sopron NymE, 48-49, (2013)

### **4. Szerkesztői tevékenység**

- [28] XVI. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia: Az előadások összefoglalói. Szombathely, ELTE, (2017)
- [29] 6. Szőlő és Klíma Konferencia. Az előadások összefoglalásai és a tanulmányfüzet. Kőszeg (2014. április 2.), (2017)
- [30] 7. Szőlő és Klíma Konferencia. Az előadások összefoglalásai és a tanulmányfüzet. Kőszeg (2015. április 18.), (2017)
- [31] Fénycsapdán innen és túl ...: Tiszteletkötet Mészáros Zoltán és Nowinszky László professzor urak 80. születésnapjára. Szombathely, Savaria University Press, (2016)

# ADATLAP

## a doktori értekezés nyilvánosságra hozatalához\*

### I. A doktori értekezés adatai

A szerző neve: Kovács Erik

MTMT-azonosító: 10039858

A doktori értekezés címe és alcíme: A Soproni és a Zalai borvidék agroklimatikus jellemzése és a borszőlő (*Vitis vinifera* L.) fajták fenofázisainak válasza az éghajlat változására

DOI-azonosító<sup>46</sup>: 10.15476/ELTE.2018.068

A doktori iskola neve: ELTE Környezettudományi Doktori Iskola

A doktori iskolán belüli doktori program neve: Kitaibel Pál Multidiszciplináris Doktori Program

A témavezető neve és tudományos fokozata: Puskás János, habil. PhD

A témavezető munkahelye: ELTE-TTK Savaria Földrajzi Tanszék H-9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

### II. Nyilatkozatok

#### 1. A doktori értekezés szerzőjeként

a) hozzájárulok, hogy a doktori fokozat megszerzését követően a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban. Felhatalmazom a Természettudományi kar Dékáni Hivatal Doktori, Habilitációs és Nemzetközi Ügyek Csoportjának ügyintézőjét, hogy az értekezést és a téziseket feltöltse az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba, és ennek során kitöltse a feltöltéshez szükséges nyilatkozatokat.

b) kérem, hogy a mellékelt kérelemben részletezett szabadalmi, illetőleg oltalmi bejelentés közzétételéig a doktori értekezést ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

c) kérem, hogy a nemzetbiztonsági okból minősített adatot tartalmazó doktori értekezést a minősítés (*dátum*)-ig tartó időtartama alatt ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

d) kérem, hogy a mű kiadására vonatkozó mellékelt kiadó szerződésre tekintettel a doktori értekezést a könyv megjelenéséig ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban, és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban csak a könyv bibliográfiai adatait tegyék közzé. Ha a könyv a fokozatszerzést követően egy évig nem jelenik meg, hozzájárulok, hogy a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban.

#### 2. A doktori értekezés szerzőjeként kijelentem, hogy

a) az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba feltöltendő doktori értekezés és a tézisek saját eredeti, önálló szellemi munkám és legjobb tudomásom szerint nem sértem vele senki szerzői jogait;

b) a doktori értekezés és a tézisek nyomtatott változatai és az elektronikus adathordozón benyújtott tartalmak (szöveg és ábrák) mindenben megegyeznek.

3. A doktori értekezés szerzőjeként hozzájárulok a doktori értekezés és a tézisek szövegének plágiumkereső adatbázisba helyezéséhez és plágiumellenőrző vizsgálatok lefuttatásához.

Kelt: Budapest, 2018. 11. 10.

.....  
a doktori értekezés szerzőjének aláírása

*\*ELTE SZMSZ SZMR 12. sz. melléklet*

*Kulcsszavak: Klímaváltozás, borszőlő, Kárpát-medence, fenológia*

*Keywords: Climate change, grapevine, Carpathian Basin, phenology*