

AGROKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATOK KŐSZEGHEGYALJÁN ÉS VAS-HEGYEN

AGRO-CLIMATOLOGICAL INVESTIGATION IN KŐSZEGHEGYALJA AND VAS-HEGY (HUNGARY)

Kovács Erik¹, Puskás János², Bán Zsombor Balázs³, Kozma Katalin⁴

¹ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem Környezettudományi Doktori Iskola
H-1116 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, *kovacserek19@gmail.com*

²ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem Savaria Földrajzi Tanszék
H-9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4, *pjanos@gmail.com*

³BME Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

⁴Széchenyi István Egyetem Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Környezetmérnöki Tanszék

Összefoglalás. Agroklimatológiai és növényfenológiai kutatásunkat a Soproni borvidék kőszeghegyalja-vaskeresztesi körzetén végeztük. Először az éghajlati paraméterek általános elemzését végeztük el, majd azon indikátorokat vizsgáltuk, melyek a borszőlő (*Vitis vinifera* L.) fenológiai vizsgálatánál elengedhetetlenek (pl. Huglin-index, Gladstones-féle fagyindex stb.). A tenyészidőszak alatt szignifikánsan nőtt a minimum, a maximum hőmérséklet és szignifikánsan csökkent a lehullott csapadék mennyisége az elmúlt 30 évben, de a konvektív csapadékos napok száma azonban 14-gyel nőtt. Minden indikátor jelentős változást mutat a korábbi 30 évhez viszonyítva a vizsgált térségben.

Abstract. A comprehensive phenological investigation has been made in the district Kőszeghegyalja-Vaskeresztes of Sopron wine-growing region. For one, a general investigation of the climate parameters has been made, and then all those indices were analysed, which are inevitable in the grape (*Vitis vinifera* L.) phenological researches (e.g. Huglin-index, Gladstone's Spring Frost Index etc.). Over the past 30 years, the minimum and maximum temperatures significantly increased, the precipitation decreased, nevertheless, the convective precipitation increased by 14 days during the growing season. Each climate indicator has changed considerably between 1986 and 2015 compared to the previous 30 years (1956–1985).

Bevezetés. A 21. század egyik legjelentősebb regionális kihívása a klímaváltozás és a mezőgazdaságban fellépő szélsőségek elleni alkalmazkodás és védekezés. Az emelkedő hőmérsékletnek a tenyészidőszak alatt és nyugalmi időszakban már látható jelei vannak Európában (Cook és Wolkowich, 2016). A szőlőtermesztésre alkalmas területek északi határa mára 150–200 km-rel eltolódott, mely az egyes klímaszcenáriók eredményei alapján a század második felére elérheti a 350–400 km-t (Mozell és Thach, 2014). Az éghajlatváltozás számos pozitív és negatív hatást indukál (Parry et al., 2014). Ha a Kárpát-medencét nézzük, láthatjuk, hogy az időjárásban megnövekedett extrémítások (pl. villámárvizek, hóhullámok, aszályok, jégkarak stb.) jelentős hatást gyakorolnak a növény- és állatvilág életfolyamataira (Bartholy et al., 2011). Különösen a haszonnövények reagálnak érzékenyen a mi szélességi területünkön a megváltozott körülményekre, ezáltal a legjelentősebb indikátorai a változásoknak (Durack et al., 2014). A szőlő termésének minősége és mennyisége jelentősen függ az adott térség mikro- és mezoklimatikum adottságaitól (Fraga et al., 2013). Nagyon lényeges minden esetben a talaj-klíma-szőlőfajta egyensúlyt figyelembe venni a termesztéshez (Fraga et al., 2014). Ezen egyensúlyi helyzet inoghat meg negatív vagy pozitív irányba a klíma megváltozásának eredményeként, ezért rendkívül fontos azon szőlőfajták és klónjaik telepítése, melyek képesek alkalmazkodni a változásokhoz. Kutatásunk fő célja az volt, hogy vizsgáljuk a Soproni borvidékhez tartozó Kőszeg-hegyalja és Vas-hegy éghajlati kondícióit a borszőlő (*Vitis vinifera* L.) termesztési szempontból az utolsó lezárt 30 évre (1986–2015) vetítve.

Anyag és módszer. Kutatásunkat Soproni borvidék kőszeghegyalja-vaskeresztesi borkörzetén végeztük. 13

meteorológiai állomás adatait használtuk fel. Az Országos Meteorológiai Szolgálat két a borvidék közelében található szombathelyi és kőszegi állomását, az osztrák intézet (ZAMG) urgenlandi állomását, mely az osztrák-



1. ábra: A telepített meteorológiai állomások, melyeket a kutatásnál használtunk

magyar határtól (Vas-hegy) kb. 5 km-re van telepítve, valamint kalibrált, magán állomás, melyek közül hármat mi telepítettünk (1. ábra). Vizsgáltuk a hőmérséklet, csapadék évi, tenyészidőszaki és nyugalmi időszaki változását, illetve az ezekből származtatott legfontosabb, a szőlészet-borászat ágazatban használt klimatikus indikátorokat. A szőlőterületek termőhelyi minőségének elemzéséhez nem elegendő csak az évi középhőmérséklet és az

évi csapadékösszeg vizsgálata, mivel ez csak egy sekélyes, felületes eredményt tud mutatni egy adott borvidék éghajlatáról. Ezért szükséges az egyes fenológiai fázisok ideje alatti időjárást és éghajlati indexeket is vizsgálni. A borszőlő a könnyezés, rügyfakadás és virágzás idején alig használ a sejtpépítéshez nedvességet, míg a zsendülés után (tenyészidőszak 2. fele) már nagy mennyiségű nedvességet hasznosít. Az indikátorok vizsgálatánál az éghajlati normálidőszak 1986–2015 volt. Ezt hasonlítottuk össze az ezt megelőző 30 év átlagával. A vizsgálat során homogenizálást és interpolálást kellett végeznünk, illetve korreláció, lineáris regresszió és szórás analízist végeztünk, a véletlenszerűség kizárása céljából.

A kutatás során a hőmérsékletből és a csapadékból származtatott szélsőséges indexek közül a nyári ($T_{\max} > 25\text{ °C}$), a hőség ($T_{\max} > 30\text{ °C}$), a téli ($T_{\max} < 0\text{ °C}$), a fagyos ($T_{\min} < 0\text{ °C}$), az extrém zord ($T_{\min} < -10, -17\text{ °C}$), a nagy csapadékú ($R_{\text{nap}} > 10\text{ mm}$), az extrém nagy csapadékú ($R_{\text{nap}} > 20\text{ mm}$), és a száraz napok ($R_{\text{nap}} < 1\text{ mm}$) számát és változását vizsgáltuk.

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. Továbbá meg kell említeni a szőlő növény esetében a Huglin-index (Huglin melegösszeg-index) értékét. A Huglin-index 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 $40\text{--}50^\circ$ szélességi körök között változó fotoperiódust figyelembe véve (Hoppmann, 2010).

A Huglin-index kalkulációja a következő az északi féltekére (Huglin, 1986; Maaß és Schwab, 2011):

$$HI = K \sum_{04.01.}^{09.30.} \frac{(T_{\text{átl}} - 10) + (T_{\text{max}} - 10)}{2} \quad (1)$$

ahol $T_{\text{átl}}$ = napi középhőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), T_{max} = napi maximum hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$). A bázis hőmérséklet = 10 °C , K a földrajzi szélességtől függő érték ($40^\circ = 1,02$, $50^\circ = 1,06$), mi $1,05$ -tel kalkuláltunk. A szőlő a tavaszi időszakban a könnyezés és a rügyfakadás idején rendkívül érzékeny a fagyokra. Ilyenkor már gyenge fagy esetén is károsodás történhet az egyes növényi részekben, sejtekben, ezért alakították ki a fagyindexeket, melyek a gazdáknak segíthetnek az egyes termőhelyek kiválasztásánál. A fagy kockázatát meghatározza egy-egy termőhely, tókesor esetén a magasság, a lejtőszög, a lejtőkiettség, a talaj (albedó), a fajta és a művelési mód. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgált térségben – főleg Kőszeg-hegylán és a Vas-hegy területén – jellemző, hogy kis területen belül is, sajátos mikroklímával rendelkező kisebb egységek alakultak ki, ezért előfordul, hogy 1–1 tókesorban eltérő a tavaszi fagy kockázata. A tavaszi fagy kockázatának becslésére az egyik legmegfelelőbb indikátor a Gladstones-féle tavaszi fagyindex. Kalkulációja Gladstones (1992) szerint:

$$SFIg = \frac{AT_{\text{max}} + AT_{\text{min}}}{2} - \min T_{\text{min}} \quad (2)$$

ahol AT_{max} = havi átlagos maximum hőmérséklet, AT_{min} = havi átlagos minimum hőmérséklet és $\min T_{\text{min}}$ = legalacsonyabb hajnali hőmérséklet áprilisban.

Véleményünk szerint ez az indikátor nem a legmegfelelőbb egy hosszútávú trend felállítására, mivel április hónapban egyre több a nyári nap ($T_{\text{max}} > 25\text{ °C}$) az utóbbi 15–20 évben, másrészt paraméterei csak egy adott év, április havi utólagos kockázati leírására elegendők. Ennek ellenére megpróbáltuk az utolsó 30 évet átlagolni. A Gladstones tavaszi fagyindexen túl pontosabban is megbecsülhető egy adott termőhely tavaszi fagykockázata más indexekkel:

$T_{\text{min}4i5}$ = átlagos minimum hőmérséklet április-május hónapban

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

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

Az utolsó két indikátort adathiány miatt csak a 2005 utáni időszakra tudtuk elemezni. Az előzőekben említett indikátorokon kívül az alábbiakat vizsgáltuk még:

Tenyészidőszaki átlag, maximum és minimum hőmérséklet, tenyészidőszaki csapadék, szőlő fagyindex, virágzás idejének hőmérséklet, virágzás idejének csapadék, érés idejének hőmérséklet, érés idejének csapadék, szüret idejének maximum hőmérséklet, tenyészidőszaki csapadékos napok száma, nyári csapadék mennyisége, téli csapadék mennyisége, havas és hótakarós napok száma. A kutatást személyesen a borászok, pincészetek és gazdák segítségével terepen végezzük. Naponta a terepen vagyunk a rügyfakadás, fővirágzás és a szüretelés időpontjaiban. A többi fenofázis időszakában hetente többször végzünk megfigyeléseket.

Morfológia, éghajlat. Kőszeghegylája és Vas-hegy szőlőterülete, amely komoly történelmi múlttal rendelkezik, a 2000-es évek óta a Soproni borvidékhez tartozik; addig önálló borvidék volt. Hazánk legnyugatibb borkörzete a Sopron-Vasi-síksághoz tartozó Ikva-sík kistáj lejtőin, valamint Vas megyében a Vas-hegy és a Kőszeghegylája lankáin alakult ki. Átlagos tengerszint feletti magassága $230\text{--}300\text{ m}$. A Soproni borvidék kőszeg-vaskeresztesi körzetének nagy részén agyagbemosódásos barna erdőtalajok találhatóak, amelyek erősen savanyú és rossz vízgazdálkodású talajok, de területükön mégis mezőgazdasági tevékenység folyik (Dövényi, 2010). Csak 2%-a számít termékeny öntéstalajnak. A terület nagy része Péczely éghajlati osztályozási rendszere szerint a mérsékelt hűvös-mérsékeltlen nedves és a hűvös-mérsékeltlen nedves körzetbe tartozik (Péczely, 2002). Az évi középhőmérséklet $8\text{--}9\text{ °C}$ (Justyák, 1998), az évi csapadékösszeg átlaga pedig $720\text{--}730\text{ mm}$ körüli (a kőszeg-vaskeresztesi körzet a csapadékosabb). A napsütéses órák száma $1800\text{--}1850\text{ óra}$ (Puskás és Károssy, 2013). Ha csak e három paraméter éghajlati 100 évi törzsértékét (1901–2000) 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. Az öt leggyakoribb szőlőfajta Kirsch (2007) szerint a Kékfrankos (Blaufränkisch), Zweigelt, Blauburger, Cabernet Sauvignon és a Zöld Veltelini (Grüner Veltliner).

A borvidék klímája miatt a vörösborkok hűvös karakterűek, frissek, főként pirosbogyós 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.

A szőlő közepesen vízigényes növény, ahol eléri az évi csapadékmennyiség az 500–600 mm-t, ott már sikeresen termesztető, 400–500 mm alatt rendszeresen öntözni kell, amellyel, hogy egy bizonyos fokig a szőlő jó aszálytűrő növény (*Hönig és Schwappach*, 2003). 800 mm feletti és magas páratartalmú területeken növekszik a gombás megbetegedések száma, ezáltal a gazdáknak e területeken sokkal többször kell védekezniük a szőlőbetegségek ellen. Mint korábban írtuk a vizsgált területen az évi átlagos csapadékösszeg 720–730 mm körüli. Ez több, mint amennyi a szőlő igényeinek megfelelő lenne, de nem annyira kirívó, mint egyes francia, német vagy svájci borvidékeken.

A borvidék területén a legtöbb csapadék a 30 évi homogenizált átlag alapján a májustól 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 kellő mennyiségű nedvességet tudjon felhasználni.

Nagyon releváns tényező a csapadék intenzitása (teljes csapadékösszeg és a csapadékos napok számának hányadosa $R_{sum}/RR1$) is, mely a környezeti és gazdasági károk mérséklése szempontjából alapvető fontosságú.

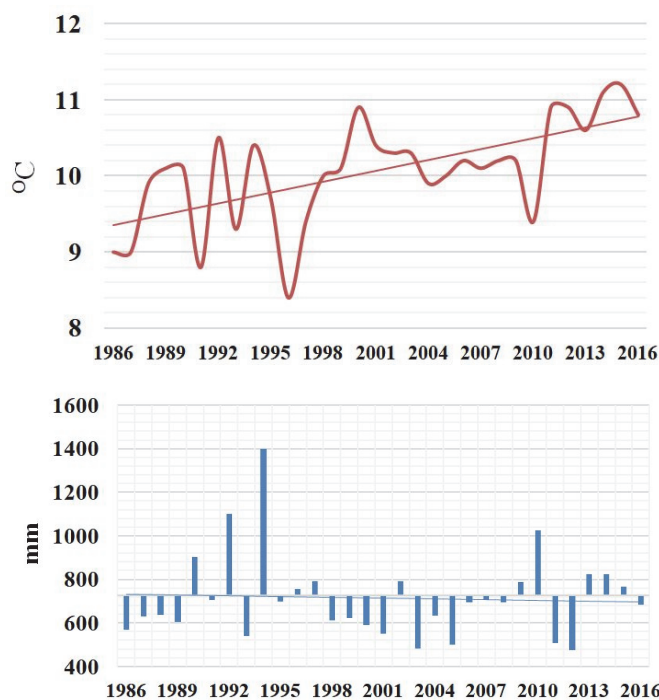
A Keleti-Alpok felett nyaranta orografikus zivatarok alakulnak ki, melyek a Soproni borvidék időjárását a nyári évszakban jelentősen befolyásolják. Orografikus zivatarok akkor alakulnak ki, amikor egy adott irányú vízszintes légáramlás egy hegybe ütközik, és ott emelkedésre kényszerül. Ilyen esetben 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, a Kőszegi-hegységben fordulnak elő ilyen zivatarok (*Károssy*, 2004). A zivatarok és kísérőjelenségeik (2 mm átmérő feletti jégzemcséjű jégeső, kifutószelek, felhőszakadás stb.) gyakran okoznak károkat a helyi szőlőkben. Ezek részaránya az összes kárnemen belül eléri a 48%-ot a 2000–2016 közötti időszakban a hegybíróktól, falugazdászoktól és a Magyar Biztosítók Szövetségétől (MABISZ) kapott adatok alapján.

Kőszeghegyalja és Vas-hegy aszálytól nem veszélyeztetett bortermő terület (*Bussay et al.*, 1999). Aszályról akkor beszélhetünk, ha nagy hősséggel 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 ködös napok száma a borvidék területén átlagosan 50–55 nap. Mivel a megyében rengeteg csermely és patak folyik és ezek rendszerint kis völgyekben húzódnak, kisebb mikroklimatikus területek alakultak ki, ahol

– főleg az Ikva-sík területén – előfordul, hogy évente eléri a 75–90 napot a ködös napok száma.

A csapadék mennyiségén kívül fontos a csapadék fajtája is a szőlő termesztetőségének szempontjából. Itt kell megemlítenünk 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, s ez főleg a mélygyökérzetű, idősebb növények számára elengedhetetlen. A gyökérzetnek nincs nyugalmi ideje. 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. Kőszeghegyalja és Vas-hegy hóborítottsága az 1956–1985 közötti időszak átlaga alapján 43 nap, mely az utóbbi 30 évben jelentősen változott. A borvidék éghajlati adottsága



2. ábra: Az évi középhőmérséklet alakulása (fent) és az évi lehullott csapadék (lent) 30 évi átlagtól való eltérése 1986–2015 között a vizsgált területen (OMSZ, saját, ZAMG adatok alapján)

gai arra engednek következtetni, hogy a terület az északi borszőlő fajták és a csapadékot kedvelők számára ideális, míg a mediterrán vagy a kevés csapadékot igénylő fajták számára nem. Utóbbiak azon területeken termesztetők sikeresen, ahol legalább 2150–2200 °C a Huglin-index értéke, 2100–2200 óránál magasabb a napsütéses órák száma és a csapadék nem éri el a tenyészidőszakban a 300 mm-t (*Clarke és Rand*, 2001).

Eredmények. 1956 és 2015 között 0,9 °C-kal emelkedett az évi középhőmérséklet a Soproni borvidék területén, 0,8 °C-kal a kőszeg-vaskeresztesi körzet területén (2. ábra). A hőmérséklet emelkedésének gyorsulása az 1980-as évek második felétől figyelhető meg. 1986 és 2015 között a hőmérséklet emelkedése szignifikáns, elérte az 1,2 °C-ot. A vizsgált térségben az 1956–2015 között

ti időszak tíz legmelegebb évéből hetet 1990 után mértek. A négy legmelegebb középhőmérsékletű év 2015 (11,4 °C), 2014 (11,2 °C), 2012 (10,9 °C) és 2011 (10,8 °C) volt. Amennyiben évszakonként is analizáljuk a hőmérséklet változását, sokkal erőteljesebb módosulást láthatunk egy-egy szezonális hőmérsékleti átlag esetében. Szignifikánsan emelkedett a tavasz, a nyár és az őszi középhőmérséklete, télen is történt változás, azonban nem szignifikáns. A hőmérséklet legerőteljesebb emelkedése nyáron figyelhető meg. A nyári középhőmérséklet több mint 1,1 °C-kal emelkedett az 1956–2015 közötti időszakban, 1986 és 2015 között eléri az 1,6 °C-ot a korábbi időszakhoz viszonyítva. A három nyári hónap közül júliusban és augusztusban emelkedett legerőteljesebben a havi középhőmérséklet. Az előbbinél eléri az 1,8 °C-ot, utóbbinál az 1,5 °C-ot. Itt fontos megjegyezni, hogy az utolsó 15 évben csak három olyan esztendő volt, mikor nem regisztráltak a vizsgált területen egyetlen forró napot ($T_{\max} > 35$ °C) sem.

A tavaszt és az őszt gyakran nevezik átmeneti évszaknak, mivel kora tavasszal gyakoriak még a téli évszak jellemzői (nappali, éjszakai fagyok, havazás, hózápor), áprilisban egyre gyakoribbak a nyári napok, májusban pedig a hőségnapok. Kora ősszel, főleg szeptemberben a nyári napok, hőségnapok és a forró napok ($T_{\max} > 35$ °C) száma egyre magasabb, október végén, november elején pedig már havazhat, erős fagyok is előfordulnak (Justyák, 1998).

A tavaszi középhőmérséklet rendkívül fontos a mezőgazdaság számára, kora tavasszal kezdődik a könnyezés, áprilisban a rügyfakadás, és egyes években május végén a virágzás.

A tavaszi középhőmérséklet a vizsgált térségben 1956–1985 között 9,5 °C volt. Ez az érték az 1986–2015 közötti időszakban már 11 °C.

A tavaszi hónapok közül áprilisban és a májusban figyelhető meg szignifikáns hőmérséklet emelkedés. A havi középhőmérséklet áprilisban 1,6 °C-kal, májusban 1,5 °C-kal volt magasabb az 1986–2015 közötti időszakban, mint korábban.

Az őszi hőmérsékleti középértéke 1981–2010 között 8,9 °C volt, mely 1986–2015-ben már 10 °C. Szeptemberben 1,2 °C-ot, októberben 0,8 °C-ot, novemberben 1 °C-ot emelkedett a havi középhőmérséklet.

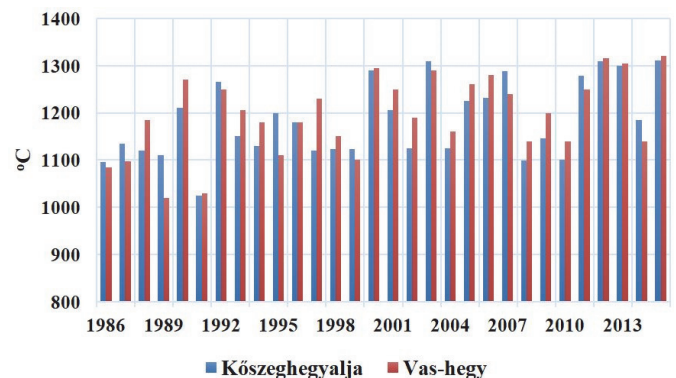
A téli középhőmérséklet nem mutat szignifikáns változást, kevesebb, mint 0,7 °C volt az emelkedés. A téli középhőmérséklet emelkedése a téli csapadék (hó, havas eső) csökkenéséhez vezetett az elmúlt időszakban, illetve a téli és a fagyos napok csökkenéséhez.

A Soproni borvidéken a tenyészidőszak átlagos ideje április 15 – október 31, a nyugalmi időszaké november – április. Szignifikánsan változott a tenyészidőszaki és a nyugalmi időszak átlaghőmérséklete is. 1986–2015 között a tenyészidőszak alatt a korábbi időszakhoz viszonyítva 1,6 °C-ot emelkedett a hőmérséklet, a nyugalmi időszakban pedig 1,1 °C-ot.

A tenyészidőszaki aktív hőösszeg változása. A szőlő vegetációs ciklusainak zavartalan lefolyásához a növényt ért hőmérsékleti hatások összegzése nélkülözhetetlen. Ez az ún. aktív hőösszeg. Az aktív hőösszeg értékét úgy

kapjuk meg, hogy a tenyészidőszak folyamán a + 10 °C (biológiai nulla fok) feletti hőmérsékleti értékeket összeadjuk (Tonietto és Carbonneau, 2004). Ez alapján megállapítható, hogy 1986 óta a hőösszeg értékek jelentősen változtak a kőszeg-vaskeresztesi körzet területén 1090 °C-ról 1220 °C-ra (3. ábra).

Csapadék. A csapadék a Kárpát-medencében térben és időben változékonnyal éghajlati paraméter, ezért nem is lehetséges egységes, pontos leírást adni az esetleges csapadékváltozásról. Az eredmények pontosabb leírásához sokkal sűrűbb meteorológiai állomáshálózatra lenne szükség, ezért itt is nélkülözhetetlen volt homogenizálni a kapott adatokat. A csapadék általános elemzésekor célszerűbb százalékos formában leírni az esetleges változásokat. Az évi lehullott csapadék változása nem szignifikáns a vizsgált térségben 1956 óta, bár a korábbi idő-

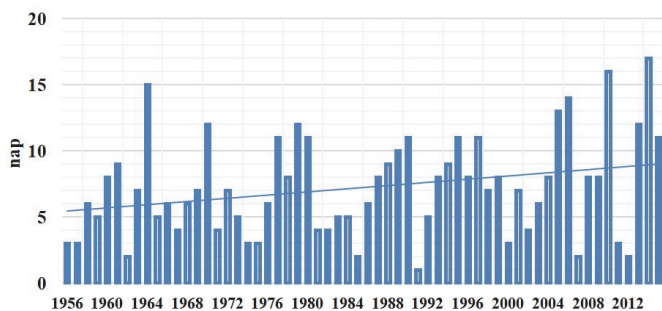


3. ábra: A tenyészidőszak aktív hőösszege évenként Kőszeghegyalján és Vas-hegyen 1986–2015 között

szakhoz képest 5–6%-kal csökkent az évi lehullott csapadék mennyisége (2. ábra). A csapadékosabb terület továbbra is a kőszeg-vaskeresztesi körzet. 1990 óta mérték a három legcsapadékosabb (1992, 1993 és 2010) és az elmúlt 115 év két legszárazabb évét (2012, 2011). Az évszakok esetében nyáron és télen történt szignifikáns változás a csapadékban. Nyáron szignifikánsan csökkent, kb. 19–20%-kal a lehullott csapadék mennyisége, télen pedig szignifikánsan nőtt, kb. 25%-kal. Tavasszal és ősszel is csökkent a lehullott csapadék mennyisége, tavasszal 4–5%-kal, ősszel 7–8%-kal. A tenyészidőszak alatt szignifikánsan csökkent 15–16%-kal, amellyel, hogy nőtt a konvektív eredetű csapadék aránya és mennyisége. A tenyészidőszak alatt felvett víz és nedvesség 88%-át a kötődés és a beérés fázisában használja fel a szőlő, a tenyészidőszak első felében a rügyfakadástól a virágzás végéig csak 12%-át (Currle et al., 1983), ezért a csapadék, mint indikátor a tenyészidőszak második felében releváns. A nyugalmi időszak alatt 18–19%-kal nőtt a lehullott csapadék mennyisége 1986–2015 között.

Hőmérsékleti indikátorok változása. A vizsgált borvidéken szignifikánsan csökkent a fagyos és a téli napok száma egyaránt, előbbi 108-ról 92-re, utóbbi 28-ról 20-ra. A zord napok ($T_{\min} < -10$ °C) szükségesek a szőlő kényszernyugalmi állapotához. Ismeretes ugyanis, hogy a rügyek csak a kedvezőtlen, hideg, fagyos időjárás miatt

maradnak nyugalomban (Frankel, 2014). A zord napok száma 51-ről 22-re csökkent, ami szignifikáns változást jelent. Kedvező változás, hogy csökkent a késő őszi és a késő tavaszi fagyos napok száma az 1986–2015 közötti időszakban, illetve az extrém hideg napok – különösen a -17 °C -nál hidegebb éjszakák – és az extrém zord napok jelentős csökkenése. A nyári napok száma 41-ről 53-ra nőtt. A 25 °C feletti napok számának növekedése hozzájárulhat egyes években a gyorsabb éréshez és a magasabb cukortartalom eléréséhez, emellett abban az esetben jelent pozitív változást, ha a levegő páratartalma nem ér el egy kritikus szintet, mely már a szőlő kártevőinek – főként a gombáknak – kedvez a terjedésben (Christiansen, 2011). A vizsgált térségben a Kárpát-medencei trendhez hasonlóan jelentősen nőtt, közel 250–300%-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 tartós 38 °C feletti hőmérséklet esetén a szőlő növény fotoszintézise lassulhat és leállhat (Frankel, 2014). Az



4. ábra: Az extrém nagycsapadékú napok évi száma Kőszeghegyalján és Vas-hegyen 1956–2015

1986–2015 közötti időszakban a 38 °C feletti napok átlagos száma 1/év.

Csapadékindikátorok változása. A csapadék szélsőségei közül a nagycsapadékú napok ($R_{\text{nap}} > 20\text{ mm}$) száma mutat szignifikáns változást. A 20 mm-t meghaladó csapadékú napok száma szignifikánsan növekedett (4. ábra). Ennek oka a konvektív eredetű, rövid idő alatt lehulló csapadék és a csapadék intenzitás növekedése a májusszeptember közötti időszakban, amellett, hogy csökkent a zivataros napok száma a korábbi 44 napról, 31 napra. Az elmúlt 30 évben nem változott jelentősen a konvektív eredetű csapadékhoz (zápor, zivatar) és kísérőjelenségeihez (jégeső, kifutószél, felhőszakadás) kapcsolható kár- okozás. Azokon a tökesorokon okoz problémát, ahol a terep lejtőszöge meghaladja az 5° -ot, a növényritkulás és a talajerózió markáns. Pozitív változás, hogy közel 25%-kal csökkent a 30 mm-t meghaladó extrém csapadékú napok száma. Nem mutatható ki szignifikáns változás az 1 mm-nél és a 0,1 mm-nél kisebb csapadékú napok számának változásában. Nőtt mindkét szélsőség száma, de nem szignifikánsan. A havas és hótakarós napok is szignifikánsan csökkentek. Előbbi az 1986–2015 közötti időszakban 22%-kal, utóbbi 35%-kal.

Huglin-index. A Huglin-index értéke számításaink szerint az 1986–2015 közötti időszakban a Soproni borvidék területén $1890\text{--}2100\text{ °C}$ között ingadozik. Az évenkénti

1. táblázat: A borvidék alkalmassága a Huglin-index 1986–2015 közötti átlaga

Érték, °C	Szőlőfajta	Megfelelés
$HI \leq 1500$	termesztésre alkalmatlan	igen
$1500 \leq HI \leq 1600$	Müller-Thurgau	igen
$1600 \leq HI \leq 1700$	Pinot Noir, Pinot blanc	igen
$1700 \leq HI \leq 1800$	Chardonnay, Sauvignon blanc	igen
$1800 \leq HI \leq 1900$	Cabernet franc, Leányka	igen
$1900 \leq HI \leq 2000$	Zweigelt, Pinot gris (Szürkebarát), Merlot	igen
$2000 \leq HI \leq 2100$	Merlot, Zinfandel, (Syrah)	nem
$2100 \leq HI \leq 2200$	Carignan, Grenache	nem
$2200 \leq HI$	Trebbiano, Aramon, Nebbiolo	nem

Érték, °C	Szőlőfajta	Megfelelés
$HI \leq 1500$	termesztésre alkalmatlan	igen
$1500 \leq HI \leq 1600$	Müller-Thurgau	igen
$1600 \leq HI \leq 1700$	Pinot Noir, Pinot blanc	igen
$1700 \leq HI \leq 1800$	Chardonnay, Sauvignon blanc	igen
$1800 \leq HI \leq 1900$	Cabernet franc, Leányka	igen
$1900 \leq HI \leq 2000$	Zweigelt, Pinot gris (Szürkebarát), Merlot	igen
$2000 \leq HI \leq 2100$	Merlot, Zinfandel, (Syrah)	nem
$2100 \leq HI \leq 2200$	Carignan, Grenache	nem
$2200 \leq HI$	Trebbiano, Aramon, Nebbiolo	nem

adatok szignifikánsan emelkedő tendenciát mutatnak ($p < 0,01$). Magyarország a szőlő termesztésének északi határán fekszik, mert a szőlőfajták többsége csak -15 °C -ig fagyűrő. E körülmény miatt nálunk a szőlő csak bizonyos művelésmódokon, megfelelő termőhelyeken volt termesztendő eredményesen (Kriszten, 1999). A Huglin-index alapján a Kékfrankos, a Müller-Thurgau, a Pinot noir, a Pinot blanc, a Chardonnay, és a Cabernet franc termesztendő sikeresen a borvidék területén (1. táblázat). Amennyiben a hőmérséklet emelkedése a tenyészidőszak folyamán a jövőben tovább folytatódik, akkor Kőszeg-hegyalján és Vas-hegyen érdemes lehet a magasabb hőtöbbletet igénylő fajtákat és azok klónjait telepíteni.

2. táblázat A szőlőtermesztésben alkalmazott – eddig még nem említett – indikátorok változása

Indikátor megnevezése	1956–1985	1986–2015
Januári átlaghőmérséklet MJT= $T_{\text{átlag}}$ (Január 1–31.) (°C)	-0,9	0,3
Júliusi átlaghőmérséklet MJuT= $T_{\text{átlag}}$ (Július 1–31.) (°C)	18,1	20,5 *
Virágzás ideje alatti átlaghőmérséklet BMT= $T_{\text{átlag}}$ (május 15–június 15.) (°C)	15,9	17,2 *
Tenyészidő alatti átlaghőmérséklet GSAT= $T_{\text{átlag}}$ (április 1–október31.) (°C)	16,1	17,7 *
Tenyészidőszak alatti maximum hőmérséklet átlaga GSATX= T_{max} (április 1–október31.) (°C)	21,6	24,6 *
Tenyészidőszak alatti minimum hőmérséklet átlaga GSATN= T_{min} (április 1–október31.) (°C)	7,9	8,1
Szüreti maximum hőmérséklet HMX= T_{max} (június 1–szeptember 30.) (°C)	23,2	25,8 *
Jeges napok száma NID= $T_{\text{min}} < -10\text{ °C}$ (nap)	52	34
Szőlő fagyindex F8D= $T_{\text{min}} < -8\text{ °C}$ (nap)	64	39 *
Érés ideje alatti csapadék (mm)	192	138*
Tenyészidőszak alatti csapadék (mm)	601	480*
Winkler-index (04.01.–10.31.) (°C)	1240	1300
Gladstones fagyindex	12,2	12,9
Tavaszi fagyindex $T_{\text{min}}4i5$ (°C)	2,4	3,1
$T_{\text{min}}+5\ 4i5$ (°C) (becsült)	2,1	2,2
$T_{\text{min}}+50\ 4i5$ (°C) (becsült)	2,7	3,1

Fotoszintetikusan aktív sugárzás. Mezőgazdasági és ökológiai szempontból nagy jelentőségű a fotoszintetikusan 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, a narancs-vörös tarto-

mányban lévő fényhullámhossz a domináns. Derült időben a direkt sugárzás a meghatározóbb, ekkor a sugárzás hullámhossza az ibolya-kék tartományban található. Ennek értéke a borvidéken $1850\text{--}1880\text{ MJm}^{-2}$, mely a többi magyarországi borvidék átlagánál alacsonyabb.

Egyéb indikátorok. A szőlőtermesztésben a termőhelyek jellemzésére és a szőlő igényeinek kifejezésére többféle klimatikus indikátort, illetve ezek kombinációját alkalmazzák (Hajdu és Borbásné, 2009). Ezeket az évtizedes adatsorokkal rendelkező vizsgálatoknál egyrészt az éghajlat változásának meghatározásához, bizonyításához, másrészt az egyes terroárok jellemzésére is használják (Hlaszny, 2012).

Az indikátoranalízis során az egyes időjárási paraméterek függvényeként olyan mesterséges időjárási paramétereket definiálunk, melyek közvetlenül kapcsolhatók a növényi válaszadás karakteréhez (Carter et al., 2007).

A klimatikus indikátorok analízise ezen felül a klímaváltozás hatásvizsgálatának módszertanában is jelentős szerepet tölt be (Kovács et al., 2017). Ha ugyanis megfelelő, a klímaváltozás által leginkább érintett specifikus indikátorokból álló halmazt állítunk elő, akkor ezek további megfigyelésével az éghajlatváltozásnak az adott területen fellépő tünetei nyomon követhetőek (Hlaszny, 2012). Az egyes indikátorok változásából kapott információkból következtethetünk a jövőbeni termesztési feltételekre (Hajdu és Botos, 2006). A 2. táblázatban figyelhető meg egyes hőmérsékleti, csapadék és a hőmérsékletből származtatott szélsőséges indikátor változása. A táblázatban az indikátorok átlagát írtuk le.

Az általános hőmérsékleti indikátorok közül a hideg éjszaka indexen kívül mindegyik szignifikáns változást mutat ($p < 0,001$). E változások megmutatkoznak a vizsgált fenofázisok alakulásában is, mivel a borszőlő a megfigyelt borvidékeken rendkívül érzékenyen reagált a változásokra, pl. gyorsabb lett az érés ideje, korábban történnek a szüretes és magasabb a must cukorfoka, mint korábban (Kovács et al., 2017). Az egyes indikátorok eloszlása a vizsgált régióban igen különbözőképpen változott a változatos terepviszonyok és klimatikus adottságok miatt. Összességében jelentős növekedést mutat az extrém meleg, a meleg és a nyári napok száma, míg a fagyos napok száma, a jeges napok száma és a szőlő fagyindex száma csökkent. A vegetációs időszak szélsőségei közül nem mutat szignifikáns változást a tavaszi (NSFD) és őszi fagyos (NFFD) napok száma. Bár kisebb változást megfigyelhetünk, azonban a 0 °C alatti hajnali hőmérséklet tavasszal és ősszel így is okoznak évenként kisebb károsodást a zöld részekben. A késő tavaszi fagy a mi éghajlati területünkön a rügyfakadás idején jelentkezik, ezért főleg a Kőszeghegyaljai alacsonyabb, 150 m alatti lankás területei ültetvényeiben okozhat károkat, bár a károkozás egyik évben sem haladta meg 1990 óta a 15%-ot. Az őszi fagykárak szeptember végén és októberben lépnek fel. A korai fagykárak akkor okozhatnak jelentős károsodást, amennyiben a hőmérséklet -2 °C alá süllyed és még nem történt meg a szüret (Bognár és Mercz, 1995). Azonban a kora őszi fagyok felgyorsíthatják a lombhullást is. A nyugalmi és a kényszernyugalmi időszak esetén a téli fagy kártételére kell fókuszálni,

melynek jelentős csökkenése pozitív változást mutat a vizsgált borvidéken. A megfelelő hidegmennyiség elmaradása viszont 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.

Összegzés. Kőszeghegyalja és Vas-hegy éghajlati kondíciói a szőlőtermesztés szempontjából jelentősen megváltoztak, mely változás feltételezhetőleg a 21. század közepéig folytatódni fog. A legfontosabbak közé sorolható, hogy a tenyészidőszaki középhőmérséklet szignifikánsan emelkedett. Különösen a tenyészidőszak második felében jelentős. A csapadék mennyisége csökkent, de nőtt a konvekciójáram, ezáltal az extrém szélsőségek száma is. A termőhely hőmérséklet- és sugárzásellátottsága javult. A szélsőséges indexek és a bioklimatikus indikátorok nagy részének változása hasznos a termőhely kondícióit nézve. Ugyanakkor a nagycsapadékú napok és a fagyindexek változását viszont em sorolhatjuk a pozitív változások közé.

Köszönetnyilvánítás. Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült

Irodalom

- Bartholy, J., Bozó L. és Haszpra L., 2011: Klímaváltozás-2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. MTA-ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest
- Bognár K. és Mercz A., 1995: Szőlőművelés, borkészítés. Mezőgazda Kiadó
- Bussay A., Szinell Cs. és Szentimrey T., 1999: Az aszály magyarországi előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. *Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok* 7, Országos Meteorológiai Szolgálat
- Carter, T. R., Parry, M. L. and Porter, J. H., 2007: Climatic change and future agroclimatic potential in Europe. *International Journal of Climatology* 11 (3), 251–269.
- Christiansen, D.E., Markstrom, S., Hay, L.E., 2011: Impacts of Climate Change on the Growing Season in the United States. *Earth Interact.* 15, 1–17.
- Clarke, O. and Rand, M., 2001: Encyclopedia of grapes. Harcourt
- Cook, B.I. and Wolkowich, E. M., 2016: Climate change decouples drought from early wine grape harvests in France. *Nature Climate Change* 6, 715–719.
- Currle, O., Bauer, O., Hofäcker, W., Schumann, F. and Frisch, W., 1983: Biologie der Rebe. *Meininger Verlag*, Neustadt
- Dövényi Z., 2010: Magyarország kistájainak katasztere. 2. javított kiadás. Budapest, MTA
- Durack, P.J., Gleckler, P., Landerer, F.W. and Taylor, K.E., 2014: Quantifying underestimates of long-term upper-ocean warming. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2389
- Fraga, H., Malheiro, A., Moutinho-Pereira, J. and Santos, J.A., 2013: Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *International Journal of Biometeorology* 57 (6), 909–925.
- Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J. and Santos, J.A., 2014: Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agricultural and Forest Meteorology* 185, 26–36.
- Frankel, C., 2014: Land and Wine: The French Terroir. University of Chicago Press
- Gladstones, J., 1992: Wine, Terroir and Climate Change. Wakefield Press. Kent Town, South Australia
- Hajdu E. és Borbásné, S. É., 2009: Abiotikus stresszhatások a szőlő életterében. Agroiinform Kiadó
- Hajdu, E. és Botos, E.P., 2006: A klímaváltozás hazai hatásai és az azokra adható válaszok a szőlészetben, valamint a bórászatban. Klímaváltozás és a magyarországi kertgazdaság. *AGRO-21 Kutatási Programiroda*, Budapest, 102–134.
- Hlászny, E., 2012: Egyes szőlőfajták (*Vitis vinifera* L.) fenológiai válaszáda a Kunsági borvidéken várható klimatikus változásokra. *Doktori (PhD) értekezés*, Budapest, 166.
- Hoppmann, D., 2010: Terroir, Wetter-Klima-Boden. Verlag Ulmer KG
- Hönig, P. und Schwappach, P., 2003: Klimaänderung: Wie reagiert die Rebe. *Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau*, Veitshöchheim, 1–8.
- Huglin, P., 1986: Biologieetécologie de la vigne. Ed. Payot, Lausanne-Paris
- Justyák, J., 1998: Magyarország éghajlata. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen
- Károssy Cs., 2004: Légekörtan I. Általános meteorológia. Oskar Kiadó, Szombathely
- Keddy, P.A., 2007: Plants and Vegetation: Origins, Processes, Consequences. Cambridge University Press, Cambridge
- Kirsch A., 2007: Soproni Cuvee: Mozaikok a Soproni borvidék történetéből. *Rubicon*, (6): 64–70.
- Kovács, E., Puskás, J. and Pozsgai, A., 2017: Positive Effects of Climate Change on the Field of Sopron Wine-Growing Region in Hungary. *Springer Atmospheric Sciences*, 607–613.
- Kriszten, Gy., 1999: Tavasztól-tavaszig a szőlőben. *Mezőgazda Kiadó*
- Maaß, U. und Schwab, A., 2011: Wärmeanspruch von Rebsorten. *Klimawandel und Sortenwahl* (10), 29–31.
- Major, Gy., 2011: A fotoszintetikusán aktív sugárzás hazai vizsgálata. *Légekör* 56 (1), 10–15.
- Mozell, M.R. and Thach, L. 2014: The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & solutions. *Wine Economics and Issues* 3 (2), 81–89.
- Parry, M.L., Rosenzweig, G., Iglesias, A., Livermore, A. and Fischer, G. 2014: Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14, 53–67.
- Pécze, Gy., 2002: Éghajlattan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Puskás, J. és Károssy, Cs., 2013: A bor minőség és az időjárás közötti összefüggések néhány jellemzője a Kőszeghegyaljai borok és Szombathely 100 évi napi meteorológiai adatai alapján. 4. *Szőlő és Klíma Konferencia*, Kőszeg, CD-ROM: 142–153.
- Sándor, V. és Wantuch, F. 2005: Repülésmeteorológia. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest
- Tonietto, J. and Carbonneau, A., 2004: A multicriteria climatic classification system for grape growing regions worldwide. *Agricultural and Meteorology* 124, 81–97.