

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
METEOROLÓGIAI TANSZÉK

AZ EGRI BORVIDÉK KLÍMÁJÁNAK VÁRHATÓ MÓDOSULÁSA REGIONÁLIS KLÍMAMODELL-SZIMULÁCIÓK ALAPJÁN

DIPLOMAMUNKA



SÁMSON GERGELY

TÉMAVEZETŐ:

DR. BARTHOLY JUDIT
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Meteorológiai Tanszék

KÜLSŐ KONZULENS:

DR. BÁLO BORBÁLA
Budapesti Corvinus Egyetem
Szőlészeti Tanszék

Budapest, 2014.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	
1.1. Bevezető gondolatok	3
1.2. Az éghajlatváltozás jelentősége a terroir kutatásban	4
1.3. A Vitis vinifera	8
1.4. Az éghajlati tényezők hatása a szőlőtermés minőségére	10
1.5. Célkitűzés	15
2. Anyag és módszer	
2.1. A vizsgált terület: az Egri borvidék	
2.1.1. Az Egri borvidék általános jellemzése	16
2.1.2. Az ültetvényi meteorológiai állomások	19
2.2. Az E-OBS adatok	21
2.3. A PRECIS klímamodell	23
2.4. Bioklimatikus indexek	
2.4.1. A heliotermikus index	24
2.4.2. A hűvös éjszaka index	26
2.5. Adatfeldolgozás, adatsorok	27
3. Eredmények	
3.1. Az 1961 – 1990 és 1981 – 2010 időszakok	29
3.2. A 2005 – 2012 időszak	34
3.3. A 2021 – 2050 és 2069 – 2098 időszakok	41
4. Összefoglalás	44
5. Köszönetnyilvánítás	46
6. Irodalomjegyzék	47

1. Bevezetés

1.1. Bevezető gondolatok

A változó éghajlat szőlőtermesztést érintő hatásai az egész bor-ágazatra kihatnak. Az éghajlat változása nem csak a hozamot veszélyezteti (IPCC, 2007), hanem az adott területre jellemző szőlőfajta termeszthetőségét is (Bonfante et al., 2010). A termőterületek egyedi karaktere fontos tényező a borpiacon, az éghajlat megváltozása miatt viszont eltűnhet ez az egyedi karakter. Az ó- és újvilági szemléletek jelentős különbségéből fakadóan a klasszikus európai termőterületek sérülékenyebbek. Az óvilágban adott a szőlőfajta, adott a termőterület, a borász elkészíti a bort az évszázados helyi hagyományoknak megfelelően, a fogyasztó pedig eldöntheti, hogy tetszik-e neki. Az újvilági szemlélet alappillére a fogyasztó ízlésének való megfelelés a lehető legmagasabb szinten (Filipe Neves, a Sogrape Vinhos borászának személyes közlése alapján). Ez a megközelítés nagyobb rugalmasságot biztosít az alkalmazkodás terén (gondoljunk például az öntözéses művelés kérdésére).

A szőlészetben és a borászatban a *terroir* fogalma az OIV (Office International de la Vigne et du Vin – Nemzetközi Szőlészeti és Borászati Hivatal) 2010-es definíciója szerint olyan terület, ahol a „*meghatározható fizikai és biológiai környezet és az alkalmazott szőlészeti és borászati gyakorlat kölcsönhatásából kollektív tudás fejlődik ki, egyedi karaktert adva az e területről származó termékeknek*”. A jellegzetes talaj, topográfia, klíma, tájkép és biodiverzitás mind beletartozik a *terroir* fogalmába. (Resolution OIV/Viti 333/2010). Európában régóta, de több évtizede már az újvilágban is jellemző, hogy egyes *terroir*ok megkülönböztetett figyelmet kapnak. A klasszikus bortermelő országoknak (köztük Magyarországnak is) általában szigorúan szabályozott, *termőhely szerinti besoroláson alapuló borminősítő rendszere* van. A borok eredetvédelme több évszázados múltra tekint vissza, melynek fontos lépcsőfoka volt a Tokaji borvidék – mint a világ első zárt borvidéke – pontos határainak 1737-es meghatározása.

Magyarországon eredetvédelem szempontjából egy bor lehet oltalom alatt álló eredetmegjelölésű (OEM), oltalom alatt álló földrajzi jelzésű (OFJ) és földrajzi jelzés nélküli (FN). A *termőhelyeket* a kataszter-nyilvántartás sorolja fel. A *meghatározott termőhelyről* származó borok esetében egyre inkább előtérbe kerül a *borvidéki dűlő*, definíció szerint „*a borvidéki településhez tartozó, pontosan körülhatárolt,*

mikroökológiájában egységes termőhely, amelynek adottságai a bor karakterére jelentős hatással vannak” (2004. évi XVIII. törvény 2. § 4.). A fajtaszerkezet borvidékenként szabályozott („ajánlott”, „kiegészítő” és „ültetvényes” fajták). Magyarország bortermelése 22 apró borvidék közt oszlik meg, az összes szőlőtermő terület közel 60 000 ha. Összehasonlításképpen a franciaországi Rhône völgye kb. 70 000 ha, a Bordeaux-i borvidék pedig több mint 117 000 ha területen termeszt szőlőt (Mészáros *et al.*, 2012).

1.2. Az éghajlatváltozás jelentősége a terroir kutatásban

A termőhelyek sajátosságaival foglalkozó, több évszázados múltra visszatekintő határterület a *terroir* kutatás, melynek célja a környezet pontosabb megismerése, a környezeti tényezők hasznosítása és az eredetvédelem elősegítése (Bálo *et al.*, 2014). E kutatásokban jelentős figyelem fordul az éghajlatváltozás hatásaira. Az alábbiakban a kapcsolódó hazai és nemzetközi kutatási eredményekből mutatok be néhány jelentősebbet.

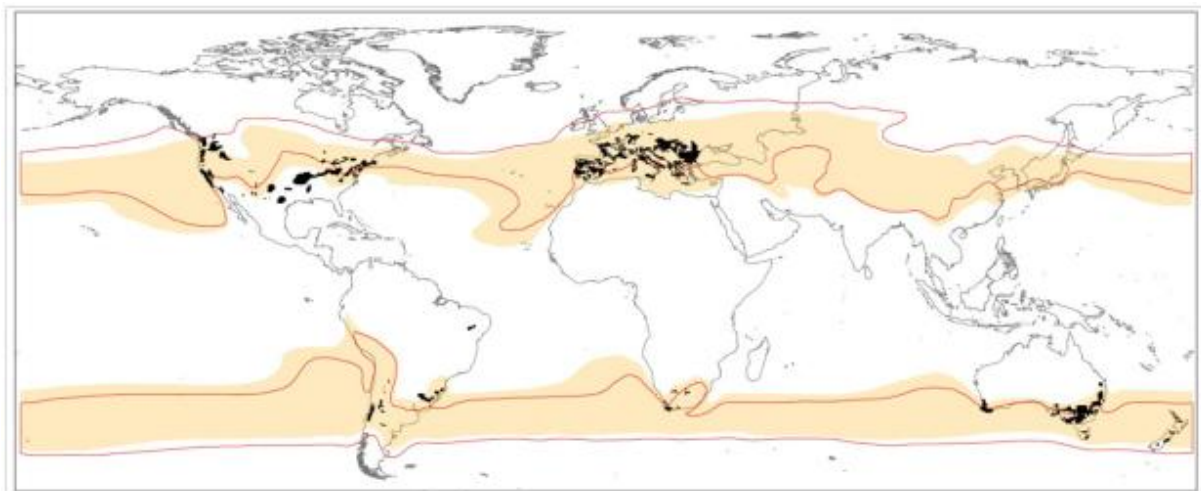
Az előrejelzések szerint, a RegCM3.1 regionális klímamodell (Giorgi *et al.*, 1993) leskálázás utáni eredményei (Torma *et al.*, 2008, Bartholy *et al.*, 2009) alapján a 21. század közepére Magyarországon a rügyfakadás mintegy öt nappal korábban, a teljes virágzás pedig öt nappal később várható a mai megfigyelésekhez képest (Ladányi *et al.*, 2010). A 21. század közepére a legtöbb hazai borvidék éghajlati feltételei az ország déli borvidégein jelenleg tapasztalhatókhoz lesznek hasonlóak, míg a század végére a kondíciók annyira megváltoznak, hogy az éghajlat csak a legészakibb területeken fog valamelyest emlékeztetni a déli területek mai viszonyaira. Mindazonáltal valószínű, hogy Magyarország továbbra is a minőségi borkészítés potenciális határain belül marad, ugyanakkor szükséges lehet a művelésmód és a fajtaszerkezet megváltoztatása (Gaál *et al.*, 2012). A sikeresen telepíthető szőlőfajták körének meghatározásában egy lehetséges eszköz az Huglin-féle heliotermikus index (ld. 2.4.1. fejezet). Az alkalmazkodás lehetséges eszközei többek közt a fajtaszerkezet és a termesztéstechnológia megváltoztatása, az öntözéses művelés bevezetése, és takarónövények alkalmazása az ültetvényben. Hazánkban egyelőre ismeretlen kártevők megjelenésével is számolnunk kell (Zanathy, 2008). Szenteleki és munkatársai Pest megye bortermő területein vizsgálták effektív hőösszeg, heliotermikus index, hőmérsékleti küszöbértékek, csapadékjellemzők alakulását (összesen 13 indikátort). RegCM3.1 regionális klímamodell eredményeinek alkalmazásával a 21. század végére az extrém hidegek és a tavaszi fagyok előfordulásának

jelentős csökkenését, a hőségnapok és a forró napok számának, illetve az Huglin index értékének drasztikus növekedését prognosztizálják (Szenteleki et al., 2011). PRECIS, Aladin és RegCM regionális klímamodellek eredményeit alapul véve, különböző bioklimatikus indexek nagy skálájú vizsgálata alapján a 21. század közepére kisebb mértékben, majd az évszázad végére nagyobb mértékben növekszik a hőösszeg, illetve az Huglin-féle heliotermikus index értéke, a késői érésű szőlőfajtáknak is kedvező beérést biztosítva. A jövőben a szőlőterületeken a legnagyobb kihívást várhatóan a nyári csapadék hiánya és a hőstressz fogja jelenteni (Mesterházy, 2013).

A szőlő fejlődése és termése szempontjából a legfontosabb befolyásoló tényező a hőmérséklet (Jones, 2012). A nemzetközi szakirodalomban a szőlőtermő területek kategorizálása szempontjából nagy jelentőségű *Tonietto és Carbonneau* munkája, melyben egy, a világ szőlőtermesztő területeinek makroklimatikus leírására alkalmas klímaklasszifikációs rendszert (MCCS, **M**ulticriteria **C**limatic **C**lassification **S**ystem) vezetnek be. A rendszer alappillérei a *szárazság index*, az *Huglin-féle heliotermikus index* és a *hűvös éjszaka index* (Tonietto és Carbonneau, 2004). Vizsgálataimban az MCCS rendszer egyes elemeit alkalmaztam.

Az európai szőlőtermesztési zónák bioklimatikus indexeken alapuló vizsgálati eredményei szerint Dél-Európában (Portugália, Spanyolország és Olaszország egyes területein) a 21. század során több helyen várhatóan nehézségekbe ütközik majd a minőségi bortermelés, míg Észak-Európában javulhatnak a feltételek, és új területek válhatnak alkalmassá a minőségi borszőlőtermesztésre (Malheiro et al., 2010). Szerbiában az EBU-POM regionális klímamodellel a 2001 – 2030 (A1B emissziós scenárió) és a 2071 – 2100 (A2 emissziós scenárió) időszakokra az MCCS rendszer alapján heliotermikus, szárazság és hűvös éjszaka (ld. 2.4.2. fejezet) indexértékeit (Tonietto et Carbonneau, 2004) vizsgálva az éghajlat jelentős megváltozását prognosztizálják. Előrevetítik új szőlőfajták telepítésének, illetve akár a termesztési területek áthelyeződésének lehetőségét is (Vuković et al., 2010). Az utóbbi évtizedekben korábbra tolódott szüret összefüggésben áll a 80-as évek óta pozitív anomáliát mutató Észak-Atlanti Oszcillációval (Mariani, 2008, di Lena et al., 2010). A dél-olaszországi Valle Telesina bortermő területeinek alkalmazkodóképességét eltérő karakterisztikájú időszakok alapján vizsgálva, az eredmények szerint egyes hagyományos szőlőfajták a jövőben háttérbe szorulhatnak, míg más, a területen korábban nem termesztett fajták jelentősége növekedhet (Bonfante et al., 2010). A grenache szőlőfajta hozamának, minőségének és fenolos érettségének vizsgálata alapján a jövőben a változó klíma miatt várható magasabb

potenciális evapotranspiráció értékek kedvezőtlenül hathatnak majd a színanyagok szintézisére és kivonhatóságára (Nadal *et al.*, 2010). Több európai termőhelyet vizsgálva a 20. században megfigyelt melegedési tendencia eddig inkább előnyös volt a minőségi borkészítés számára. Az évjáratok minősítése a vizsgált borvidékeken emelkedő tendenciát mutat, és az adott évjárat minősége összefüggésben áll a tenyészidőszak középhőmérsékletével (Jones *et al.*, 2005a), azonban az éghajlat további megváltozása várhatóan nagyon heterogén lesz a különböző régiókban, és már nem csak előnyökkel járhat. Több európai termőterület 50 éves időszakra történt vizsgálata alapján a tenyészidőszak középhőmérséklete átlagosan mintegy 1,7°C-kal, a heliotermikus index mintegy 300°C-kal emelkedett. A fenológiai fázisok korábbra helyeződtek. Az eltolódás jelentősebb a későbbi fázisok (pl. zsendülés, érés) esetében. A korai fázisok (pl. virágzás) a maximumhőmérséklettel, míg a későbbiek a hőösszeg vagy a heliotermikus index értékével korrelálnak erősebben (Jones *et al.*, 2005b). Az 1.1. ábra szemlélteti, hogy a szőlőtermesztésre alkalmas területeket határoló izotermák magasabb földrajzi szélességek felé tolódnak (Jones, 2010).



1.1. ábra: A szőlőtermesztésre alkalmas területek megjelenítése izoterma alapján. A folytonos színezés a 2000-es állapotot mutatja be, a piros vonal az új határokat jelöli ki CCSM globális klímamodell (A1B emissziós szcenárió) eredmények alapján a 2100-as évre. A fekete foltok a jelenlegi szőlőtermő területeket jelölik. (Jones, 2010)

A trópusi övben a szőlőnek évente egynél több vegetációs ciklusa, szüreti időpontja is lehetséges. Ilyen területen fekszik a braziliai Minas Gerais állam, melynek északi, különösen elmaradott régiója számára a jövőben kitorési pont lehet a szőlőtermesztés. A klimatikus lehetőségek értékelése az MCCS (Tonietto és Carbonneau, 2004) alapján, heliothermikus, szárazsági és hűvös éjzaka indexek vizsgálatával történt. Az eredmények

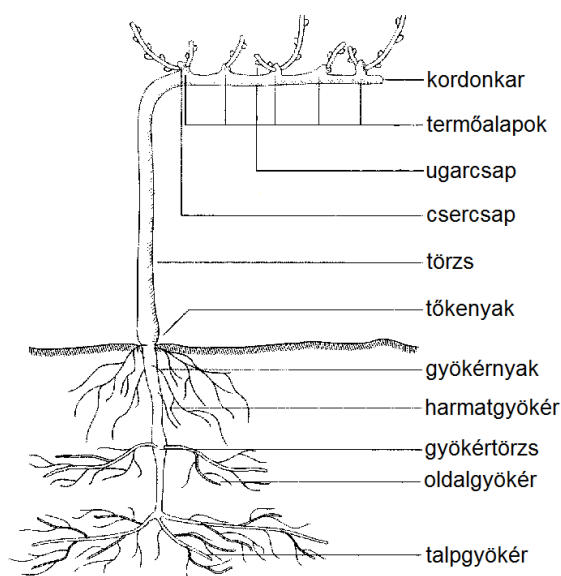
szerint Minas Gerais északi része kiválóan alkalmas minőségi borszőlő termesztésére, elsősorban az őszi-téli időszakban (*Conceição és Tonietto, 2005*). A RegCM regionális klímamodell eredményein alapuló bioklimatikus indexérték-vizsgálatok alapján a 21. század végére az Egyesült Államokban a jelenlegi területnek 81%-a lesz a prémium borszőlő termesztési területe. Mivel várhatóan csökkenni a tavaszi fagyok, és magasabb lesz a középhőmérséklet, növekedhet a melegebb klímához alkalmazkodott szőlőfajták termésmennyisége, és a (gyengébb minőségű) borok mennyisége is. Az egyre gyakoribbá váló extrém magas (35°C feletti) hőmérsékletek miatt viszont nagy területen várhatóan felhagynak majd a borszőlő termesztésével (*White et al., 2006*). Nem csak az extrém időjárási események gyakoriságának növekedésével kell számolnunk, hanem a vegetációs időszak hőmérsékletének növekedésével is, így a szüret ideje korábbra tolódhat. Becslések szerint a szüret egyes területeken olyan időszakra fog esni, melynek melegedése akár kétszázszorosa is lehet a jelenlegi szüreti időszak várható melegedésének. Alkalmazkodásra van szükség mind a már létező ültetvényeken, mind az új szőlőtermesztésre alkalmas területek meghatározásában. A legfontosabb tényezők a hőmérsékletet, a víz és a megnövekedett szén-dioxid koncentráció. Az ausztrál (erősen nyereség-orientált) bortermelés számára különösen fontos a gyors válaszadás (*Anderson et al, 2008*).

A szőlőterületek klimatikus változatosságára hívja fel a figyelmet a portugáliai *Douro* és *Minho* folyók közti terület agroklimatológiai atlasza (Atlas agroclimatológico do Entre Douro e Minho). A mű célja a terület agroklimatológiai kontextusának jobb megismertetése, és a meghatározó éghajlati elemek tematikus térképeinek bemutatása (*Monteiro et al., 2005*). A vizsgált területen található Portugália egyik kiemelkedően fontos borvidéke, a *Região dos Vinhos Verdes*. Az atlasz képet ad az egyes szőlőterületek lokális klímáiról, melyek jelentős eltérést mutatnak a kitettség, tengerszint feletti magasság, orografikus viszonyok és az óceán közelségének függvényében. Két mintaterület monitorozásán keresztül mutatja be, hogy a mikroklimatikus viszonyok kis távolságokon belül is rendkívül változatosak, és a fenológiai fázisokban is jelentős eltérések tapasztalhatók. A lejtős területeken ritkábban fordulnak elő kora tavaszi fagyok, mint a teraszos művelésű területeken. Utóbbiakon alacsonyabbak az átlagos minimum- és maximumhőmérsékletek. A legmelegebbnek a déli, délkeleti, keleti kitettségű és dombtetői területek bizonyultak. A mérések alapján éjjel a 3 m/s sebességet is meghaladhatja a hűvösebb légtömegek gravitációs áramlása (*Monteiro et al., 2005*). Szembetűnő tehát, hogy a mikroklimatikus tényezők a szőlőtermesztés szempontjából semmiképpen nem elhanyagolhatóak, kihasználásuk pedig a jövőben az alkalmazkodás egyik kulcsa lehet.

1.3. A *Vitis vinifera*

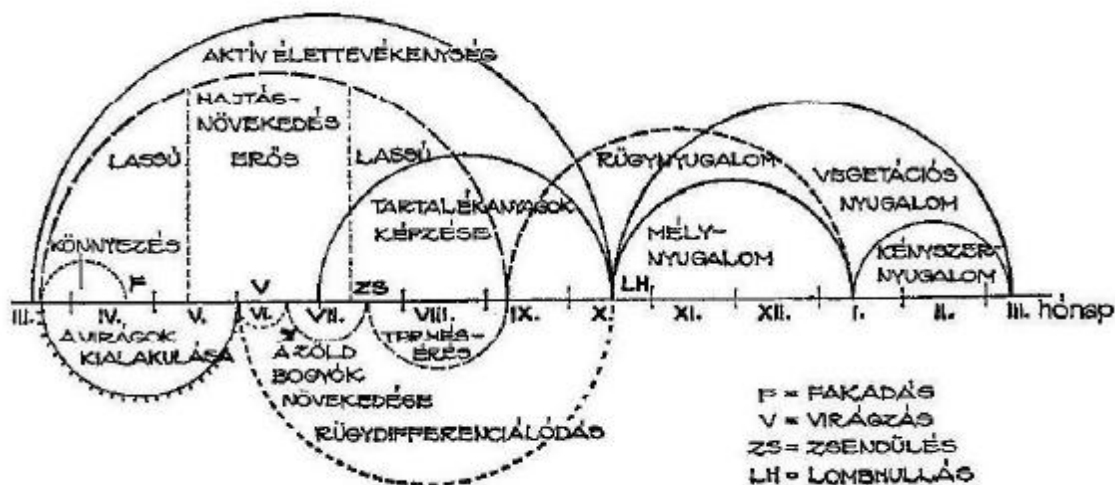
A szőlő (*Vitis*) nemzetség a szőlőfélék (*Vitaceae*) családjába tartozik. A nemzetségben számos faj van, melyek közül a bortermelés szempontjából a *Vitis vinifera*, vagyis *bortermő szőlő* a legfontosabb. A nemzetség első tagjainak lenyomatai a felső-kréta rétegből kerültek elő. A harmadidőszak második felében, a miocénben és a pliocénben nagy területen terjedtek el a *Vitis* nemzetség fajai, megjelentek a mai szőlőfajok ősei. A pliocénben az eurázsiai szőlőfajok nagy része elpusztult, mert a kelet-nyugati hegyláncok miatt nem tudtak délre húzódni, míg az amerikaiak fennmaradhattak, mert az észak-déli hegyvonulatok nem akadályozták migrációjukat. Európának csak a déli részén maradt fenn a szőlő – így a mai Magyarország területén is –, a *Vitis sylvestris*, az euráziában ma is vadon tenyésző ligeti szőlő őse (Kozma, 1991).

A *Vitis* nemzetség két alnemzetsége: *Euvinis* és *Muscadinia*. Az előbbi fajai az északi féltekén, túlnyomórészt a mérsékelt övben, Európában, Ázsiában és Észak-Amerikában, kisebb részben a szubtrópusi és trópusi övezetben, Észak- és Közép-Amerikában, Délkelet-Ázsiában terjedtek el, míg az utóbbiak Florida és Mexikó területén találhatók. Három nagy fajcsoport jött létre a *Vitis* nemzetségben: az észak-amerikai (33 faj), az európai – nyugat-ázsiai (2 faj) és a kelet-ázsiai (24 faj). A mai bortermő szőlő, a *Vitis vinifera* a termesztés hatására a második fajcsoportéhoz tartozó *Vitis sylvestris*-ből alakult ki (Kozma, 1991). Az 1.2. ábra a szőlőnövény részeit szemlélteti egy kordonművelésű példán.



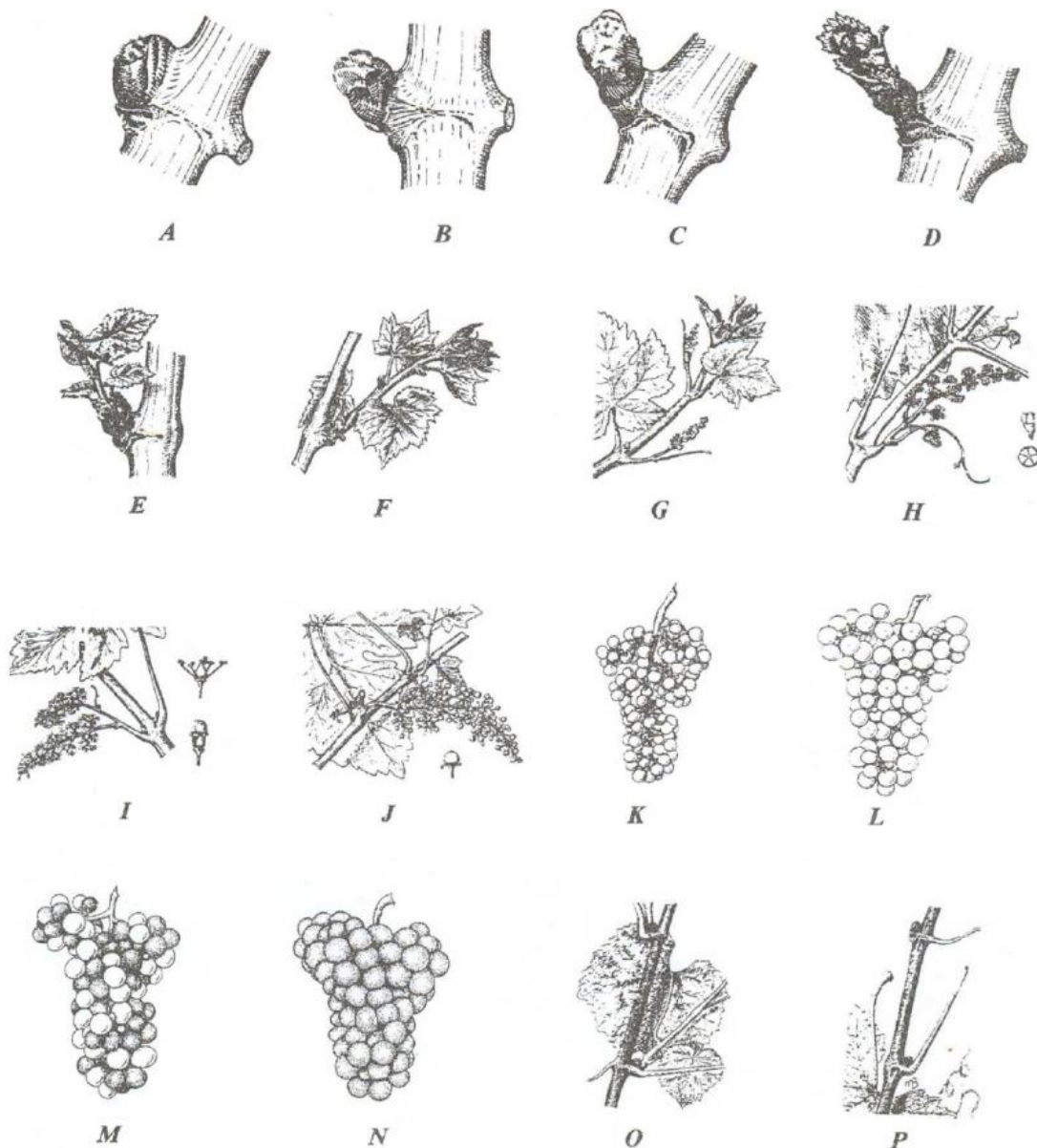
1.2. ábra: A szőlőnövény részei (Lőrincz et Barócsi, 2010 nyomán).

Borkészítésben túlnyomórészt a *Vitis vinifera* fajtáit használják, melyeket *occidentalis*, *orientalis* és *pontusi* csoportokba sorolnak. Előfordul még a *V. amurensis*, *V. thunbergii*, *V. labrusca*, *V. riparia*, *V. rupestris*, illetve ezek (és a *V. vinifera*) fajtáinak keresztezései. A filoxéravész óta az európai szőlőket is amerikai, a szőlőgyökértetűre rezisztens alanyokra oltják. Termesztének mind intra-, mind interspecifikus hibrid fajtákat, melyeket fajon belüli, illetve fajok közötti keresztezéssel állítanak elő (Kozma, 1991).



1.3. ábra: A szőlő éves ciklusa az északi félteke mérsékelt övében (Oláh, 1979).

A szőlő éves életciklusát az 1.3. ábra szemlélteti. Az év nagyobb részében a növény aktív, majd egy nyugalmi szakasz következik. Utóbbi a mély- és a kényszernyugalmi fázisokra osztható. A növénynek szüksége van egy nyugalmi időszakra a regenerálódáshoz, azonban ez jóval rövidebb is lehetne, ha az időjárás megengedné. A mélynyugalom ideje alatt a sejtekben a keményítő cukorrá alakul át. A sejtekben lévő keményítő-tartalmú oldat fagyáspontja magasabb, mint a cukoroldaté. Amíg magasabb a keményítő-koncentráció, a növény könnyebben szenved fagykárt (Dunkel és Kozma, 1981). A kényszernyugalom január közepétől addig tart, ameddig a léghőmérséklet el nem éri a szőlő nedvkeringéséhez, fakadásához szükséges értéket. Az aktív szakaszban a szőlő hajtásokat növeszt, és termést érlel. A tartalék tápanyagok elraktározása az aktív szakasz második felében történik. Az aktív szakasz végén, a termésérés után a zöld vesszők is beérnek, végül a növény lehullatja lombját (1.4. ábra). A tenyészidőszak hosszát a klimatikus viszonyok határozzák meg, a szőlő esetében 180-240 nap között alakul (Kozma et al., 1991).



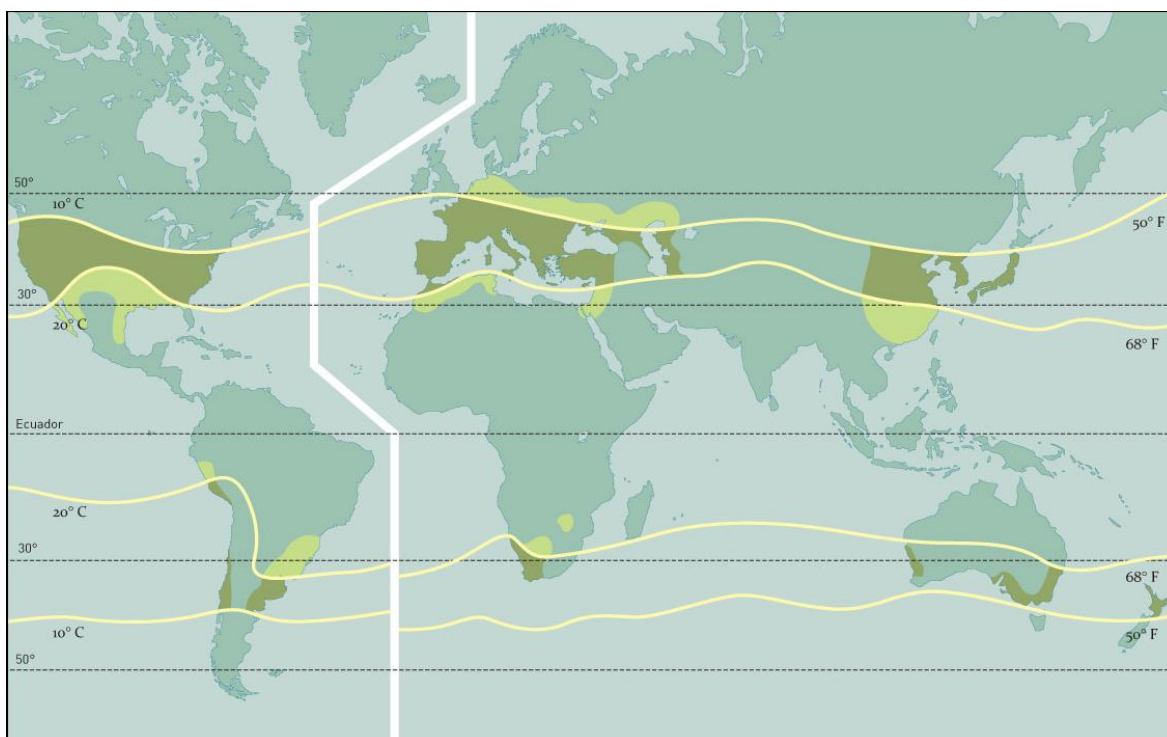
1.4. ábra: A szőlő fenológiai fázisai. **A:** világos rügy, **B:** rügyduzzadás, **C:** rügyfakadás, **D:** levélkezdemény megjelenése, **E:** levélkiterülés, **F:** virágfürt megjelenése, **G:** virágfürt elválása, **H:** virágfürt megnyúlása, **I:** virágzás, **J:** kötődés, **K:** zöldborsó-bogyó állapot, **L:** fürtzáródás, **M:** zsendülés, **N:** érés, **O:** vesszőbeérés, **P:** levélhullás (Baillod és Baggiolini, 1993).

1.4. Az éghajlati tényezők hatása a szőlőtermés minőségére

A borszőlő minőségében meghatározóak a termőhely ökológiai tényezői, az évjárat időjárási viszonyai, a szőlőfajták tulajdonságai, a termesztési technológia, a szőlő érettségi és egészségi állapota, a szüretelés és beszállítás módja. Az ökológiai tényezők tovább bonthatók klimatikus, fiziógráfiai, edafikus és biotikus tényezőkre, melyek közül jelen dolgozatban csak a klimatikus tényezők egy részéről lesz szó. A klimatikus tényezők közé tartoznak a sugárzási, hőmérsékleti, csapadék- és szélviszonyok (Kozma, 1991).

A szőlő fénykedvelő, a direkt sugárzást és a szórt fényt is hasznosítja (Bálo *et al.*, 1992). A fény a fotoszintézisre gyakorolt hatása mellett a színanyagok képződésében is szerepet játszik. Hazánkban a fényviszonyok kedvezőek a minőségi borszőlő-termesztés számára.

A szőlő hőigényes növény. Általánosan elfogadott, hogy eredményesen a 9°C és 21°C éves középhőmérsékleti izotermák közötti területeken termesztethető. A legjobb minőséget a 10°C és 16°C izotermák közt adja. A szőlőnövény globális elterjedését az 1.5. ábra szemlélteti.

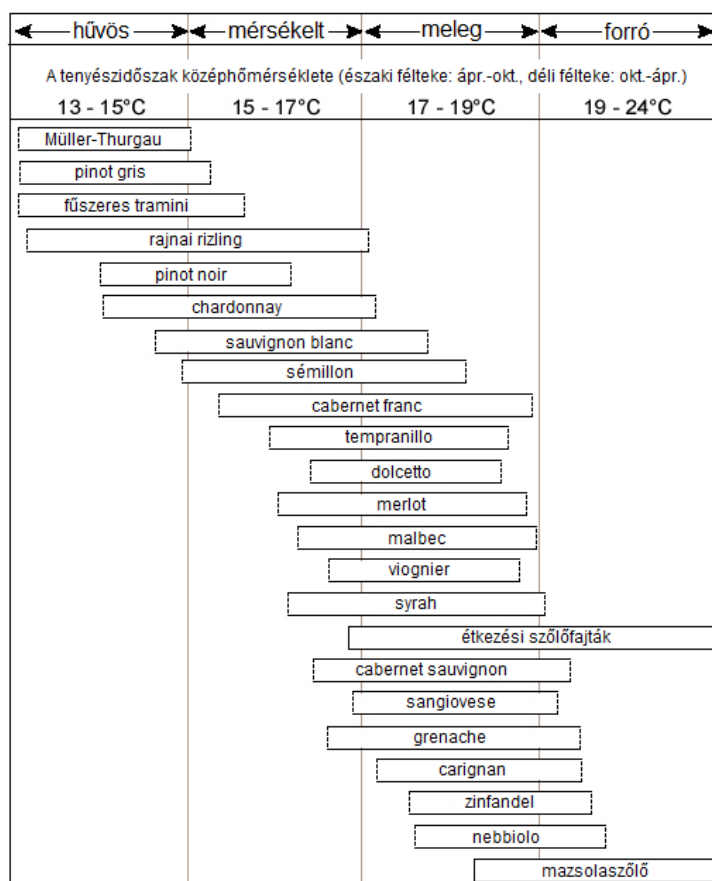


1.5. ábra: A szőlőnövény globális elterjedése. Sötétzölddel színezettek a 10°C és 20°C éves középhőmérsékleti izotermák között fekvő területek, világoszölddel az ezen kívüliek (<http://www.vinetowinecircle.com>)

A szőlő minősége függ a tenyészidőszak hőösszegétől, melyet többféleképpen definiálhatunk. Az egyik legegyszerűbb definíció szerint a teljes hőösszeget a tenyészidőszak középhőmérsékletét a tenyészidőszak napjainak számával megszorozva kapjuk (Kozma, 1991).

Winkler az egy adott területen termesztendő szőlőfajták meghatározására dolgozta ki hőösszeg-indexét. A napi középhőmérsékletek 10°C-os küszöb feletti értékét veszi figyelembe, a tenyészidőszakot pedig április 1-től október 30-ig tartónak tekinti (Winkler, 1938). Az index az (1.1.) alakban írható fel, ahol T_{mean} a napi középhőmérséklet [°C] jelenti, az összegzést pedig április 1-től október 31-ig végezzük. Az index továbbfejlesztéséről a 2.4.1. fejezet szól.

$$WIN = \sum_{04.01}^{10.31.} (T_{mean} - 10) \quad (1.1.)$$



1.6. ábra: Különböző szőlőfajták vegetációs középhőmérsékleti igényei (Jones, 2006 nyomán)

Az érési folyamatok megindulásában szerepe van a júliusi középhőmérsékletnek, melynek az elfogadható szőlőminőséghez el kell érnie a 18°C-ot, míg 20°C felett már jó minőséget várhatunk (Eperjesi et al., 2000). Az egész vegetációs időszak hőmérséklete kihat a szőlő minőségére. A különböző szőlőfajták vegetációs középhőmérsékleti igényei eltérőek (Jones, 2006), ezt az 1.6. ábra szemlélteti.

Vizsgálatok bizonyítják, hogy a nyári hónapok középhőmérsékletének 1°C-os emelkedése a must cukortartalmában 20-30 g/l többletet, míg savtartalmában 2-3 ezrelékes csökkenést eredményezhet. Magasabb hőmérsékletek hatására a szőlőnövény fenológiai fázisai eltolódnak, pl. a virágzás korábban kezdődik, lerövidül, de javulhatnak a megporzás feltételei is (Kozma, 1991). A fotoszintézis optimuma a szőlőnél 25-28°C körül tapasztalható. 30°C felett a fotoszintézis csökken (Sipiora és Lissarrague, 1999), ilyen körülmények között a növény sok cukrot és savat használ fel az intenzív légzés során. 35°C felett a lomb és a bogyók megperzselődhetnek, a hajtásnövekedés megáll (Kozma, 1991). Ezért a túl magas hőmérsékletek már nem kedveznek sem a cukorgyűjtésnek, sem a minőségi bortermelésnek, hiszen az ún. elégett savak miatt a bor „lapos” lesz. A szőlő az alacsony hőmérsékleteket egy bizonyos mértékig jól tűri (Bálo et al., 1987). Az érzékenyebb fajták –17°C alatt, míg az ellenállóbbak –21°C alatt szenvednek fagykárt (Dunkel és Kozma, 1981). A rügyfakadás után viszont már –1°C alatti hőmérsékletek is károsítják a zöld részeket (Oláh, 1979).

A csapadék fontos a szőlő számára: általánosan elfogadott, hogy 500-600 mm éves csapadékmennyiség mellett sikeresen termesztethető. A szárazság az extrakt- és savtartalom csökkenéséhez vezet (Ferenczi és Tuzson, 1960), míg a túlzott nedvesség a *Botrytis cinerea*, a szürkerothadást okozó gomba megtelepedését segíti elő. Az ideális páratartalom 70% körüli (Kozma, 1991). A szél a beporzás szempontjából elengedhetetlen a szőlő számára, illetve csökkenti a gombafertőzés veszélyét. Az erős szél kárt okozhat a lombzatban. Egy évjárat akkor tekinthető kedvezőnek, ha a tenyészidőszak időjárási viszonyai a fenti tényezők alapján optimálisan alakulnak (Kozma, 1991).

Minőségi bornak azt tekintjük, amely pozitív megkülönböztetésre érdemes értékekkel rendelkezik. Egy minőségi bor harmonikus, ha alkotórészei összhangban vannak, kóstoláskor kellemes benyomást kelt. Ehhez elengedhetetlen az alkohol, a savak és az extrakt anyagok megfelelő aránya, továbbá nagyon jelentős az illat- és zamatanyagok szerepe. A bor alapanyaga a szőlő, minőségi bor pedig csak minőségi szőlőből készülhet. A bor alkotóelemei: víz, alkoholok, cukrok, savak, ionosan oldott ásványi sók, illó és egyéb aromaanyagok, vitaminok, terpének, aminosavak, antocianinok, polifenolok (Eperjesi et al., 2000). A kb. 9-16% etil-alkoholon kívül a bor elenyésző mértékben metil-alkoholt is tartalmaz (a metil-alkoholmérgezéshez azonban olyan mennyiségű bort kellene egyszerre elfogyasztani, amely már vízből is a halálos dózis többszöröse lenne). Fontos megemlíteni még egy másik alkoholt, a glicerint, amelynek szerepe van bor kóstoláskor a testesség-érzet kialakulásában. A cukrok (főként fruktóz és glükóz) a bogyókban gyűlnek az

érési időszakban, majd a vinifikáció során részben vagy teljes egészében alkohollá alakulnak. A savtartalom (*borkősav, almasav, tejsav, citromsav* és nagyon alacsony koncentrációban még *egyéb savak*) az érés során csökken, összetétele változik. A nagyobb hőmennyiség több sav lebomlását idézi elő (*Mészáros et al.*, 2012). A különböző fajtájú savak eltérő érzeteket idéznek elő a borkóstolás során. Magasabb hőmérsékletek magasabb cukor- és alacsonyabb savtartalmat eredményeznek a mustban (*Meriaux*, 1982, *Coombe*, 1987, *Bergqvist et al.*, 2001, *Spayd et al.*, 2002). A borban található *ionosan oldott ásványi sók* a talajból származnak. Általánosan elfogadott, hogy ezek ún. minerális ízjegyeket kölcsönöznek a bornak. Az *illó és egyéb aromaanyagok* általában bonyolult szerves molekulák, melyek gyakran rövid életűek, instabilak, hő hatására könnyen lebomlanak (*Mészáros et al.*, 2012). Alig mérhető koncentrációjúak a gyümölcsös (primer) ízvilágot adó vegyületek, pl. *észterek*. Az *antocianinok* adják a bor színét, ezeknek a vörösboroknál van jelentős szerepük, a bogyók héjában képződnek és halmozódnak fel. Mennyiségükre hatással van elsősorban a besugárzás, másodsorban a hőösszeg (*Eperjesi et al.*, 2000). Ugyanannak a szőlőfajtának az antocianin-tartalma évről-évre, sőt még egy évről a másikra is, különböző termőterületeken eltérő lehet a klimatikus tényezők erős hatása miatt (*Cacho et al.*, 1992, *Hermosín és García-Romero*, 2004). Különösen fontos a szüret előtti időszak éjszakai hőmérséklete, ugyanis az alacsonyabb hőmérséklet nagyobb mennyiségű antocianin felhalmozódását eredményezi (*Carbonneau és Tonietto*, 2004). Csersavak és egyéb *polifenolok* szintén a szőlő héjában halmozódnak fel, mennyiségük a fajta, a besugárzás és a hőösszeg függvénye. A csersavak a bor kóstolásakor a szájat összehúzó érzetet idéznek elő. A szárazanyag-tartalom (*cukormentes extrakt*) adja a bor testét, mennyisége a szőlőt ért hőmennyiséggel egyenes arányban változik (*Kádár*, 1982). A szőlő érése folyamán a cukortartalom értéke pozitívan korrelál az antocianinok koncentrációjával és a totális polifenol indexszel (*Hardie és Considine*, 1976, *Hrazdina et al.*, 1984, *Río Segade et al.*, 2008), és negatívan korrelál a teljes savtartalommal és az almasavval (*Barbeau et al.*, 2004). A cukor, a szerves savak és a fenolos alkotóelemek koncentrációja változhat a tőke metszés során kialakított formájától függően, mivel így a fürtök által felfogott sugárzásmennyiség is változik (*Smart*, 1987, *Bergqvist et al.*, 2001, *Spayd et al.*, 2002, *Downey et al.*, 2006, *Tarara et al.*, 2008).

1.5. Célkitűzés

Dolgozatomban bemutatom, milyen változásokat várhatunk a szőlőtermesztés feltételeiben az Egri borvidéken a 21. század közepére és végére. Elemzéseink során néhány, a szőlő termesztése szempontjából meghatározó jelentőségű hőmérsékleti küszöbértékre, az átlagértékekre és két bioklimatikus index (az Huglin-féle heliotermikus index és a hűvös éjszaka index) múltbeli és jelenlegi értékeire fókuszáltunk. Az E-OBS adatsorok alapján bemutatom a vizsgált paraméterek változását az elmúlt 50 év során. Dolgozatomban külön kitérek a szőlőtermő területek tágabb környezetüktől eltérő hőmérsékleti anomáliáinak bemutatására. A PRECIS regionális klímamodell jövőre vonatkozó modellbecslései alapján bemutatom a borvidék területére regionálisan jellemző kritikus hőmérsékleti küszöb- és indexértékek várható alakulását, illetve becslést adok ezen értékek alakulására egy „átlagos” szőlőtermő területen, a múltbeli állomási mérési idősorok anomáliáinak figyelembe vételével.

Vizsgálataink újdonsága a korábbi hasonló kutatásokhoz képest a vizsgált szőlőtermő területek helyszínen mért hőmérsékleti anomáliáinak meghatározása és figyelembe vétele. A csapadékviszonyok vizsgálata megbízható adatsor híján, és a szélsőséges lokális változékonyság miatt nem volt célunk. Nagyobb területet vizsgáló, a csapadékot is figyelembe vevő tanulmányok korábban már születtek magyar borvidékekre (pl. *Szenteleki et al.*, 2011, *Gaál et al.*, 2012, *Mesterházy et al.*, 2013).

Személyes motivációm a szőlő és bor iránti érdeklődésem. Az utóbbi években kapcsolatba kerültem a szőlővel és borral foglalkozó szakemberekkel, számtalan szakmai rendezvényen volt lehetőségem részt venni. Rálátásom lett a bor kereskedelmi és esztétikai aspektusára is. Fontos állomás volt számomra a portugáliai Universidade do Porto-n Erasmus ösztöndíjasként eltöltött időszak, ahol első, a terroir kutatáshoz kapcsolódó vizsgálataimat végeztem. Témaválasztásommal a meteorológia egy gyakorlati alkalmazását mutatom be. A jövőben meteorológusként is segíteni kívánom a szőlészek és borászok munkáját.

2. Anyag és módszer

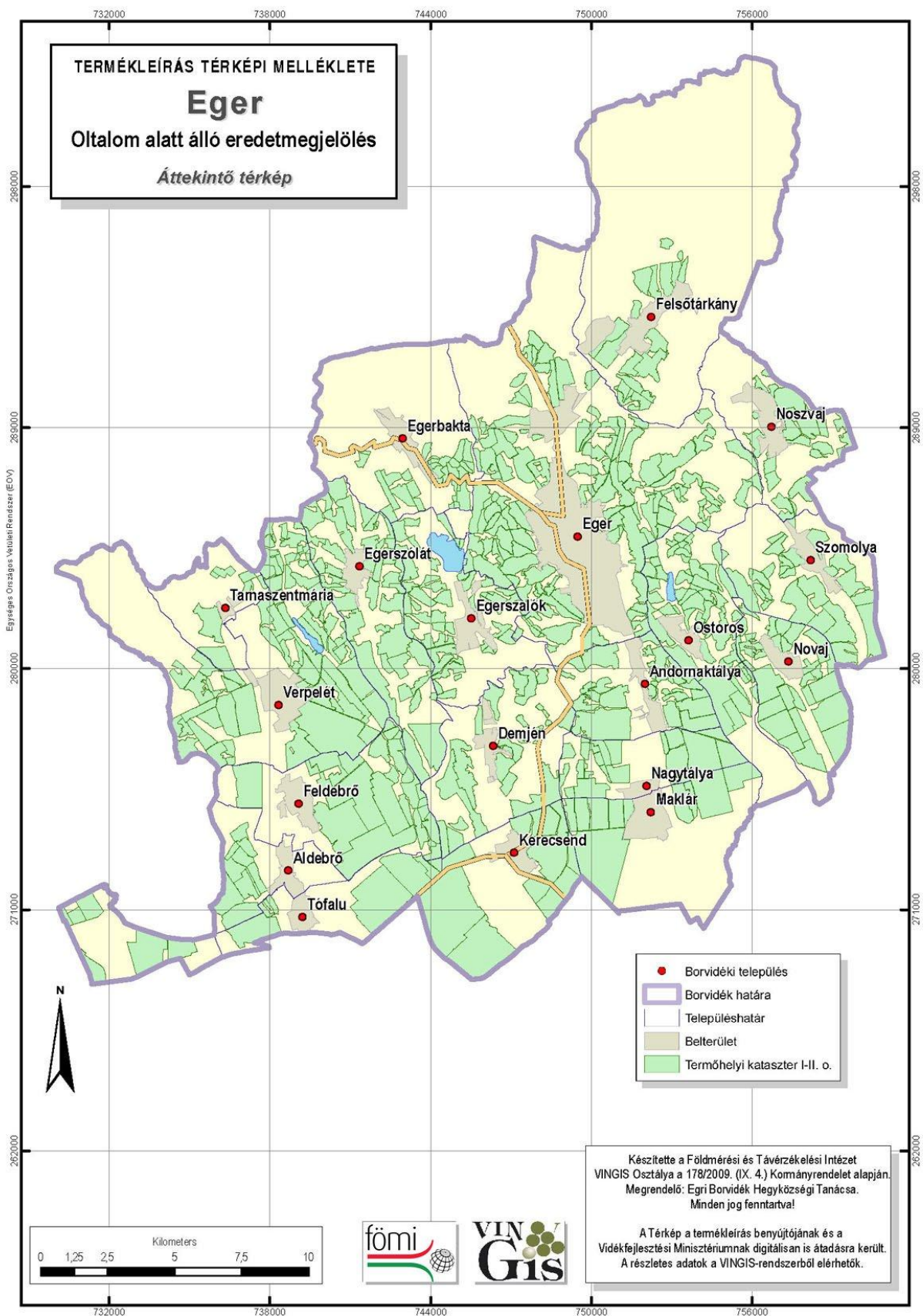
2.1. A vizsgált terület: az Egri borvidék

2.1.1. Az Egri borvidék általános jellemzése

Az Egri borvidék egyik legjelentősebb történelmi borvidékünk, ahol a bortermelés kezdetét a 11. századra teszik. Eleinte fehér szőlőfajtákat termesztettek, majd a törökök elől menekülő rácok által behozott technológia és a *kadarka* szőlőfajta ezen a vidéken is elterjedt. A török időkben sem szűnt meg a szőlőtermesztés. A 19. század végi filoxéravész az egri szőlőket sem kímélte, majd új fajták kerültek be a borvidékre, többek közt *direkttermők* is (ma ezek tiltott fajták). A szocializmusban az igénytelen tömegtermelés rontotta Eger hírnevét (Nemes, 2007). A rendszerváltás után ismét előtérbe került a minőségi borkészítés. Új *eredetvédelmi rendszer* került bevezetésre. A borvidéken ma egyre több, a magas szintű borkészítés mellett elkötelezett borással találkozhatunk. Tőlük időnként nemzetközi mércével is kiemelkedő borokat kóstolhatunk.

A borvidék mind vörös-, mind fehérborban magas minőséget képes adni. Eger adottságai egy bizonyos mértékig kedvezőek a burgundi stílusú borok készítéséhez, amely egy jó irány lehet a borvidék számára. A *chardonnay* és a *pinot noir* fajtákban nagy lehetőség rejlik (Lőrincz György, 2009-es Év Bortermelője, a *St. Andrea* pincészet borásza és vezetője személyes közlése alapján). Egyre fontosabb szerep jut a *dűlőselektált* boroknak. A borvidék egyediségét leginkább visszaadni képes vörös házasítás az *Egri Bikavér*, melynek készítésére szigorú szabályok vonatkoznak. Több szőlőfajta házasítása, melyek egyike sem lehet domináns, ezen kívül érzékszervi vizsgálaton is meg kell felelnie. A megnevezés használatának kritériumait az Egri Bikavér Szabályzat írja le részletesen (102/2009. (VIII. 5.) FVM rendelet). A fehérek között karcsúbb, határozott savú, száraz borokat, és tüzesebb, olajos, krémes textúrájú, esetleg literenként néhány gramm maradékukrot tartalmazó, fahordóban érlelt borokat egyaránt találunk. 2011 óta létezik az *Egri Csillag* kategória, amely a Bikavér fehér párja kíván lenni: a borvidékre jellemző stílusú, fahordós érlelésű fehér házasítás. A *Debrői Hárslevelű* szintén oltalom alatt áll.

Az Egri borvidék (2.1. ábra) a Mátra és a Bükk hegységek között, az Alföld és az Északi-középhegység találkozásánál helyezkedik el, 160-180 m tengerszint feletti magasságban. Területe 22 160 ha, melyből első osztályú 18 302 ha (Mészáros et al., 2012).



2.1. ábra: Az Egri borvidék áttekintő térképe, FÖMI dűlőtérkép (<http://www.fomi.hu>).

A térség alapkőzete: mészkő, dolomit, agyagpala, agyagmárga, homokkő, riolittufa, riolit-dácit lávaközetek, agyagos-homokos üledékek, pliocén mocsári rétegek, pleisztocén lösz. A térség jellemző talajtípusai: erdei talajok, mezőszéki talajok, köves váztalajok, nyiroktalaj, barnaföld, agyagbemosódásos barna erdőtalajok, löszvályog, homokos lejtőlösz, mezőszéki jellegű talaj. A domborzat jellege: kis lejtőszögű, laposabb dombhátak, folyami hordalékból épített kavicsos teraszok (Mészáros *et al.*, 2012). A 2.2. ábra a borszőlőtermesztés szempontjából egyik legértékesebb termőterületet, a Nagy-Eged-hegyet mutatja be.



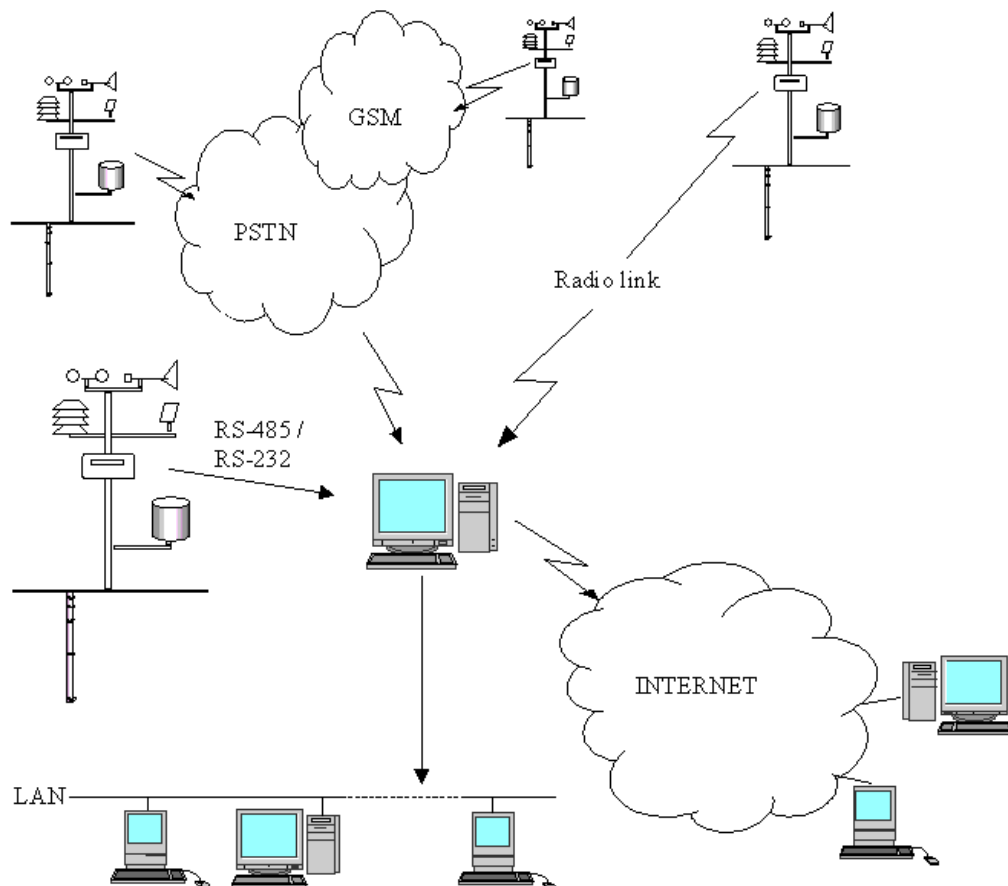
2.2. ábra: A Nagy-Eged-hegy (Bálo *et al.*, 2014 nyomán)

A legfontosabb egri szőlőfajták a következők (zárójelben 2013-ban a szüretelt terület kiterjedése): *blauburger* (280 ha), *cabernet franc* (184 ha), *cabernet sauvignon* (480 ha), *chardonnay* (179 ha), *hárslevelű* (228 ha), *kékfrankos* (951 ha), *portugieser* (183 ha), *leányka* (270 ha), *merlot* (248 ha), *olasz rizling* (191 ha), *Ottonel muskotály* (152 ha), *pinot noir* (179 ha), *Müller-Thurgau* (114 ha), *zenit* (107 ha), *zweigelt* (206 ha). Történelmi okokból mindenképpen a fontos fajták közé sorolandó a *kadarka* (28 ha). Kis területen, de a borvidéken elterjedten termesztik még a *bianca* (27 ha), *bíbor kadarka* (35 ha), *Irsai Olivér* (19 ha), *királyleányka* (37 ha), *sauvignon blanc* (63 ha), *syráh* (40 ha), *pinot gris* (40 ha), *tramini* (39 ha), *turán* (95 ha), *zengő* (54 ha), *zöld veltelini* (18 ha) fajtákat. 2013-ban mintegy 5900 ha betelepített területen 4892 ha-ról szüreteltek, összesen 31 565 t szőlőt (az Egri Borvidék Hegyközségi Tanácsa személyes közlése alapján).

2.1.2. Az ültetvényi meteorológiai állomások

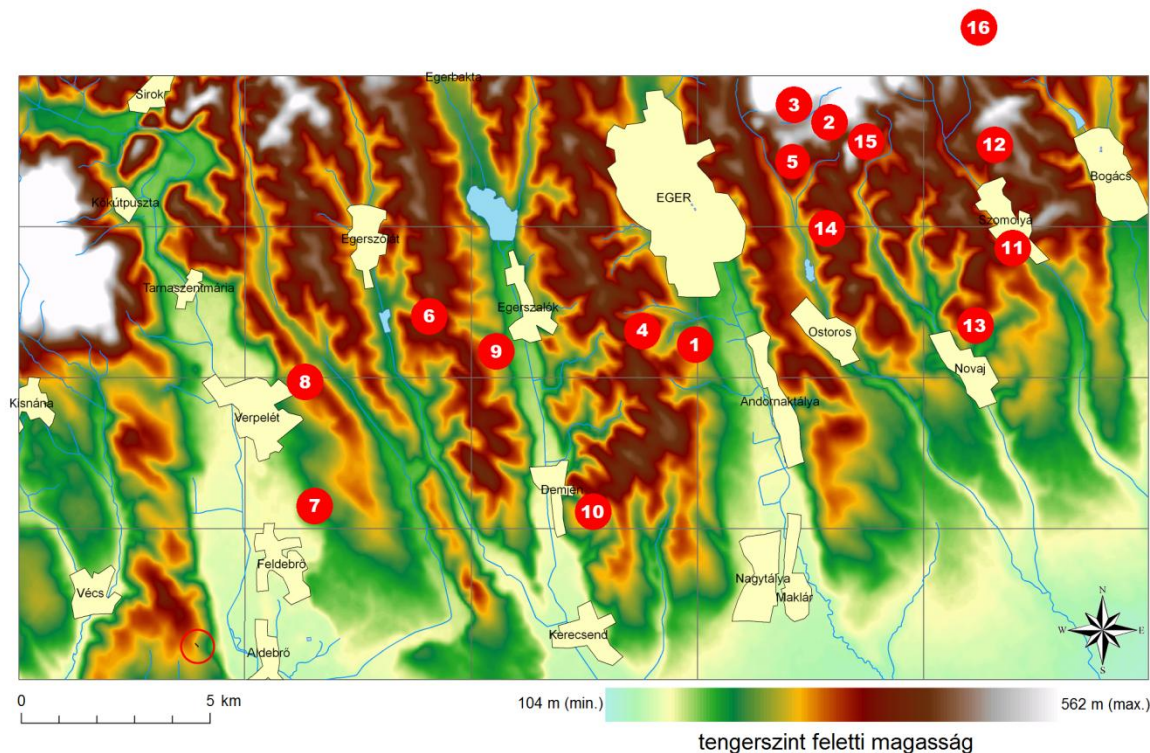
A szőlőben mért hőmérsékleti adatok automata meteorológiai állomások hálózatából származnak. A mérőállomásokat a BOREAS Fejlesztő és Szolgáltató Kft. telepítette. Az állomások közül *Kőlyuk-tető*, *Nagy-Eged-hegy alsó*, *Nagy-Eged-hegy felső*, *Nagy-galagonyás*, *Síkhegy* és *Tóbérc* az egri Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet kezelésében áll, míg *Feldebrő*, *Verpelét*, *Egerszalók*, *Demjén*, *Szomolya*, *Noszvaj*, *Novaj*, *Ostoros*, *Mész-hegy* és *Csókás* mérőállomások a hegyközségi tanácsokhoz tartoznak.

A BOREAS mérőrendszer az 2.2. ábrán szemléltetethez hasonló módon, érzékelőkből és adatgyűjtőkből áll. A mérőállomás az érzékelők és az adatgyűjtő együttese, egy oszlopra felszerelve. A mérőállomás összeköttetésben áll egy számítógéppel, mely a mérés vezérlését s az adatgyűjtést végzi. A rendszer által összegyűjtött és tárolt adatok a megfelelő szoftver segítségével lekérhetők. A mérőrendszer távoli kommunikációra is alkalmas analóg vagy GSM modemen vagy rádiókapcsolaton keresztül. (<http://www.boreas.hu>).



2.2. ábra: A BOREAS minta mérőrendszere (<http://www.boreas.hu>).

Az állomások a dűlőkben, jellemzően a szőlősorok közt helyezkednek el, tehát a szőlőültetvény valós klimatikus viszonyait mérik. Az 2.3. ábra az állomások elhelyezkedését mutatja be a borvidéki településekhez képest (Bálo Borbála személyes közlése alapján). A koordináták meghatározása Google Maps alkalmazásával történt (<http://maps.google.com>).



1 ültetvényi meteorológiai állomás

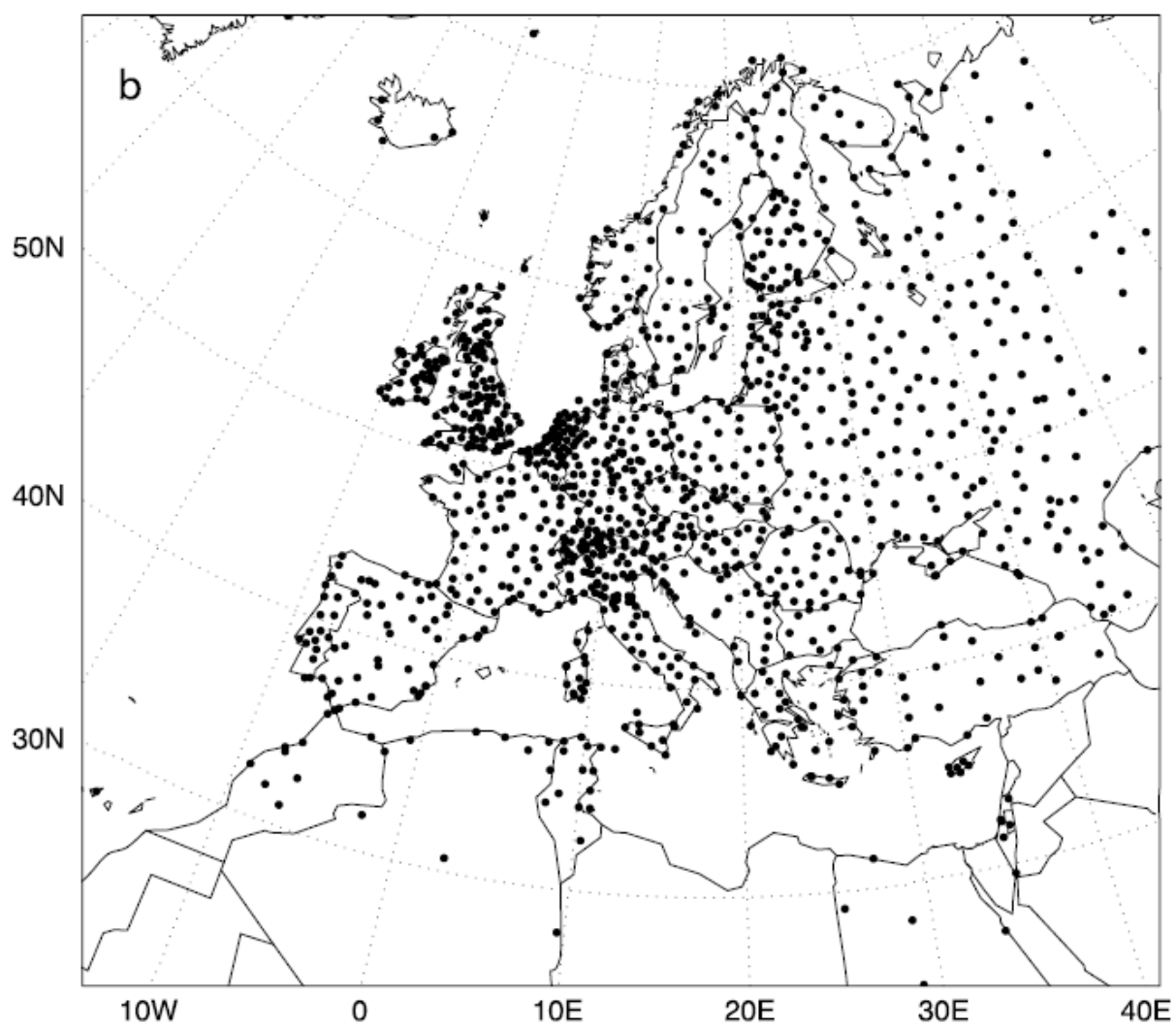
2.3. ábra: A BOREAS állomások elhelyezkedése az Egri borvidéken (Bálo et Gál, 2009 nyomán).
A piros körökkel jelzett mérőállomások földrajzi elhelyezkedése:

1. Kőlyuk-tető	(47,86°; 20,38°)
2. Nagy-Eged-hegy alsó	(47,92°; 20,43°)
3. Nagy-Eged-hegy felső	(47,93°; 20,43°)
4. Nagy-galagonyás	(47,86°; 20,36°)
5. Síkhegy	(47,89°; 20,43°)
6. Tóbérc	(47,88°; 20,28°)
7. Feldebrő	(47,82°; 20,25°)
8. Verpelét	(47,83°; 20,24°)
9. Egerszalók	(47,86°; 20,31°)
10. Demjén	(47,85°; 20,35°)
11. Szomolya	(47,88°; 20,48°)
12. Noszvaj	(47,91°; 20,49°)
13. Novaj	(47,87°; 20,48°)
14. Óratoros	(47,89°; 20,43°)
15. Mész-hegy	(47,91°; 20,44°)
16. Csókás	(47,94°; 20,48°)

2.2. Az E-OBS adatok

A felhasznált rácsponti adatok a *Holland Királyi Meteorológiai Intézet* (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, KNMI) által működtetett *Climate Explorer* internetes oldalán szabadon hozzáférhető E-OBS (ENSEMBLES **O**bservational gridded dataset). A Climate Explorer egy internetes alkalmazás, mely klímaadatok statisztikai elemzésére, megjelenítésére szolgál. 1999-es indulása óta jelentősen fejlődött, ma a *Meteorológiai Világszervezet* (World Meteorological Organization, WMO) *Regionális Klímaközpontjának* részét képezi a KNMI-nél az *Európai Éghajlati Értékeléssel és Adatbázissal* (European Climate Assessment & Dataset, ECA&D) együtt.

Az ECA&D projekt célja meteorológiai állomásokról származó napi mérési adatsorok összeállítása az adatok minőségének ellenőrzésével, extrémumok analízisével, és az adatok, illetve az analízis eredményeinek közzététele. Az adatbázis Európa és a mediterrán térség nemzeti meteorológiai és hidrológiai szolgálatainak, valamint megfigyelő- és kutatóközpontjainak napi mérésein alapul. Az egyes adatok a minőségellenőrzés során „rendben”, „gyanús” vagy „hiányzó” minősítést kapnak, a homogenitás-vizsgálat során pedig „használható”, „kétséges” vagy „gyanús” kategóriába sorolják őket. A körültekintő ellenőrzések mellett sem zárható ki, hogy hibák maradnak az adatsorban. Ezek előfordulása valószínűbb a közelmúltbeli szinoptikus információkból nyert adatoknál, mivel azok még nem mentek át a validációs eljárásen. Hosszabb idősorok esetén a mérési mód megváltozása is okozhat nem klimatológiai eredetű inhomogenitást. Ezek az inhomogenitások különösen is az extrémumok változásában érhetőek tetten. Az ECA&D idősorok homogenitás-vizsgálatára kétlépéses tesztfolyamatot alkalmaznak. A napi adatsorok homogenitás-vizsgálatakor a következő változókat veszik figyelembe: *napi hőingás évi középértéke, a napi hőingások abszolút, napról-napra vett különbségeinek évi középértéke, a nedves (1 mm fölötti csapadékú) napok éves száma, a havas napok (minimum 1 cm hóréteg) éves száma, a tengerszintre átszámított napi légnyomás évi középértéke, a napsütéses órák éves száma, a napi átlagos relatív nedvesség évi középértéke és a napi átlagos felhőborítottság évi középértéke*. Ezek után a vizsgálati eredmények alapján minden adatsor besorolást nyer a „használható – kétséges – gyanús” rendszerbe. (Haylock et al., 2008, <http://climexp.knmi.nl>). Vizsgálataink során az alábbi 4 rácspont adatait dolgoztuk fel: (47,88°; 20,38°), (47,88°; 20,63°), (48,13°; 20,63°), (48,13°; 20,38°).



2.4. ábra: Az E-OBS hőmérsékleti adatsorainak előállításához felhasznált mérőállomások hálózata (Haylock et al., 2008).

2.3. A PRECIS klímamodell

A Kárpát-medence klímájának vizsgálatára a globális klímamodellek (**Global Climate Model**, GCM) felbontása nem elegendő. A felbontás finomítására gyakran a GCM-be ágyazott regionális klímamodelleket (**Regional Climate Model**, RCM) használják (Giorgi, 1990). Az általam használt RCM a PRECIS (**Provided Regional Climates for Impact Studies**), melyet a Brit Meteorológiai Szolgálat Hadley Központjában fejlesztettek ki (Wilson *et al.*, 2007), és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén adaptáltak a Kárpát-medence térségére (Bartholy *et al.*, 2009b). A modell célja, hogy eszközt biztosítson a kutatók számára a regionális hatástanulmányok elkészítéséhez. A meghajtó GCM a HadCM3, amely egy második generációs csatolt óceán-légkör modell, $2,5^{\circ} \times 3,75^{\circ}$ felbontással, 19 légköri és 20 óceáni szinttel (Gordon *et al.*, 2000). Az ebbe beágyazott PRECIS modell választható felbontása $0,22^{\circ}$ vagy $0,44^{\circ}$ (Wilson *et al.*, 2010). A modellt a HadCM3 globális modellből fejlesztették tovább.

A PRECIS a hidrotermodinamikai egyenletrendszer *hidrosztatikus közelítését* alkalmazza, így a vertikális mozgások csak parametrizáció útján jelennek meg. A Coriolis-erőt figyelembe veszi a modell. Vertikálisan hibrid koordinátarendszert alkalmaz. A számításokat szférikus koordinátarendszerben végzi, a numerikus stabilitás érdekében 5 perces integrálási időlépcsővel (Wilson *et al.*, 2010). A kezdeti és peremfeltételek az ERA-40 reanalízis adatokból (Uppala *et al.*, 2005) és a HadCM3 globális modellből (1951 – 2100) származnak. A modell A2, A1B és B2 globális emissziós forgatókönyvekre (Nakicenovic és Swart, 2000) lett lefuttatva (Pieccka *et al.*, 2011). A validáció CRU TS 1.2 (Mitchell *et Jones*, 2005) és E-OBS (Haylock *et al.*, 2008) adatsorokkal történt (Pieccka *et al.*, 2011).

Vizsgálataim során a PRECIS 1.8. verziójának (Wilson *et al.*, 2010) outputjait használtam a közepesnek mondható A1B (717 ppm CO₂) emissziós scenárióval (Nakicenovic és Swart, 2000). Az alábbi 4 rácspont adatait dolgoztam fel: $(47,88^{\circ}; 20,38^{\circ})$, $(47,88^{\circ}; 20,63^{\circ})$, $(48,13^{\circ}; 20,63^{\circ})$, $(48,13^{\circ}; 20,38^{\circ})$.

2.4. Bioklimatikus indexek

2.4.1. A heliotermikus index

Winkler indexét (ld. 1.4. fejezet) továbbfejlesztve Huglin megalkotta az ún. *heliotermikus indexet*, mellyel a világ bármely bortermő régiója osztályozható a szőlő vegetációs ciklusának heliotermikus kondíciói alapján. Az indexet az északi féltekén az április 1. és szeptember 30. közti, míg a déli féltekén az október 1. és március 31. közti időszak napi közép- és maximumhőmérsékleteiből számítják. Huglin indexe a (2.1.) formában írható fel (Huglin, 1978).

$$HI = d \sum_{04.01.}^{09.30.} \frac{(T_{mean} - 10) + (T_{max} - 10)}{2} \quad (2.1.)$$

ahol T_{mean} a napi középhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], T_{max} a napi maximumhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], d pedig a nappal hosszát jellemző koefficiens, melynek értéke 1,02 és 1,06 közt változik a 40° és 50° szélességek közt. A HI értékek alapján a szőlőtermő területeket a következőképpen osztályozhatjuk (Tonietto et Carbonneau, 2004):

HI +3: nagyon meleg, $3000^{\circ}\text{C} < HI$ (évente akár egynél több szüret, hőstressz kockázata)

HI +2: meleg, $2400^{\circ}\text{C} < HI < 3000^{\circ}\text{C}$ (késői fajták, mazsolaszőlő, hőstressz kockázata)

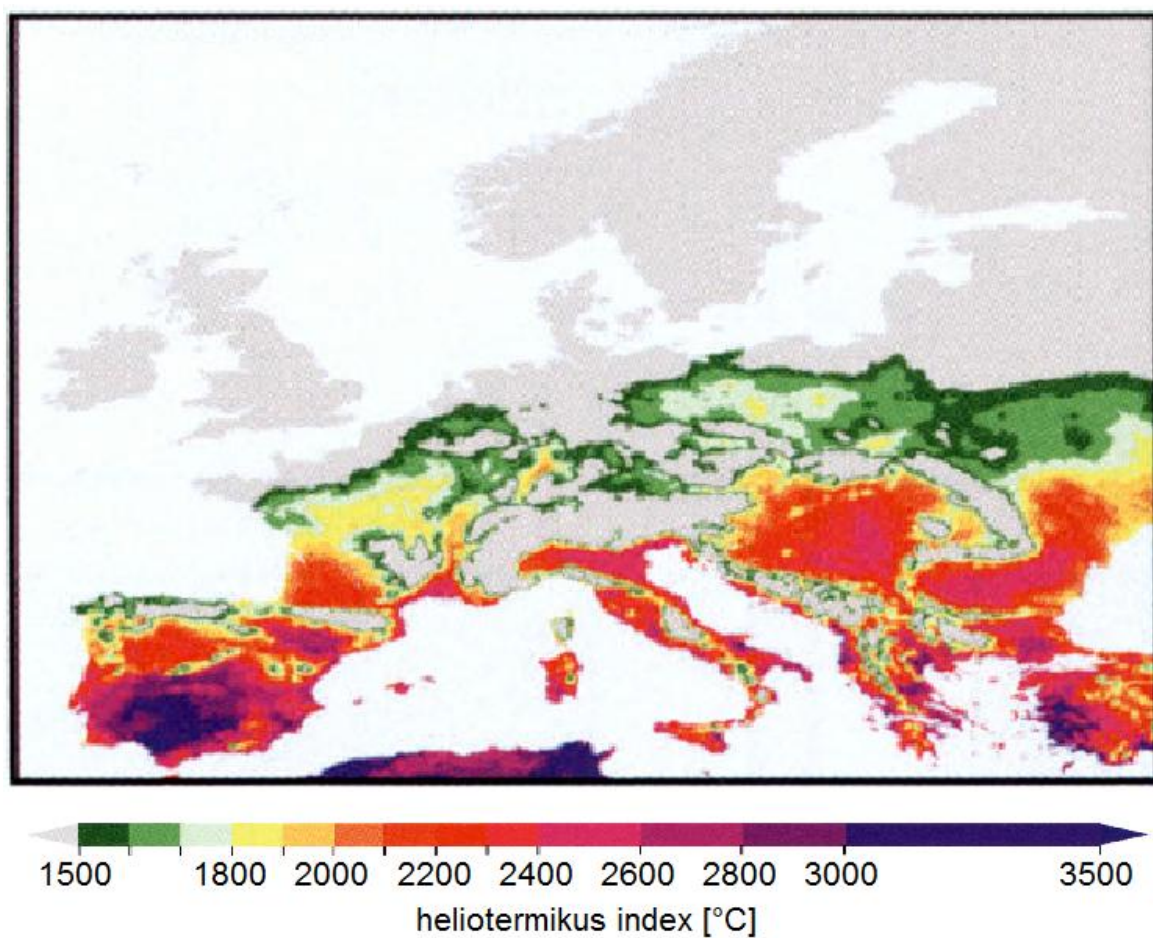
HI +1: meleg mérsékelt, $2100^{\circ}\text{C} < HI < 2400^{\circ}\text{C}$ (kimondottan melegigényes fajták)

HI -1: mérsékelt, $1800^{\circ}\text{C} < HI < 2100^{\circ}\text{C}$ (hőigényesebb fajták is beérnek)

HI -2: hideg, $1500^{\circ}\text{C} < HI < 1800^{\circ}\text{C}$ (ilyen körülmények között már sok szőlőfajta beérik)

HI -3: nagyon hideg, $HI < 1500^{\circ}\text{C}$ (heliotermikus limit, csak a nagyon korai fajták)

Az Huglin index értékének alakulását Európa térségére a 2000-es évben a 2.5. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látszik, hogy a Kárpát-medence a magasabb indexértékű területek közé tartozik. A vizsgált Egri borvidék területére a legtöbb hasonló szélességi körön fekvő területnél magasabb indexértéket mutat az ábra (Stock et al., 2004).



2.5. ábra: HI értékek Európában 2000-ben, CRU adatok alapján (Stock et al., 2004 nyomán).

2.1. táblázat: A különböző heliotermikus indexértékek más-más szőlőfajták termesztéséhez ideálisak (Huglin és Schneider, 1986 nyomán)

HI érték [°C]	Szőlőfajta
1500 ≤ HI < 1600	Müller-Thurgau, blauer portugieser
1600 ≤ HI < 1700	pinot blanc, pinot gris, aligoté, gamay, tramini
1700 ≤ HI < 1800	riesling, chardonnay, sauvignon blanc, pinot noir, zöld veltelini
1800 ≤ HI < 1900	cabernet franc
1900 ≤ HI < 2000	chenin blanc, cabernet sauvignon, merlot, sémillion, olasz rizling
2000 ≤ HI < 2100	ugni blanc
2100 ≤ HI < 2200	grenache, syrah, cinsaut
2200 ≤ HI < 2300	carignan
2300 ≤ HI < 2400	aramón

A vegetációs időszakban szükséges hőösszeg fajtafüggő. Huglin indexe egyfajta hőösszeg-definíció, az érték változásával más-más szőlőfajták művelésére nyílik lehetőség. Az index növekedésével egy bizonyos határon belül a termesztendő szőlőfajták száma is növekszik. Alacsony értékeknél bizonyos fajták beérése kérdésessé (vagy lehetetlenné) válik. Magasabb értékek esetén a korai érésű (vagyis kisebb hőösszeg-igényű) fajták érése olyan időszakra esik, amikor a magas nappali hőmérsékletek miatt a savak könnyebben lebomlanak, illetve a magasabb éjszakai hőmérsékletek miatt a színanyagok képződése nem megfelelő. Ebben az esetben nem könnyű harmonikus bort készíteni, hiszen választani kell a megfelelő savtartalom és a bogyók teljes érettsége között.

2.4.2. A hűvös éjszaka index

Az érési időszak éjszakai hőmérsékleteit jellemzi a *hűvös éjszaka index* (a nemzetközi irodalomban „*cool night index*”). A hűvös éjszakák elősegítik, a meleg éjszakák gátolják a színanyagok képződését. Az index a szeptemberi napi minimumhőmérsékletek (T_{min}) átlaga (az északi hemiszférán, míg a délin az indexet a márciusi minimumhőmérsékletek alapján számítják), mely összefüggés az alábbi (2.2.) formulával fejezhető ki.

$$CI = \sum_{09.01.}^{09.30.} \frac{T_{min}}{30} \quad (2.2.)$$

Termőhely-klasszifikáció a hűvös éjszaka index alapján (Tonietto és Carbonneau, 2004):

CI –2: meleg éjszakák, $18^{\circ}\text{C} < CI$

CI –1: mérsékelt éjszakák, $14^{\circ}\text{C} < CI < 18^{\circ}\text{C}$

CI +1: hűvös éjszakák, $12^{\circ}\text{C} < CI < 14^{\circ}\text{C}$

CI +2: nagyon hűvös éjszakák, $CI < 12^{\circ}\text{C}$

A hűvös éjszaka index önmagában semmit nem mond el a várható termés minőségéről, hiszen a CI érték mellett nagyon fontos az érés során a megfelelő hőösszeg biztosítása. Így tehát, ha ez utóbbi elegendő, akkor alacsonyabb CI értékek esetén kapjuk a magasabb minőségű, színanyagban, antocianinokban gazdagabb szőlőt.

2.5. Adatfeldolgozás, adatsorok

A vizsgálatokhoz napi minimum, maximum és középhőmérsékleti adatsorokat dolgoztunk fel az ültetvényi állomási mérésekből (2005 – 2012 időszakra), az E-OBS rendszerből (1950 – 2012 időszakra) és a PRECIS klímamodell szimuláció eredményeiből (1950 – 2009 időszakra). Az adatfeldolgozás nagyrészt táblázatkezelő szoftverekkel történt. A következő küszöbértékek és indexek alakulását vizsgáltuk: -21°C és -17°C alatti hőmérsékletek előfordulása, -1°C alatti hőmérsékletek előfordulása (március 1. és október 1. között, március 15. és október 1. között, április 1. és október 1. között), átlagos napi közép-, minimum- és maximumhőmérséklet, Huglin-féle heliotermikus index (HI) és hűvös éjszaka index (CI). A vizsgált időszakok: 1961 – 1990, 1981 – 2010, 2021 – 2050, 2069 – 2098, illetve a 2005 – 2012 időszak évei külön-külön.

Az ültetvényi mérési adatsorok 16 BOREAS állomás 2005 és 2012 közti éveit ölelik fel. Az állomásokra egyenként átlagos napi közép-, minimum- és maximumhőmérsékleteket, HI és CI értékeket számítottunk mind a 8 évjáratra. A számításhoz néhány esetben szükség volt hiányzó napi értékek pótlására, mely lineáris interpolációval történt. Hosszabb adathiányos időszakokat azonban a fenti módszerrel nem lehetett pótolni. Az állomások és évjáratok index-érték szerinti összehasonlításához a hiányzó adatokat az alábbi módszerrel pótoltuk.

Feltételezzük, hogy a hiányzó érték független az állomás előző és következő évhez tartozó értékétől, viszont nem független a többi állomás adott évi értékeitől. Keressük tehát az x állomás y évben felvett $F(x,y)$ értékét. Kiszámítjuk az x és x_i állomások azonos y_j évekre vonatkozó $F(x,y_j)$ és $F(x_i,y_j)$ különbségeinek évekre átlagolt értékét, külön-külön minden egyes x_i állomásra. Ezután az y évben elérhető minden x_i állomáson felvett $F(x_i, y)$ érték átlagát az ugyanezen x_i és x állomások fenti módon számított átlagos különbségeinek átlagával korrigálva határozzuk meg az x állomás y évben felvett $F(x,y)$ értékét. A korrekciót formálisan a (2.3.) egyenlet írja le.

$$F(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^m F(x, y_j) - F(x_i, y_j)}{m} + \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^m F(x_i, y_j)}{m}}{n} \quad (2.3.)$$

E módszer segítségével ellvégeztük a szükséges adatróplást, így 8 évjáratra, 16 állomásra állnak rendelkezésre HI és CI adatok.

Mivel minden mérőállomás egyedi mikroklimával rendelkezik, a vizsgálathoz szükség volt egy „átlagos” (fiktív) állomásra, amely az Egri borvidék szőlőterületeinek éghajlati feltételeit reprezentálja. E célra az ültetvényi állomások súlypontját (a koordináták átlagát) jelöltük ki az állomásokon felvett értékek átlagolásával. A kapott $(47,88^\circ; 20,39^\circ)$ koordinátájú pont, s ennek paraméterei reprezentálják a továbbiakban a teljes szőlőterület átlagos viszonyait. Az E-OBS és PRECIS adatokból szintén HI és CI értékeket számítottunk. Ezeknél nem volt szükség adatpótlásra. A rácsponti adatokat IDW (**I**nverse **D**istance **W**eighted **I**nterpolation, a távolság inverzével súlyozott interpoláció) módszerrel (*Shepard*, 1968) interpoláltuk a fenti $(47,88^\circ; 20,39^\circ)$ koordinátákra. Egy egyszerű eset, amikor a referenciapontok négyzethálón helyezkednek el. Az interpolációs pont értékét az állomást tartalmazó négyzet négy sarokpontjának ismert értékéből határoztuk meg. Az (x,y) pontban az $F(x,y)$ függvényérték meghatározására a (2.4.) egyenlet alkalmazható.

$$F(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (2.4.)$$

ahol n a figyelembe vett pontok száma (jelen esetben 4), f_i a pontokhoz tartozó függvényérték, w_i pedig az egyes pontokhoz tartozó súlyfüggvény, amely a (2.5.) egyenlet által leírt módon határozható meg.

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (2.5.)$$

ahol p egy tetszőleges pozitív valós szám, az erő paraméter (jellemzően $p=2$), és h_i az egyes pontok (2.6.) módon felírható távolsága az interpolációs ponttól.

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (2.6.)$$

ahol x_i és y_i az egyes környező pontok, x és y pedig az interpolációs pont koordinátái (*Shepard*, 1968).

3. Eredmények

3.1. Az 1961 – 1990 és 1981 – 2010 időszakok

Ezen időszakok vizsgálatára a finomabb (kb. 25 km) skálájú E-OBS adatsorok állnak rendelkezésre, melyek jó képet adnak a régióra jellemző hőmérsékleti viszonyokról, azonban a helyi jellegzetességek leírására nem alkalmasak. A következő hőmérsékleti küszöbértékeket és bioklimatikus indexeket az 1961 – 1990 és az 1981 – 2010 időszakra az Egri borvidéket reprezentáló (47,88°; 20,39°) koordinátájú pontra számítottam ki. Az eredményeket a 3.1. táblázat mutatja be.

3.1. táblázat: Az 1961 – 1990 és 1981 – 2010 időszakok mutatói az E-OBS adatsorok alapján, az eltérés oszlop az éghajlatnak a két vizsgált időszak közti változását szemlélteti.

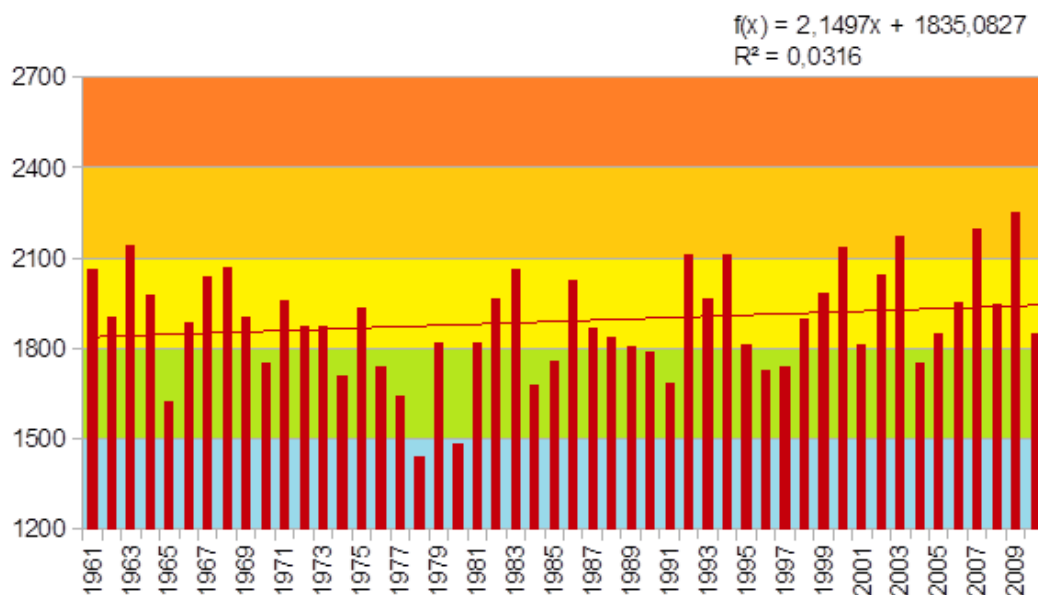
Vizsgált paraméter	1961 – 1990	1981 – 2010	Abszolút eltérés	Relatív eltérés [%]
T < -21°C	6	5	-1	-17
T < -17°C	54	28	-26	-48
T < -1°C (03 01 – 09 30)	531	454	-77	-15
T < -1°C (03 15 – 09 30)	266	234	-32	-12
T < -1°C (04 01 – 09 30)	92	67	-25	-27
T > 30°C	479	558	+79	+16
T > 35°C	5	20	+15	+300
középhőmérséklet [°C]	9,6	10,1	+0,5	
min. hőmérséklet [°C]	4,7	5,4	+0,7	
max. hőmérséklet [°C]	14,6	14,7	+0,1	
HI [°C]	1849	1921	+72	+4
CI [°C]	9,8	10,4	+0,6	

Az 1961-től 1990-ig terjedő időszakban, a nyugalmi időszak során az ellenállóbb fajtájú szőlőnövényt is károsító, -21°C alatti minimumhőmérséklet 6 napon, míg az érzékenyebb fajtákat károsító -17°C alatti minimumhőmérséklet 54 (évente átlagosan 2) napon fordult elő. A szőlő zöld részeit károsító, -1°C alatti minimumhőmérséklet március 1-től szeptember 30-ig 531 (évente átlagosan 18) napon, március 15-től szeptember 30-ig 266 (évente átlagosan 9) napon, április 1-től szeptember 30-ig 92 (évente átlagosan 3) napon fordult elő a fenti 30 éves időszakban. Ugyanezen időszakban a szőlőnövény fotoszintézisét csökkentő, 30°C feletti csúcshőmérséklet 479 (évente átlagosan 16) napon, a hajtásnövekedést megállító, 35°C feletti csúcshőmérséklet 5 napon fordult elő. Az időszak átlagos napi középhőmérséklete 9,6°C, átlagos napi minimumhőmérséklete 4,7°C,

átlagos napi maximumhőmérséklete 14,6°C volt. Az Huglin-féle heliotermikus index átlagos értéke 1849°C volt (kategória: HI –1, „mérsékelt”). A hűvös éjszaka index átlagos értéke 9,8°C volt (kategória: CI +2, „nagyon hűvös éjszakák”).

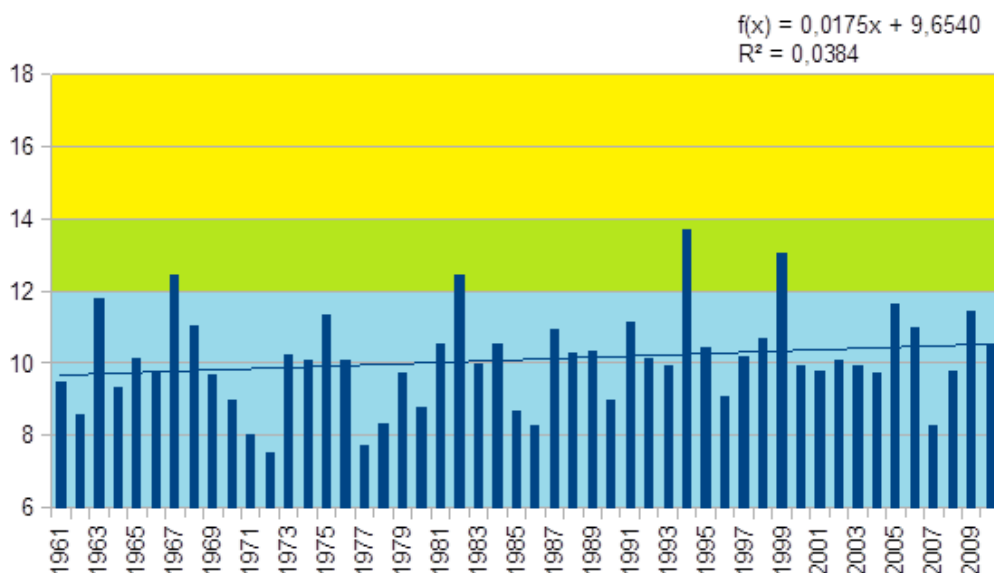
Az 1981-től 2010-ig terjedő időszakban –21°C alatti minimumhőmérséklet 5 napon fordult elő, az 1961 – 1990 időszakhoz képest a gyakoriság csökkenés 17%. –17°C alatti minimumhőmérséklet 28 (évente átlagosan 1) napon fordult elő, a gyakoriság csökkenés 48%. –1°C alatti minimumhőmérséklet március 1-től szeptember 30-ig 454 (évente átlagosan 15) napon fordult elő, a gyakoriság csökkenés 15%. –1°C alatti minimumhőmérséklet március 15-től szeptember 30-ig 234 (évente átlagosan 8) napon fordult elő, a gyakoriság csökkenés 12%. –1°C alatti minimumhőmérséklet április 1-től szeptember 30-ig 67 (évente átlagosan 2) napon fordult elő, a gyakoriság csökkenés 27%. 30°C feletti csúshőmérséklet 558 (évente átlagosan 19) napon fordult elő, a gyakoriság növekedés 16%. 35°C feletti csúshőmérséklet 20 napon fordult elő, a gyakoriság növekedés 300%. Az időszak átlagos napi középhőmérséklete 10,1°C volt, a változás +0,5°C. Az átlagos napi minimumhőmérséklet 5,4°C volt, a változás +0,7°C. Az átlagos napi maximumhőmérséklet 14,7°C volt, ennek változása +0,1°C. Az Huglin-féle heliotermikus index átlagos értéke 1921°C volt (kategória: HI –1, „mérsékelt”), a változás +72°C. A hűvös éjszaka index átlagos értéke 10,4°C volt (kategória: CI +2, „nagyon hűvös éjszakák”), a változás +0,6°C.

A bemutatott diagramokon Huglin index esetén a kék, zöld, sárga, okker és narancs hátterek rendre HI –3, HI –2, HI – 1, HI +1 és HI +2 kategóriákat jelölnek. Hűvös éjszaka index esetén a kék, zöld és sárga hátterek rendre CI +2, CI +1 és CI –1 kategóriákat jelölnek.



3.1. ábra: HI [°C] értékek (1961 – 2010) a (47,88°; 20,39°) pontra az E-OBS adatbázis alapján

Az 1961 – 2010 időszakban a HI minimuma 1443°C (minőségi szőlőtermesztésre elméletileg alkalmatlan) volt (1978-ban), maximuma 2253°C (HI +1, „meleg mérsékelt”) volt (2009-ben). Bár az évek közötti változékonyság jelentős, az indexérték egyértelműen növekvő tendenciát mutat (3.1. ábra). A trendegyüttható értéke 2,1.



3.2. ábra: CI [°C] értékek (1961 – 2010) a (47,88°; 20,39°) pontra az E-OBS adatbázis alapján

A hűvös éjszaka index minimuma 7,5°C (CI +2, „nagyon hűvös éjszakák”) volt (1972-ben), maximuma 13,7°C (CI –1, „hideg éjszakák”) volt (1994-ben). Ez az indexérték is növekvő tendenciát mutat (3.2. ábra), a trendegyüttható értéke 0,02.

A PRECIS modelleredményeiből származó értékeket az Egri borvidéket reprezentáló (47,88°; 20,39°) pontra interpoláltuk a 2.5. fejezetben ismertetett módon. A PRECIS regionális modell területi felbontása 25 km, ezért e kis térségen nem képes kellő pontossággal leírni az extrém alacsony hőmérsékletek előfordulását.

A PRECIS eredményei alapján az 1961 – 1990 időszakban a –1°C alatti minimumhőmérsékletek előfordulása március 1-től szeptember 30-ig 387 (évente átlagosan 13), amely az E-OBS adatokhoz képest 27%-os alulbecslés. A –1°C alatti minimumhőmérsékletek előfordulása március 15-től szeptember 30-ig 211 (évente átlagosan 7), ez 21%-kal becsli alul az E-OBS adatokat. A –1°C alatti minimumhőmérsékletek előfordulása április 1-től szeptember 30-ig 53 (évente átlagosan 2), 42%-os az alulbecslés. A 30°C feletti maximumhőmérsékletek száma 367 (évente átlagosan 12), amely 23%-os alulbecslés az E-OBS adatokhoz képest. A 35°C feletti maximumhőmérsékletek száma 8, a felülbecslés 60%. Az átlagos napi középhőmérséklet 10,0°C, a felülbecslés 0,4°C. Az átlagos napi minimumhőmérséklet 5,2°C, a felülbecslés 0,5°C. Az átlagos napi maximumhőmérséklet 14,6°C, ez megegyezik az E-OBS adatokkal. Az Huglin index értéke 1867°C (HI –1, „mérsékelt”), ez 18°C-os (kevesebb, mint 1%-os) felülbecslése az E-OBS adatokból származtatott értéknek. A hűvös éjszaka index értéke 10,0°C, ez 0,2°C-kal magasabb az E-OBS adatbázisból származó értéknél. Az E-OBS és a PRECIS adatbázisokból kapott értékeket az 1981 – 2010 időszakra a 3.2. táblázat hasonlítja össze.

3.2. táblázat: Az 1961 – 1990 időszakbeli E-OBS és PRECIS adatok alapján kapott mutatók összehasonlítása, az eltérés oszlopban a modell felülbecslése látható az E-OBS adatokhoz képest.

Vizsgált paraméter	E-OBS 1961 – 1990	PRECIS 1961 – 1990	A modell abszolút felülbecslése	A modell rel. felülbecslése [%]
T < –21°C	6	0	–6	–100
T < –17°C	54	0	–54	–100
T < –1°C (03 01 – 09 30)	531	387	–144	–27
T < –1°C (03 15 – 09 30)	266	211	–55	–21
T < –1°C (04 01 – 09 30)	92	53	–39	–42
T > 30°C	479	367	–112	–23
T > 35°C	5	8	+3	+60
középhőmérséklet [°C]	9,6	10,0	+0,4	
min. hőmérséklet [°C]	4,7	5,2	+0,5	
max. hőmérséklet [°C]	14,6	14,6	0	
HI [°C]	1849	1867	+18	+1
CI [°C]	9,8	10,0	+0,2	

Az 1981 – 2010 időszakra a PRECIS adatok alapján a -1°C alatti minimumhőmérsékletek előfordulása március 1-től szeptember 30-ig 358 (évente átlagosan 12), az E-OBS adatok 21%-os alulbecslése. -1°C alatti minimumhőmérsékletek előfordulása március 15-től szeptember 30-ig 192 (évente átlagosan 6), 18% az alulbecslés. -1°C alatti minimumhőmérsékletek előfordulása április 1-től szeptember 30-ig 51 (évente átlagosan 2), itt 24%-os az alulbecslés. A 30°C feletti hőmérsékletek száma 594 (évente átlagosan 20), a felülbecslés 6%-os. A 35°C feletti hőmérsékletek száma 49, ez 145%-kal becsli felül az E-OBS adatokat. Az Huglin index értéke 1997°C , ez 76°C -os (4%-os) felülbecslés az E-OBS adatokhoz képest. A hűvös éjszaka index értéke $10,4^{\circ}\text{C}$, ez megegyezik az E-OBS adatbázisból származó értékkel. Az E-OBS és a PRECIS adatbázisokból kapott értékeket az 1981 – 2010 időszakra a 3.3. táblázat hasonlítja össze.

3.3. táblázat: Az 1981 – 2010 időszakbeli E-OBS és PRECIS adatok alapján kapott mutatók összehasonlítása, az eltérés oszlopban a modell felülbecslése látható az E-OBS adatokhoz képest.

Vizsgált paraméter	E-OBS 1981 – 2010	PRECIS 1981 – 2010	A modell abszolút felülbecslése	A modell rel. felülbecslése [%]
$T < -21^{\circ}\text{C}$	5	0	-5	-100
$T < -17^{\circ}\text{C}$	28	0	-28	-100
$T < -1^{\circ}\text{C}$ (03 01 – 09 30)	454	358	-96	-21
$T < -1^{\circ}\text{C}$ (03 15 – 09 30)	234	192	-42	-18
$T < -1^{\circ}\text{C}$ (04 01 – 09 30)	67	51	-16	-24
$T > 30^{\circ}\text{C}$	558	594	-36	+6
$T > 35^{\circ}\text{C}$	20	49	+29	+145
középhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	10,1	10,5	+0,4	
min. hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	5,4	5,7	+0,3	
max. hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	14,7	15,2	+0,5	
HI [$^{\circ}\text{C}$]	1921	1997	+76	+4
CI [$^{\circ}\text{C}$]	10,4	10,4	0	

3.2. A 2005 – 2012 időszak

Ezen időszakot az ültetvényi állomásokon mért adatok és az E-OBS rendszer adatsorai segítségével vizsgáltam.

Az Egri borvidék szőlőterületeire jellemző mikroklimatikus viszonyokról a BOREAS állomások adatai adnak képet. A 3.4. táblázat a napi középhőmérséklet, a 3.5. táblázat a napi minimumhőmérséklet, a 3.6. táblázat pedig a napi maximumhőmérséklet éves átlagait mutatja be az egyes állomásokra 2005-től 2012-ig. Az adathiányos éveket a piros cellák jelölik. Összehasonlításuképpen mindhárom táblázat utolsó oszlopában az E-OBS rácsponti értékekből az állomások súlypontjára, az Egri borvidéket reprezentáló (47,88°; 20,39°) pontra számított átlagérték található.

A 128 állomás-évjárat párosításból adathiány miatt 50 esetben (39%) nem lehetett közép-, minimum- és maximumhőmérsékleteket számítani. A maradék 78 esetből középhőmérsékleteknél 6 esetben, minimumhőmérsékleteknél 12 esetben, maximumhőmérsékleteknél 13 esetben találjuk azt, hogy az állomáson mért érték alacsonyabb, mint az E-OBS adatbázisbeli. Az E-OBS adatok szerint a legmelegebb év 2007 volt 11,3°C középhőmérséklettel, a leghűvösebb pedig 2006, 9,5°C középhőmérséklettel. A BOREAS állomási mérések szerint az abszolút legmelegebb év Síkhegyen volt 2007-ben, 12,7°C középhőmérsékleti értékkel, a leghűvösebb pedig Feldebrőn, 2006-ban, 9,9°C középhőmérséklettel. A minimumhőmérsékletek legalacsonyabb átlagértékét, 5,2°C-ot Feldebrőn és Novajon mérték 2008-ban, míg a legmagasabbat, 9,2°C-ot Nagy-Eged-hegy felsőn, 2012-ben. A maximumhőmérséklet legalacsonyabb átlagértéke 13,8°C volt Csókáson, 2010-ben, míg a legmagasabb 17,7°C Feldebrőn, 2012-ben.

3.4. táblázat: A napi középhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$] éves átlagai a BOREAS állomásokra.

év	Kőlyuk-tető	Nagy-Eged-hegy alsó	Nagy-Eged-hegy felső	Nagy-galagonyás	Síkhegy	Tóbérc	Feldebrő	Verpelét	Egerszalók	Demjén	Szomolya	Noszvaj	Novaj	Ostoros	Mész-hegy	Csókás	E-OBS (47,88°; 20,39°)
2005	10,1	10,5	11,1	10,6													9,5
2006	10,5	10,9	10,5	11,1	11,6		9,9	10,2	10,2		10,8		10,1				10,1
2007		10,5	11,0	12,2	12,7		11,1	11,5	11,6		12,1	11,2	11,4	11,9	11,9	11,9	11,3
2008	11,4	11,8	12,4	11,9				11,1	11,3		11,6	10,9	11,0	11,6	11,6	11,6	11,0
2009	11,4	11,1	12,4		12,3							10,9	11,1	11,7	11,5	11,6	10,9
2010	10,2	10,7	11,2		11,2	10,0						10,2		10,3	10,5	10,4	10,1
2011	11,1	11,5	12,1		12,2	10,7	11,7			10,9	11,6	11,2	10,8	11,0	11,5	11,3	10,7
2012	11,4		12,5		12,6	11,3	12,2			11,4	12,1	11,6	11,4	11,6	12,1	11,8	10,8

3.5. táblázat: A napi minimumhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$] éves átlagai a BOREAS állomásokra.

év	Kőlyuk-tető	Nagy-Eged-hegy alsó	Nagy-Eged-hegy felső	Nagy-galagonyás	Síkhegy	Tóbérc	Feldebrő	Verpelét	Egerszalók	Demjén	Szomolya	Noszvaj	Novaj	Ostoros	Mész-hegy	Csókás	E-OBS (47,88°; 20,39°)
2005	5,7	6,7	7,7	6,5													5,1
2006	6,2	6,2	7,3	7,1	8,0		5,2	6,2	5,3		7,2		5,2				5,5
2007		6,7	7,8	7,8	8,7		5,9	7,0	6,2		8,1	6,7	5,9	6,5	7,0	8,0	6,2
2008	6,7	7,8	9,1	7,7				6,8	6,0		7,7	6,6	5,8	6,5	6,9	7,9	6,2
2009	7,0	7,4	9,1		8,8							6,9	6,2	6,8	7,2	8,1	6,0
2010	6,3	7,2	8,3		8,0	6,1						6,3		5,9	6,5	7,2	6,1
2011	6,5	7,6	8,9		8,5	6,2	6,3			5,4	7,6	6,7	5,3	6,0	7,0	7,7	6,0
2012	6,3		9,2		8,9	6,7	6,7			5,4	7,8	6,8	5,4	6,3	7,4	8,1	6,0

3.6. táblázat: A napi maximumhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$] éves átlagai a BOREAS állomásokra.

év	Kőlyuk-tető	Nagy-Eged-hegy alsó	Nagy-Eged-hegy felső	Nagy-galagonyás	Síkhegy	Tóbérc	Feldebrő	Verpelét	Egerszalók	Demjén	Szomolya	Noszvaj	Novaj	Ostoros	Mész-hegy	Csókás	E-OBS (47,88°; 20,39°)
2005	15,1	14,9	15,2	15,4													14,3
2006	15,4	15,3	14,6	15,7	15,9		15,1	15,1	15,8		15,2		15,3				15,0
2007		14,7	14,9	17,1	17,1		16,6	16,6	17,6		16,7	16,0	16,8	17,9	17,1	16,5	16,6
2008	16,5	16,3	16,5	16,8				16,3	17,1		16,3	15,7	16,3	17,4	16,8	16,2	16,1
2009	15,9	15,0	15,9		16,1							15,0	15,9	16,8	16,0	15,5	16,0
2010	14,3	14,4	14,4		14,6	14,4						14,2		15,1	14,5	13,8	14,2
2011	15,9	15,7	15,7		16,1	15,6	17,1			16,3	15,9	16,0	16,1	16,6	16,0	15,3	15,5
2012	16,6		16,2		16,6	16,4	17,7			17,0	16,6	16,6	16,8	17,4	16,5	15,7	15,6

3.7. táblázat: HI értékek a BOREAS állomásokra.

év	Kőlyuk-tető	Nagy-Eged-hegy alsó	Nagy-Eged-hegy felső	Nagy-galagonyás	Síkhegy	Tóbérc	Feldebrő	Verpelét	Egerszalók	Demjén	Szomolya	Noszvaj	Novaj	Ostoros	Mész-hegy	Csókás	ÁTLAG	E-OBS (47,88°; 20,39°)
2005	1932	1896	1981	1987	1917	1910	1846	1829	1911	1849	1884	1764	1858	1821	1938	1819	1891	1851
2006	1970	1959	1953	2045	2091	1950	1896	1916	2056	2020	1968	1851	1922	1831	2007	1896	1961	1954
2007	2250	2206	2226	2281	2338	2227	2198	2162	2341	2293	2231	2088	2159	2383	2361	2250	2235	2198
2008	1988	1980	2041	2046	2044	2011	2085	1907	2068	2183	1953	1832	1911	2120	2090	1981	2015	1946
2009	2235	2229	2286	2287	2335	2344	2354	2221	2279	2317	2216	2080	2139	2374	2347	2257	2253	2253
2010	1819	1856	1847	1952	1878	1883	2086	1899	1945	1959	1900	1862	1858	1919	1898	1792	1904	1852
2011	2242	2265	2245	2345	2299	2241	2509	2311	2341	2356	2332	2300	2316	2325	2331	2200	2292	2157
2012	2390	2362	2326	2441	2365	2363	2600	2464	2437	2444	2457	2386	2431	2425	2429	2270	2388	2261
ÁTL.	2103	2094	2113	2173	2158	2116	2197	2089	2172	2178	2118	2020	2074	2150	2175	2058	2117	2059

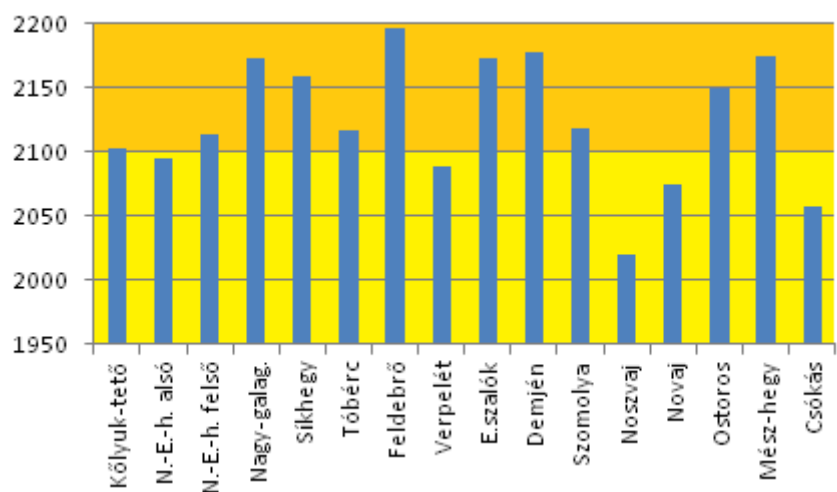
3.8. táblázat: CI értékek a BOREAS állomásokra.

év	Kőlyuk-tető	Nagy-Eged-hegy alsó	Nagy-Eged-hegy felső	Nagy-galagonyás	Síkhegy	Tóbérc	Feldebrő	Verpelét	Egerszalók	Demjén	Szomolya	Noszvaj	Novaj	Ostoros	Mész-hegy	Csókás	ÁTLAG	E-OBS (47,88°; 20,39°)
2005	11,9	12,9	14,6	12,9	13,8	12,5	11,2	12,0	11,6	12,0	13,0	11,9	11,1	11,5	12,4	13,5	12,4	11,6
2006	11,8	12,9	15,3	13,0	14,3	12,6	10,6	11,7	10,9	11,4	13,5	12,0	10,7	11,5	12,4	14,0	12,4	11,0
2007	8,8	10,0	11,4	9,9	11,1	9,1	7,7	9,0	8,4	8,3	10,4	8,6	8,0	8,5	8,9	10,7	9,3	8,3
2008	10,3	11,4	12,6	11,0	12,3	10,2	10,1	10,4	9,9	9,8	11,4	10,2	9,7	10,3	10,5	11,4	10,7	9,8
2009	12,4	13,9	15,9	14,0	15,4	12,7	12,0	13,0	11,6	12,5	14,7	13,6	12,2	12,8	14,0	15,0	13,5	11,5
2010	10,5	10,8	12,1	11,4	12,0	10,5	11,0	10,9	10,7	10,5	11,5	10,6	10,2	10,1	10,9	11,5	11,0	10,5
2011	12,9	14,6	16,4	14,3	15,6	13,6	12,9	13,8	12,9	12,2	14,9	13,6	11,8	12,6	14,1	15,5	13,9	12,4
2012	12,7	14,0	15,7	14,0	15,2	13,4	13,2	14,0	12,6	11,8	14,1	13,1	11,8	12,6	13,7	14,9	13,6	12,6
ÁTL.	11,4	12,6	14,2	12,6	13,7	11,8	11,1	11,8	11,1	11,1	12,9	11,7	10,7	11,2	12,1	13,3	12,1	11,0

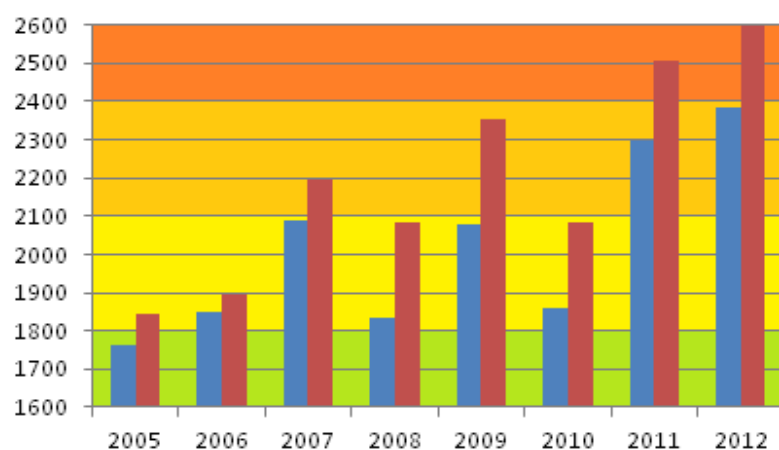
Az egyes ültetvényi állomásokra vonatkozó Huglin indexeket a 3.7. táblázat, a hűvös éjszaka indexeket a 3.8. táblázat mutatja be. A 8 évjáratban a 16 állomásra adathiány miatt összesen 31 esetben (24%) nem lehetett HI értéket, és 14 esetben (9%) nem lehetett CI értéket számítani. A hiányzó adatok (piros háttér) pótlása a 2.5. fejezetben leírt módon történt a mért adatokból kapott (fehér háttérű) értékekből. Az alacsonyabb HI értékeket 2004-re, 2005-re és 2010-re kaptam, a magasabbakat pedig 2009-re, 2011-re és 2012-re. A legalacsonyabb HI érték 1764°C (HI –2, „hideg”, Noszvaj, 2005), a legmagasabb pedig 2600°C (HI +2, „meleg”, Feldebrő, 2012). A legalacsonyabb CI érték 7,7°C (CI +2, „nagyon hűvös éjszakák”, Feldebrő, 2007), míg a legmagasabb 16,4°C adódott (CI –1, „mérsékelt éjszakák”, Nagy-Eged-hegy felső, 2011).

A 8 év átlagában a legmagasabb HI értéket mutató állomás Feldebrő volt 2187°C értékkel (HI +1, „meleg mérsékelt”), a legalacsonyabb átlagértéke Noszvajnak volt, 2020°C értékkel (HI –1, „mérsékelt”). Az egyes állomásokhoz tartozó átlagos értékeket a 3.3. *ábra* szemlélteti. A HI szempontjából „leghűvösebbnek” és „legmelegebbnek” tekinthető két állomás értékeinek alakulása az egyes években a 3.4. *ábrán* látható. Az abszolút legmagasabb HI érték Feldebrőé volt, 2600°C (HI +2, „meleg”) a 2012-es évben. Az abszolút legalacsonyabb HI érték Noszvajé volt, 1764°C (HI –2, „hideg”) a 2005-ös évben. Az állomások átlagában a legmagasabb HI érték 2012-ben volt, 2388°C (HI +1, meleg mérsékelt”), míg a legalacsonyabb HI érték 2005-ben volt, 1891°C (HI –1, „mérsékelt”). Az évjáratok átlagos HI értékeit a 3.5. *ábra* mutatja be.

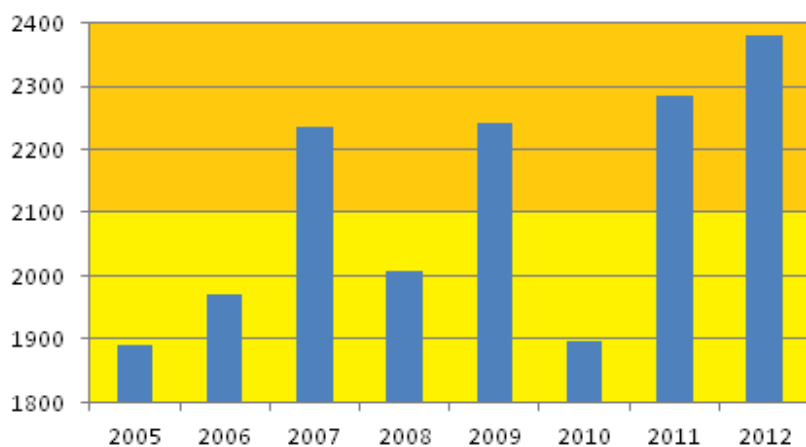
Az állomások átlagos CI értékeit a 3.6. *ábra* szemlélteti. A legmagasabb átlagos CI érték Nagy-Eged-hegy felsőhöz tartozik, 14,2°C (CI –1, „mérsékelt éjszakák”), míg a legalacsonyabb Novajhoz, 10,7°C (CI +2, „nagyon hűvös éjszakák”). A szeptemberi éjszakákon leghűvösebbnek és legmelegebbnek bizonyult két állomás értékeinek alakulása az egyes években a 3.7. *ábrán* látható. Az állomások átlagában a hűvös éjszaka index 2011-ben volt a legmagasabb, 13,9°C értékkel (CI +1, „hűvös éjszakák”), és 2007-ben a legalacsonyabb, 9,3°C (CI +2, „nagyon hűvös éjszakák”). Az évjáratok CI értékének alakulását a 3.8. *ábra* mutatja be.



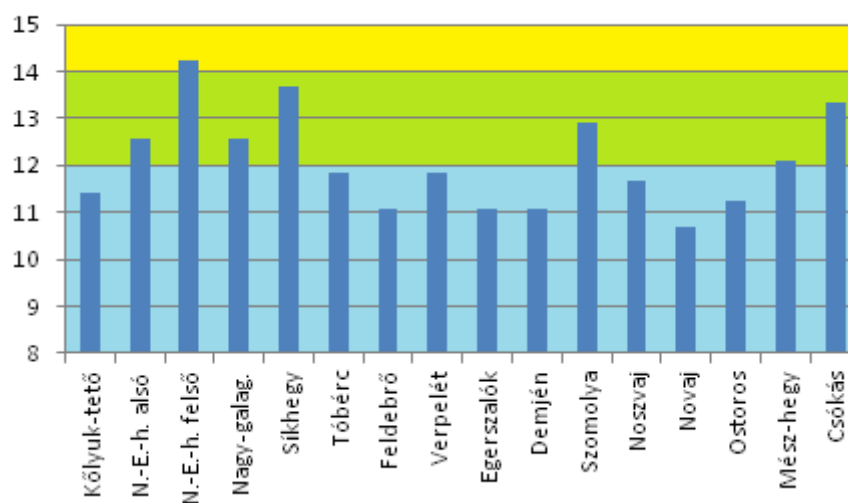
3.3. ábra: Az egyes állomások HI [°C] értékei a 8 év átlagában.



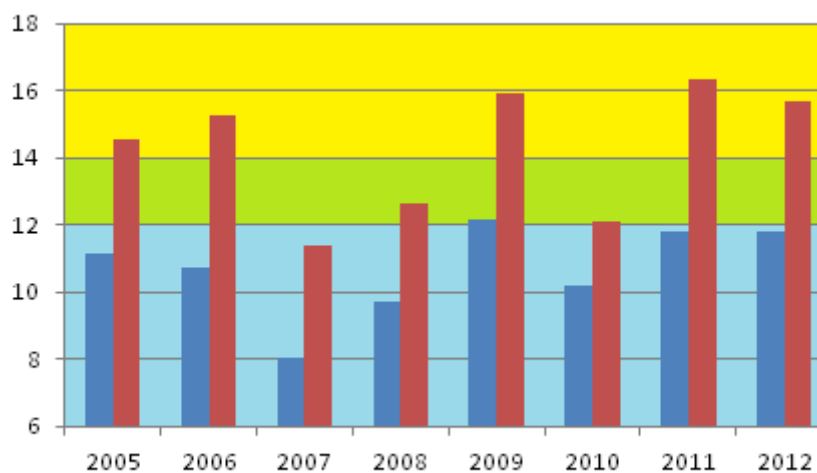
3.4. ábra: Noszvaj (kék) és Feldebrő (piros) HI [°C] értékei az egyes években.



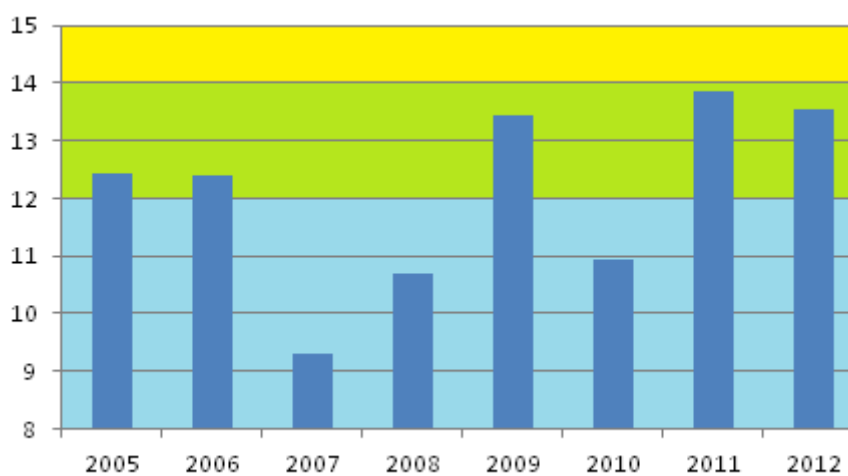
3.5. ábra: Az egyes évek átlagos HI [°C] értékei a BOREAS állomásokon.



3.6. ábra: Az egyes állomások CI [°C] értékei a 8 év átlagában.



3.7. ábra: Noszvaj (kék) és Nagy-Eged-hegy felső (piros) CI [°C] értékei az egyes években



3.8. ábra: Az egyes évek átlagos CI [°C] értékei a BOREAS állomásokon.

3.9. táblázat: HI és CI értékek az egyes BOREAS állomásokra, az E-OBS rácspontokra, és a két adatbázis szerinti átlagolt, illetve interpolált érték az állomások súlypontjára. Az állomás vagy rácspont szélességi koordinátáját ϕ , hosszúsági koordinátáját λ jelöli.

BOREAS	ϕ [°]	λ [°]	HI [°C]	CI [°C]
Kőlyuktető	47,86	20,38	2103	11,4
Nagyeged alsó	47,92	20,43	2094	12,8
Nagyeged felső	47,93	20,43	2113	14,2
Nagygalagonyás	47,86	20,36	2173	12,8
Síkhegy	47,89	20,43	2158	13,7
Tóbérc	47,88	20,28	2116	11,8
Feldebrő	47,82	20,25	2197	11,1
Verpelét	47,83	20,24	2089	11,8
Egerszalók	47,86	20,31	2172	11,1
Demjén	47,85	20,35	2178	11,1
Szomolya	47,88	20,48	2118	12,9
Noszvaj	47,91	20,49	2020	11,7
Novaj	47,87	20,48	2074	10,7
Ostoros	47,89	20,43	2150	11,2
Mészhegy dűlő	47,91	20,44	2175	12,1
Csókás	47,94	20,48	2058	13,3
SÚLYPONT	47,88	20,39	2124	12,1

E-OBS	ϕ [°]	λ [°]	HI [°C]	CI [°C]
-	47,88	20,38	2043	10,9
-	48,13	20,38	1814	9,9
-	47,88	20,63	2088	11,1
-	48,13	20,63	1837	10,1
INTERPOLÁCIÓS PONT	47,88	20,39	2025	10,8

A 3.9. táblázat a 2005-2012 időszak átlagos HI és CI értékeit mutatja be az egyes BOREAS állomásokra, az állomások súlypontjára (mint a szőlőtermő területeket reprezentáló fiktív állomásra), a 4 E-OBS rácspontra, és végül az állomások súlypontjának (47,88°; 20,39°) koordinátáira, a 2.5. fejezetben leírt módon interpolálva. Megállapítható, hogy területi átlagban a BOREAS és E-OBS adatbázisbeli értékek közt jelentős különbség van, előbbi javára. A BOREAS állomások 8 évi adata alapján a szőlőtermő területeken a HI értékek átlaga 2124°C (HI +1, „meleg mérsékelt”), a CI értékek átlaga 12,1°C (CI +1, „hűvös éjszakák”). Az E-OBS adatok alapján a területre általánosan jellemző HI érték 2024°C (HI –1, „mérsékelt”), CI érték pedig 10,8°C (CI +2, „nagyon hűvös éjszakák”). A rendelkezésre álló adatok szerint tehát a 2005 – 2012 időszak átlagában az Eger környéki szőlőtermő területek lokális HI értékei 101°C-kal, CI értékei pedig 1,3°C-kal magasabbak az ország e területére általánosan jellemző értékeknél.

A szőlőterületeken uralkodó hőmérsékletek rendszerint magasabbak a tágabb környezetükénél. Az Huglin index és a hűvös éjszaka index akár jóval magasabb is lehet a vártnál. Megállapíthatjuk, hogy a vizsgált 8 év alapján a szőlőtermő területek mind Huglin index, mind hűvös éjszaka index szerint tágabb környezetüknél egy kategóriával magasabba tartoznak. A heliotermikus index értéke szempontjából, Huglin és Schneider eredményeit (*Huglin és Schneider, 1986*) figyelembe véve, a terület ideális *grenache*, *syrah* és *cinsault* szőlőfajták termesztésére. A HI értéke területi és időbeli átlagban bőségesen elegendő a borvidéken többek közt termesztett *Müller-Thurgau*, *portugieser*, *pinot blanc*, *pinot gris*, *tramini*, *riesling*, *chardonnay*, *sauvignon blanc*, *pinot noir*, *zöld veltelini*, *cabernet franc*, *cabernet sauvignon*, *merlot* és *olasz rizling* fajták számára. Lényeges, hogy ez csak átlagosan mondható el, mivel 2005-ben Noszvajon az előbbieket közül a *cabernet franc*, *cabernet sauvignon*, *merlot* és *olasz rizling* fajták teljeséréséhez elméletileg már nem volt elegendő a HI értéke. 2012-ben, Feldebrőn viszont akár egészen későiérésű fajták teljeséréséhez is elegendő volt a HI értéke. A 2.1. fejezetben említett Eger – Burgundia párhuzamból kiindulva, a két burgundi szőlőfajta, a *chardonnay* és a *pinot noir* termesztetőségét vizsgálva, megállapíthatjuk, hogy a 8 év átlagában a HI értéke mindegyik állomáson meghaladja a kritikus 1700°C-ot. A vizsgált évek közül Noszvajon 2005-ben és 2006-ban, illetve a Csókáson 2010-ben bizonyult kevésnek a HI értéke a két burgundi fajta termesztéséhez. A magasabb CI értékek egyelőre nem veszélyeztetik a minőségi vörösbortermelést, ebből a szempontból a borvidék ideálisnak tekinthető.

3.3. A 2021 – 2050 és 2069 – 2098 időszakok

A 2021 – 2050 és 2069 – 2098 időszakokat a PRECIS modelleredmények segítségével vizsgáltam. Az alkalmazott küszöb- és indexértékek alakulását a 3.10. táblázat mutatja be a fenti két harmincéves időszak anomáliaértékeire vonatkozóan. Az extrém alacsony hőmérsékletek vizsgálata nem volt lehetséges a PRECIS segítségével.

A PRECIS eredmények alapján 2021-től 2050-ig -1°C alatti hőmérsékletet március 1. és szeptember 30. között 190 (évente átlagosan 6) alkalommal mérhetünk, ez az 1961-1990 referencia időszak E-OBS adatbázis szerinti értékének 36%-a. Március 15. és szeptember 30. között a mutató értéke 71 (évente átlagosan 2), a referencia időszak 27%-a. Április 1. és szeptember 30. között pedig várhatóan a 30 év alatt 5 alkalommal fordul majd elő -1°C alatti hőmérséklet. A 30°C feletti maximumhőmérsékletű napok száma várhatóan 1419-re (évente átlagosan 47-re) emelkedik, ez 196%-os növekedés a referencia időszak E-OBS

adataihoz képest. A 35°C feletti hőmérsékleti értékek előfordulása a referencia időszakhoz képest várhatóan 5-ről 336-ra (évente átlagosan 11-re) nő. A középhőmérséklet 12,6°C-nak várható, ez 3,0°C-os növekedést jelent. A minimumhőmérséklet várható értéke 7,8°C, amely 3,1°C-kal múlja felül a referencia időszak értékét. A maximumhőmérséklet várhatóan 17,3°C lesz, a növekedés 3,3°C. A HI 2460°C-os átlagos értékével a terület már az évszázad közepére a „meleg” HI +2 kategóriába kerül, a várható növekedés itt 611°C. A CI várható értéke 12,8°C (kategória: „hűvös éjszakák” CI +1), a növekedés 3,0°C.

A –1°C alatti hőmérsékletek 30 éves előfordulása 2098-ra várhatóan 88 (évente átlagosan 3), az 1990-es érték 17%-a lesz március 1. és október 1. között vizsgálva. Ugyanez a mutató március 15. és október 1. között várhatóan 26 (évente átlagosan 1), az 1990-es érték 10%-a lesz, míg a 21. század végére április 1. után már gyakorlatilag nem kell a szőlő zöld részeit károsító mértékű fagytól tartani. A 21. század végére a hőségnapok száma várhatóan a referencia időszak értékének 484%-a lesz, 2318 nap (évente átlagosan 77 nap), míg a forró napok drasztikusan, 5-ről 888-ra (évente átlagosan 30 napra) nő. A középhőmérsékletek 14,7°C-ra (5,1°C-kal), a minimum hőmérsékletek 9,8°C-ra (5,1°C-kal), a maximumhőmérsékletek pedig 19,6°C-ra (5,0°C-kal) növekednek a PRECIS modell szerint. A HI értéke a 21. század végére várhatóan 2919°C-ra (1070°C-kal) növekszik, ezzel a „mérsékelt” HI –1 kategóriából a „meleg” HI +2 kategóriába kerül. A CI értékében 5,7°C-os növekedés várható, amely így 15,5°C-kal a „nagyon hűvös éjszakák” CI +2 kategóriájából a „mérsékelt éjszakák” CI –1 kategóriájába lép át.

3.10. táblázat: a PRECIS modelleredményei alapján számított mutatók

Vizsgált paraméter	2021 – 2050	2069 – 2098
T < –21°C	0	0
T < –17°C	0	0
T < –1°C (03 01 – 09 30)	190	88
T < –1°C (03 15 – 09 30)	71	26
T < –1°C (04 01 – 09 30)	5	1
T > 30°C	1419	2318
T > 35°C	336	888
középhőmérséklet [°C]	12,6	14,7
min. hőmérséklet [°C]	7,8	9,8
max. hőmérséklet [°C]	17,3	19,6
HI [°C]	2460	2919
CI [°C]	12,8	15,5

Korábban láttuk, hogy a 2005 – 2012 időszak átlagában az Eger környéki szőlőtermő területek lokális HI értékei 101°C-kal, CI értékei pedig 1,3°C-kal magasabbak az ország e területére általánosan jellemző értékeknél. Azt is láttuk, hogy az 1981-2010 időszakban a PRECIS modell a HI értékeket átlagosan 76°C-kal becsülte felül, a CI értékekre nézve pedig pontos volt. Egyszerű delta-módszerrel számolva tehát a szőlőterületeken az átlagos HI érték 25°C-kal, az átlagos CI érték 1,3°C-kal várható magasabbnak, mint amit a PRECIS eredményeiből kaptunk. A szőlőterületeken a 2021 – 2050 és 2069 – 2098 időszakokra ténylegesen várható HI és CI értékeket a 3.11. táblázat szemlélteti.

3.11. táblázat: A 21. század közepére és végére várható HI és CI értékek a PRECIS eredmények állomási és E-OBS adatokkal történt delta-korrektúrája alapján

	2021 – 2050	2069 – 2098
HI [°C]	2485	2944
CI [°C]	14,1	16,8

A 21. században csökkennek a kora tavaszi, szőlőre veszélyesen alacsony hőmérsékletek. Viszont a magasabb középhőmérsékletek miatt a vegetációs időszak is korábban kezdődik, ezért nem egyértelmű, hogy a tavaszi fagykarak száma alacsonyabb lesz. A 21. század végére jelentősen megnő a hőstressz kockázata. Az évente több mint két hónapon át tartó 30°C feletti maximumhőmérsékletek a savak gyorsabb lebomlását és a cukor lassúbb gyűjtését fogják eredményezni. Az évente egy hónapon keresztül előforduló 35°C feletti maximumok pedig már a növényt is károsíthatják. Az Huglin index értékének drasztikus növekedése miatt a borvidék egyes területei akár a „nagyon meleg” HI +3 kategóriába is kerülhetnek, amely ma a szubtrópusi, trópusi szőlőtermő területekre jellemző. Ez lehetővé teszi új szőlőfajták eredményes termesztését (gyakorlatilag nem lesz már olyan szőlőfajta, amelynek teljes beérésében ne lehetnének biztosak), viszont megnehezíti vagy lehetetlenné teszi más, jelenleg termesztett szőlőfajták minőségi borkészítés céljából történő termesztését. A hűvös éjszaka index növekedésével a borvidék a „mérsékelt éjszakák” CI –1 kategóriájába kerül, így az antocianinok termelődésének feltételei romlanak, de még elegendőek lesznek a minőségi bortermeléshez.

4. Összefoglalás

Dolgozatomban bemutattam a szőlőtermesztés szempontjából kritikus hőmérsékleti küszöbértékek, átlagértékek és két bioklimatikus index, az Huglin-féle heliothermikus index és a hűvös éjszaka index értékeinek 1960 és 2098 közti alakulását az Egri borvidéken.

A klíma változása már a múltbeli értékek esetében is szembetűnő. Az 1961 – 1990 és 1981 – 2010 időszakokat E-OBS adatok alapján összehasonlítva a kritikusan alacsony hőmérsékletek előfordulása csökkent. A szőlő zöld részeit veszélyeztető mértékű fagyok március 1. utáni előfordulása jelentősen, március 15. és április 1. utáni előfordulása kisebb mértékben csökkent. A hőségnapok és a forró napok száma jelentősen növekedett. A középhőmérséklet 9,6°C-ról 10,1°C-ra növekedett 20 év alatt, az átlagos minimumhőmérsékletek nagyobb mértékben, az átlagos maximumhőmérsékletek kisebb mértékben növekedtek. Az Huglin index értéke 72°C-kal nőtt, mindkét időszakban a HI –1, „mérsékelt” kategóriába tartozott. A hűvös éjszaka index értéke 0,6°C-kal nőtt, mindkét időszakban a CI +2, „nagyon hűvös éjszakák” kategóriába tartozott.

Az E-OBS és PRECIS idősorok összehasonlító értékelése során azt kapjuk, hogy a PRECIS modell a vizsgált területre nem képes leírni az extrém alacsony hőmérsékletek előfordulását, alulbecsli a –1°C alatti hőmérsékletek tavaszi előfordulásait, alulbecsli a hőségnapok számát, felülbecsli a forró napok számát, és enyhén felülbecsli az átlagos közép-, minimum- és maximumhőmérsékletek értékeit.

16 ültetvényi meteorológiai állomás mérési adatai alapján bemutattam a hőmérsékleti átlagértékek és a heliothermikus, illetve hűvös éjszaka indexek értékeinek alakulását a szőlőtermő területeken. A 2005 – 2012 időszakban az ültetvényi állomásokon mért közép-, minimum- és maximumhőmérsékleti értékek az esetek többségében a környező területekre jellemző értékeknél magasabbak voltak. Az „átlagos” szőlőterület Huglin indexértéke 2124°C, szemben a környező területek 2025°C átlagos értékével; hűvös éjszaka indexértéke pedig 12,1°C, szemben a környező területekre kapott 10,8°C átlagértékkel. Az egyes évjáratok közt jelentős változékonyság figyelhető meg, de a heliothermikus index értéke területi és időbeli átlagban bőségesen elegendő a *Müller–Thurgau*, *portugieser*, *pinot blanc*, *pinot gris*, *tramini*, *riesling*, *chardonnay*, *sauvignon blanc*, *pinot noir*, *zöld veltelini*, *cabernet franc*, *cabernet sauvignon*, *merlot* és *olasz rizling* fajták termesztéséhez.

A PRECIS regionális modell a 21. században a tavaszi, a szőlőre veszélyesen alacsony hőmérsékletek előfordulásának jelentős csökkenését prognosztizálja. A modelleredmények szerint a 21. század második felére április 1. után gyakorlatilag már nem kell fagykártól tartanunk. A középhőmérséklet értéke a 21. század közepére 12,6°C-nak, a század végére 14,7°C-nak várható. Az átlagos minimum- és maximumhőmérsékleti értékekben is hasonló, az 1961 – 1990 referencia időszak értékeihez képest mintegy 5°C-os növekedés figyelhető meg. Várhatóan jelentős mértékben növekszik a hőségnapok és a forró napok előfordulásának gyakorisága. A hőmérsékleti értékek emelkedése az Huglin index és a hűvös éjszaka index értékeinek drasztikus emelkedést is jelenti. A szőlőtermő területek hőmérsékleti anomáliáit figyelembe véve a 21. század közepére az „átlagos” szőlőültetvényen a heliothermikus index értéke várhatóan 2485°C lesz, amely a HI +2, „meleg” kategóriának felel meg, a hűvös éjszaka index értéke pedig 14,1°C-nak várható, amely a CI –1, „mérsékelt éjszakák” kategóriába tartozik. A 21. század végére a heliothermikus index prognosztizált értéke 2944°C (továbbra is HI +2 kategória), a hűvös éjszaka index értékére pedig 16,8°C (továbbra is CI –1 kategória) várható.

A 21. században várhatóan csökken a szőlő zöld részeit károsító mértékű tavaszi fagyok száma, növekszik a hőstressz kockázata. Biztosabbak lehetünk a magasabb hőösszeg-igényű fajták teljes beérésében, viszont egyes ma termesztett fajták esetében a minőségi bortermelés várhatóan nehézségekbe fog ütközni. Az érési időszak éjszakai hőmérsékletei ugyan várhatóan jelentősen emelkednek, de még így is lehetővé teszik a kékszőlő fajták színanyagainak minőségi bortermeléshez szükséges mennyiségű képződését.

A jövőben tervezem további paraméterek vizsgálatát az Egri borvidék területére. Tervezem hasonló vizsgálatok elvégzését egyéb borvidékekre. Tervezem a magyar borvidékek külföldi borvidékekkel történő összehasonlítását.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönet Dr. Bartholy Juditnak, amiért elvállalta diplomamunkám témavezetését, a türelméért, hogy időt és energiát szánt munkámra, tanácsokkal és ismeretanyaggal látott el.

Köszönet Dr. Bálo Borbálának, amiért elvállalta a külső konzulensi feladatokat, hogy munkámat figyelemmel kísérte és szőlészeti szempontból lektorálta, folyamatosan tanácsokkal és forrásanyaggal látott el, és új távlatokat nyitott számomra a terroir kutatás mélyebb megismertetésével.

Köszönet Dr. Bálo Borbálának és az FVM-SZBKI, Egernek az ültetvényi meteorológiai állomások mérési adatsorainak rendelkezésemre bocsátásáért, Dr. Pongrácz Ritának a leválasztott PRECIS modell szimulációs eredményekért és a jó tanácsokért, Dr. Breuer Hajnalkának és Dr. Pieczka Ildikónak az E-OBS adatok feldolgozásában nyújtott segítségért.

Köszönet Dr. Gregory V. Jones-nak a forrásanyagokért és a biztató szavakért, Dr. Ana Monteiro-nak a terroir kutatással kapcsolatos ismeretekbe való bevezetésért, Tânia Meneses-nek a szőlészeti témájú forrásanyagokért.

Köszönet Dr. Nagy Ákosnének, Zilai Zoltánnak, Dr. Rohály Gábornak, az In Vino Cultura borkurzus szervezőinek és előadóinak, a Caves Ferreira és a Bortársaság csapatának, akik jelentős szerepet játszottak a borok világa iránti elköteleződéseim kialakulásában, és ismereteim bővítésében.

Köszönet Andreának, családomnak, barátaimnak, kollégáimnak, akik támogattak, és segítettek munkámat.

Jelen dolgozat a KNMI ECA&D szabadon hozzáférhető E-OBS adatsorainak felhasználásával készült. *“We acknowledge the E-OBS dataset from the EU-FP6 project ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) and the data providers in the ECA&D project (<http://www.ecad.eu>). Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. J. Geophys. Res., 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201”*

Jelen dolgozat a PRECIS regionális klímamodell szimulációs eredményeinek felhasználásával készült.

6. Irodalomjegyzék

- Anderson, K., Findlay, C., Fuentes, S. és Tyerman, S., 2008: Viticulture, wine and climate change. *Commissioned Paper for the Garnaut Climate Change Review*. www.garnautreview.org.au.
- Baillod, M. és Baggiolini, M., 1993: Les stades repères de la vigne. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 25, 7-9.
- Bálo, B., Mustárdy, L.A., Hideg, É. és Faludi-Dániel, 1986: Studies on the effect of chilling on the photosynthesis. *Vitis* 25, 1-7.
- Bálo, B., Váradi, Gy., Pölös, E. és Happ, I., 1992: Effect of shading on the photosynthetic apparatus of Chardonnay vine leaves. *Proc. of IV Simposio Int. di Fisiol. della VITE, San Michele all' Adige, Olaszország*, 555-558.
- Bálo, B. és Gál, L., 2009: A magyar borok versenyképességének megalapozása hagyományos és biotechnológiai módszerekkel, az eredetvédelem és a marketing fejlesztésével - Projekt zárójelentés, NKFP4-00017/2005 mbv05_09
- Bálo, B., Olasz, A., Tóth, E., Katona, Z., Deák, T., Bodor, P., Burai, P. és Bisztray, Gy., 2014: Arcul a terroir felé – Térinformatika az Egri borvidéken. *Bor és Piac* 3-4, 22-25.
- Barbeau, G., Bournand, S., Champenois, R., Bouvet, M., Blin, A. és Cosneau, M., 2004: Comportement de quatre cépages rouges du Val de Loire en fonction des variables climatiques. *J. Int. Vigne Vin* 38 (1), 35-40.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos, P. és Hunyady, A., 2009a: Analysis of Regional Climate Change Modelling Experiments for the Carpathian Basin. *International Journal of Global Warming* 1, 238-252.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I. és Hunyady, A., 2009b: Regional Climate Model Experiments for the Carpathian Basin. 89th AMS Annual Meeting, Phoenix, AZ, USA, 2009. január 10-16. <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/147084.pdf>
- Bergqvist, J., Dokoozlian, N. és Ebisuda, N., 2001: Sunlight Exposure and Temperature Effects on Berry Growth and Composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52:1, 1-7.
- Bonfante, A., Basile, A., de Lorenzi, F., Langella, G., Terribile, F. és Menenti, M., 2010: The Adaptive Capacity of a Viticultural Area (Valle Telesina, Southern Italy) to Climate Changes. VIII International Terroir Congress, Soave, Italy, 2010. 3, 96-102.
- Cacho, J., Fernández, P., Ferreira, V. és Castells, J. E., 1992: Evolution of Five Anthocyanidin-3-glucosides in the Skin of the Tempranillo, Moristel and Garnacha Grape Varieties and Influence of Climatological Variables. *Am. J. Enol. Vitic.* 43 (3), 244-248.
- Conceição, M. A. F. és Tonietto, J., 2005: Climatic Potential for Wine Grape Production in the Tropical North Region of Minas Gerais State, Brazil. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, 27(3), 404-407, Dezembro 2005
- Coombe, B. G., 1987: Influence of Temperature on Composition and Quality of Grapes. *Acta Hort.* 206, 23-25.
- Downey, M. O., Dokoozlian, N. K. és Krstic, M. P., 2006: Cultural Practice and Environmental Impacts on the Flavonoid Composition of Grapes and Wine: A Review of Recent Research. *Am. J. Enol. Vitic.* 57(3), 257-268.
- Dunkel, Z. és Kozma, F. 1981: A szőlő téli kritikus hőmérsékleti értékeinek területi eloszlása és gyakorisága Magyarországon. *Léggör* 26(2), 13-15.
- Eperjesi, I., Kállay, M. és Magyar, I., 2000: Borászat. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Ferenczi, S. és Tuzson, I., 1960: Changes in the sugar and acid contents during the ripening of grapes, *Kísérleti Közlemények* 53(2), 123-167.
- Gaál, M., Moriondo, M. és Bindi, M., 2012: Modelling the Impact of Climate Change on the Hungarian Wine Regions Using Random Forest. *Applied Enology and Environmental Research*. 10 (2), 121-140.
- Giorgi, F., 1990: Simulation of Regional Climate Using a Limited Area Model Nested in a General Circulation Model. *J. Climate* 3, 941-963.
- Giorgi, F., Marinucci, M. R. és Bates, G. T., 1993: Development of a Second Generation Regional Climate Model (RegCM2) i: Boundary Layer and Radiative Transfer Processes. *Mon. Wea. Rev.* 121, 2794-2813.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. C., ... és Wood, R. A., 2000: The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16(2-3), 147-168.

- Hardie, W. J. és Considine, J. A., 1976: Response of Grapes to Water Deficit Stress in Particular Stages of Development. *Am. J. Enol. Vitic.* 27, 55-61.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., és New, M., 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *J. Geophys. Res.* 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201.
- Hermosín Guitérrez, I., García-Romero, E., 2004: Antocianos de variedades tintas cultivadas en la Mancha: perfiles varietales característicos de la uva y de los vinos monovarietales, y evolución durante la maduración de la baya. *Alimentaria* 2004, 127-139.
- Hrazdina, G., Parsons, G. F., Mattick, L. R., 1984: Physiological and Biochemical Events During Development and Maturation of Grape Berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 35 (4), 220-227.
- Huglin, P., 1978: Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. Proceedings of the Symposium International sur l'écologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, Constanca, 89–98.
- Huglin, P., és Schneider, C., 1986: Biologie et écologie de la vigne. Lavoisier, Lausanne/Payot & Rivages, Paris 292.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., és Storchmann, K., 2005a: Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change* 73(3), 319-343.
- Jones, G. V., Duchene, E., Tomasi, D., Yuste, J., Braslavska, O., Schultz, H., ... és Guimberteau, G., 2005b: Changes in European winegrape phenology and relationships with climate. In XIV International GESCO Viticulture Congress, Geisenheim, Germany, 23-27 August, 2005. 54-61. Groupe d'Etude des Systemes de Conduite de la vigne (GESCO).
- Jones, G.V., 2006: Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine". In *Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective*. [Macqueen, R.W., and Meinert, L.D., (eds.)]. Geoscience Canada Reprint Series Number 9, Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland, 247.
- Jones, G. V., 2010: Climate, grapes, and wine: structure and suitability in a changing climate. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on the 931, 19-28.
- Jones, G.V., 2012: Climate, grapes, and wine: structure and suitability in a changing climate. *Acta Hort. (ISHS)* 931, 19-28.
- Kádár, Gy., 1982: Borászat. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Kozma, P., 1991: A szőlő és termesztése I. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Ladányi, M., Hlaszny, E., Pernes, Gy., és Bisztray, Gy., 2010: Climate Change Impact Study Based on Grapevine Phenology Modelling. VIII International Terroir Congress, Soave, Italy, 2010. 3, 52-57.
- Lőrincz, A., és Barócsi, Z., 2010: A szőlő metszése és zöldmunkái. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Malheiro, A. C., Santos, J. A., Fraga, H., és Pinto, J. G., 2010: Future Scenarios for Viticultural Climatic Zoning in Europe. VIII International Terroir Congress, Soave, Italy, 2010. 3, 90-95.
- Meriaux, S., 1982: La vigne et l'eau dans le Midi méditerranéen. Vignes et Vins, n° especial Septiembre: 23-26. OIV. (1990). „Résumé de Méthodes Internationales d'Analyse des Vins et des Mouts”; Office International de la Vigne et du Vin: Paris, France.
- Mészáros, G., Rohály, G. és Nagymarosi, A., 2012: Bortankönyv II – A Kárpát-medence borai. Borkollégium, Budapest.
- Mitchell, T.D. és Jones, P.D., 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.* 25, 693–712.
- Monteiro, A. (coord.) 2005: Atals Agroclimatológico do Entre Douro e Minho – Relatório Final. Projecto POCTI/GEO/14260/1998
- Nadal, M., de Herralde, F., Edo, M., Lampreave, M. és Savé, R., 2010: Effects of Mesoclimate on the Yield, Quality and Phenolic Maturity of Grenache. VIII International Terroir Congress, Soave, Italy, 2010. 3, 52-57.
- Nakicenovic, N. és Swart, R., 2000: Emissions Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Nemes, L., 2007: Az egri szőlőtermesztés. Rubicon. Vol. 6-7/2007, 88-90.
- Oláh, L., 1979: Szőlészek zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó.
- Pieczka, I., Pongrácz, R. és Bartholy, J., 2011: Comparison of Simulated Trends of Regional Climate Change in the Carpathian Basin for the 21st Century Using Three Different Emission Scenarios. Resolution OIV/Viti 333/2010

- Río Segade, S., Soto Vázquez, E. és Díaz Losada, E., 2008: Influence of Ripeness Grade on Accumulation and Extractability of Grape Skin Anthocyanins in Different Cultivars. *J. Food Comp. Anal.* 21, 599-607.
- Shepard, D., 1968: A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference (517-524). ACM.
- Smart, R., 1987: Influence of Light on Composition and Quality of Grapes. *Acta Hort.* 206, 37-43.
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L. és Ferguson J. C., 2002: Separation of Sunlight and Temperature Effects on the Composition of Vitis vinifera cv. Merlot Berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53(3), 171-182.
- Stock, M., Gerstengarbe, F. W., Kartschall, T. és Werner, P. C., 2004: Reliability of climate change impact assessments for viticulture. In VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology 689, 29-40.
- Szenteleki, K., Ladányi, M., Gaál M., Zanathy, G. és Bisztray, Gy., 2011: Climatic risk factors of Central Hungarian grape growing regions. *Applied Ecology and Environmental Research* 10(1), 87-105.
- Tarara, J. M., Lee, J., Spayd, S. E. és Scagel, C. F., 2008: Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 59(3), 235-246.
- Tonietto, J. és Carbonneau, A., 2004: A multicriteria climatic classification system for grapegrowing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* 124, 81-97.
- Torma, Cs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Barcza, Z., Coppola, E. és Giorgi, F., 2008: Adaptation and Validation of the RegCM3 climate model for the Carpatian Basin. *Időjárás* 112, 233-247.
- Uppala, S.M., Kallberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., Da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., Van De Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, I., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.-F., Morcrette, J.-J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P. és Woollen, J., (2005). The Era-40 Re-Analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* 131, 2961-3012.
- Vuković, A., Vujadinović, M., Djurdjević, V., Ranković-Vasić, Z., Marković, N., Atanacković, Z., Sivčev, B. és Petrović, N., 2010: Appliance of Climate Projections for Climate Change Study in Serbian Vineyard Regions. VIII International Terroir Congress, Soave, Italy, 2010. 3, 36-41.
- White, M. A., Diffenbaugh, N. S., Jones, G. V., Pal, J. S. és Giorgi, F., 2006: Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(30), 11217-11222.
- Wilson, S., Hassell, D., Hein, D., Jones, R. és Taylor, R., 2007: Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.5.1. UK Met Office Hadley Centre, Exeter.
- Wilson, S., Hassell, D., Hein, D., Morrell, C., Jones, R. és Taylor, R., 2010: Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.8. UK Met Office Hadley Centre, Exeter.
- Zanathy, G., 2008: Gondolatok a klímaváltozás szőlőtermesztésre gyakorolt hatásáról. *Agronapló* 2008. 12. 2., 92-94.
2004. évi XVIII. törvény 2. § 4.
- 102/2009. (VIII. 5.) FVM rendelet

<http://www.oiv.int/oiv/cms/index>
<https://www.boreas.hu>
<http://climexp.knmi.nl>
<http://www.fomi.hu>
<http://maps.google.com>
<http://ensembles-eu.metoffice.com>
<http://www.ecad.eu>